

Chemieunterricht verstehen!

**Zur Didaktik und Mathematik der Chemie
(überarbeitet)**



Michael A. Anton

Wien/München 2025
Eigenverlag
Alle Rechte beim Verfasser

Julius Wagner (1857-1924)
Erster Lehrstuhl für Chemiedidaktik 1903 Universität Leipzig



Johann Amos Comenius (1592-1670)
Didaktik: didaskein = etwas lehren



Wolfgang Ratke (1571-1635)
Mathetik: mathein = etwas lernen

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Thema	Seite
	Inhaltsverzeichnis	3
	Abstract	7
	Prolog	9
A	Lehrlernwissenschaft – Begriffe, Definitionen und Modellierungen	11
A 1	Lehre vom Lehren und Lehre vom Lernen	12
A 2	Unterricht – Eine Definition	15
A 2.1	Unterrichtsphasen-Modell	18
A 2.2	Aktivierungs-Modell	19
A 3	Wissen	27
A 3.1	Modell des „Vollständigen Wissens“	29
A 3.2	Modell des „Intelligenten Wissens“	31
A 3.3	Metakognition	35
A 4	Lernen	38
A 4.1	Schulunterrichtliche Rahmenbedingungen des Lernens	39
A 4.2	Neurophysiologische Grundlagen des Lernens	42
A 4.3	„Moderater Konstruktivismus“ als Lehrlern-Modell	49
A 4.4	„Information-processing“-Modell	54
A 5	Gedächtnis und Lernleistung	57
A 5.1	Arbeitsgedächtnis („Working Memory“)	58
A 5.2	Aufmerksamkeit	63
A 5.3	„Chunking“	70
A 5.4	Lerntaktung	76
A 5.5	Lernstrategien	78
A 6	Lernfähigkeit und Lernwille	81
A 6.1	Domänenspezifisches Lernen und Verstehen	87
A 6.2	Abstraktionsvermögen und Informationsbewertung	94
A 6.3	Kognition und Emotion	105
A 6.4	Wissensgenese durch Wissensnutzung	110
A 6.5	Begabungen	114
A 6.6	Intelligenz, Wissen und Kreativität	118
A 6.7	Chemiespezifisches Kompetenzmuster	125
A 6.8	Chemiespezifisches Begabungsmuster	128

B	Chemie lernen – Unterrichtsziele	131
B 1	Erziehen und Sich-Bilden im Fach Chemie	133
B 1.1	Chemische Grundbildung	135
B 1.2	Chemische Vorbildung	141
B 1.3	Bildungsstandards für das Fach Chemie	147
B 1.3.1	Kompetenzbereiche und Anforderungsstufen	148
B 1.3.2	Kompetenz-Modelle	152
B 1.3.3	Alternative Kompetenzorientierungen in der Diskussion	157
B 1.3.4	Basiskonzepte	159
B 2	Erscheinungsformen der Chemie	161
B 2.1	Chemie als Wissenschaft	162
B 2.2	Chemie als Unterrichtsinhalt	169
B 2.3	Chemie im „Fach“ Science und Naturwissenschaft	175
B 2.4	Chemie als Praktikum	179
B 3	Die Bedeutung von Frühbeginn mit Chemie	182
B 3.1	Chemie in der Vor-, Primar- und Sekundarschulphase	187
B 3.2	Chemie im engen Verbund von Schule und außerschulischen Lernangeboten (ASLA)	193
B 3.3	Chemie als Beruf	197
C	Chemie lehren	201
C 1	Qualifikationen der Lehrkraft	202
C 1.1	Lehrbegabung und Lehrwille	205
C 1.2	Vermittlungswissenschaft - Ein Vier-Qualifikationen-Konzept	224
C 1.2.1	Die „Variationstheorie“ und die „Phänomenographie“	229
C 1.2.2	Schulspezifische Ansprüche	230
C 1.3	Die vier Aspekte von Theorie und Praxis	235
C 1.4	Professionalität und Unterrichtsqualität	240
C 1.5	Chemieunterricht als Forschungsbereich	245
C 2	Fähigkeiten und Fertigkeiten im Fach Chemie	253
C 2.1	Unterrichtsfelder im Fach Chemie	254
C 2.1.1	Theoriefeld und Praxisfeld	255
C 2.1.2	Reflexionsfeld	260
C 2.2	Stufungen der Experimentierfertigkeiten	267
C 2.3	Phasen des Experiments	271
C 2.3.1	Experimentelle Phase	274
C 2.3.2	Postexperimentelle Phase	277
C 2.3.3	Präexperimentelle Phase	279
C 2.3.4	Die Frage im forschungsorientierten Unterricht	281
C 2.4	Beschreibung und Veranschaulichung im Fach Chemie	289

C 2.5	Unterscheidbarkeit von „wichtig vs. unwichtig“	295
D	Chemie verstehen durch Strukturierungen	301
D 1	Chemierelevante Strukturierungsfelder	306
D 1.1	Advance Organizer	308
D 1.2	Lerninhalt-Strukturierung	311
D 1.2.1	Analogisierung	318
D 1.2.2	Systematisierung	330
D 1.2.3	Schematisierung	333
D 1.2.4	Kategorisierung	335
D 1.3	Lernprozess-Strukturierung	342
D 1.3.1	Kleinschrittigkeit	350
D 1.3.2	Wissensvernetzung	383
D 2	Chemisches Wissen im unterrichtlichen Kontext	386
D 2.1	De- und Rekontextualisierung	388
D 3	Chemie und Ökologie	390
D 3.1	Globalisierung, Expertensysteme und Schule	391
D 3.2	Grüne Chemie	393
D 3.2.1	Internationale und nationale Programme	394
D 3.2.2	Konsequenzen für die Bildungsarbeit	395
D 3.2.3	Von der Grünen Chemie zur „Grünen Chemiedidaktik“	396
E	Unterrichtskonzeption	399
E 1	Inhalt und Methode	401
E 2	Die „Big Ten“ des guten Chemieunterrichts	408
E 3	Planungs- und Analyse-Raster für den Unterricht (PARU) in Chemie	410
F	Ausgewählte Aspekte von Chemieunterricht	420
F 1	„Deutsch-Chemisch – Chemisch-Deutsch“ – Die Versprachlichung im Fach Chemie	421
F 2	Problematik des offenen Unterrichtens von Chemie	434
F 3	Inklusiver Chemieunterricht	447
F 4	Intersektionalität und Gendering	462
F 5	Digitalisierung	468
F 5.1	Eine kurze Geschichte der Unterrichtsmedien	469
F 5.2	Mediensystematik	470
F 5.3	Die Schule im Sog der Medien	472

F 5.4	Reflexion über den Medieneinsatz	474
F 5.5	Medien und Unterrichtserfolg	476
F 5.6	Medienkompetenz	478
F 5.7	„Distance Learning“	481
F 6	Das pädagogische Potenzial des Chemieunterrichts	484
F 6.1	Kleinkindphase	485
F 6.2	Pubertät und die Suche nach dem Glück	487
F 6.3	Die Genussphase als Basis für Motivation und Mut	491
F 6.4	„Alternativen“ zum „Anstrengungskreislauf“	493
F 6.5	Die Präventionsziele	498
	Epilog	499
	Literatur	500
	Steckbrief	578

Das vorliegende Buch ist 2019 im Lehrbuch-Verlag (Beau Bassin, Mauritius, 2019) mit ISBN 978-620-2-49037-5 erschienen. Ab dem Jahr 2025 wird es in einer überarbeiteten und ergänzten Fassung vom Autor selbst (Eigenverlag) als pdf Interessierten zur Verfügung gestellt (Email: michael.alfred.anton@univie.ac.at).

Abstract

Mit „Chemieunterricht verstehen“ sollen bewährte Bedingungen für das Lernen¹ und Lehren von Chemie aufgegriffen und durch eine Synopse unterschiedlicher und moderner Aspekte aus der Hirnforschung, der Pädagogischen Psychologie und der Unterrichtsforschung ergänzt werden.

Der Chemieunterricht stellt ein sehr komplexes Gefüge aus wissensbasierten Einzelhandlungen, Routinen, Intuitionen und Haltungen dar, welches in seiner unbedingt notwendigen Weiterentwicklung hin zur effizienteren Wirkung unterstützt werden muss und kann.

Über die Modellierung einschlägiger Begriffe aus Didaktik und Mathematik² des Fachs, über die neurophysiologischen und lernpsychologischen Bedingungen für erfolgreiche Lernwege hin zur Klärung der Kriterien für die Lehrqualität fachspezifischer Denk- und Arbeitsweisen sollen auch Besonderheiten in den methodischen Varianten unter die Lupe genommen und praxisrelevant vorgestellt werden. Damit wird auch den besonderen Ansprüchen nach Individualisierung und Begabungsentwicklung Rechnung getragen.

Es ist ein erklärtes Ziel dieser Zusammenstellung, die impliziten, grundsätzlich zu bedenkenden, die expliziten, bei der konkreten Planung von Unterricht unbedingt zu berücksichtigenden Grundlagen für eine erfolgreiche Unterrichtsführung sowie ausgewählte, aus der aktuellen Praxis heraus entwickelte Schwerpunkte aus der modernen Unterrichtspraxis aufeinander zu beziehen und in ihrer ganzheitlichen Wirksamkeit zu erläutern.

Das Buch ist gedacht für Lehramtsstudierende, für angehende Lehrkräfte im Referendariat und Vorbereitungsdienst, für praktizierende LehrerInnen³ aller Schularten, für SeminarlehrerInnen, für PraktikumslehrerInnen und MentorInnen und für die LehrerbildnerInnen an den Universitäten und Pädagogischen Hochschulen. Es ist fachspezifisch ausgelegt, soll und kann aber auch den Vertretern anderer Fächer wertvolle Impulse geben und Analogien aufzeigen.

¹ „Das Wort ‚lernen‘ stammt aus dem Germanischen (leis) und bedeutet ‚Spur, Bahn, Furche‘. Gotisch ‚lais‘ heißt: ‚Ich habe nachgespürt‘. Aus diesem gemeinsamen Stamm erwachsen die Begriffe ‚lehren=wissend machen‘, ‚lernen=wissend werden‘ und ‚leisten‘=nachgespürt haben“ ... „Dieses Lehren ist verwandt mit einer anderen Wortfamilie: ‚weisen‘=wissend machen (jemanden unterweisen) und ‚wissen‘=gesehen haben, erkennen. Zwischen ‚weisen‘ und ‚wissen‘ liegen Zeit und Arbeit, lernend einer Spur nachzugehen“ (Oelze, 1999, S. 1).

Lernen ist „der inhaltsspezifische Erwerb und die sinnhafte mentale Repräsentation der Fakten, Konzepte, Relationen und Regeln bestimmter Realitätsausschnitte. Das Wissen als Ergebnis inhaltsbezogener Lernprozesse mit stets begrenzter Verallgemeinerung und Abstraktion der erworbenen Kenntnisse ist zugleich die wichtigste Bedingung für zukünftiges Lernen innerhalb der gleichen Inhaltsdomäne.

Man kann den Nachweis über die Bedeutung des verfügbaren Wissens für den weiteren Wissenserwerb als die entscheidende, empirisch vielfach belegte und theoretisch nicht mehr zu bezweifelnde Erkenntnis der kognitiven Psychologie ansehen.

Im Allgemeinen gilt: Je inhaltlich anspruchsvoller eine neue Lernaufgabe ist, desto wichtiger und unersetzbarer sind Quantität und Qualität des Vorwissens“ (Weinert, 1994, S. 196-197).

² **Mathetik: Lehre vom Lernen** (gch. mathein = etwas lernen), ars discendi = Kunst zu lernen: W. Ratke (1571-1635). Didaktiker, die den Begriff nicht kennen, verwenden den Ausdruck „psychologische Didaktik“ (Terhart, 2009, S. 38). Eine sehr moderne und umfassende Ausarbeitung des Begriffs findet sich bei Kohlberg & Unseld, o. J., nach 2006)

Didaktik: Lehre vom Lehren (gch. didaskein = etwas lehren), ars docendi = Kunst zu lehren: J. A. Comenius (1592-1670)

³ Alle folgenden Ausführungen gelten für alle Geschlechter, auch wenn diese nicht durchgängig explizit getrennt genannt werden

Dem Autor geht es darum, allen Interessierten nicht nur den Blick zu schärfen für die Komplexität des Unterrichtens dieses faszinierenden Fachs, sondern auch Wege aufzuzeigen um sie zu beherrschen und dabei möglichst viele der heute verfügbaren Erkenntnisse aus sehr unterschiedlichen Bereichen kritisch-konstruktiv wirksam werden zu lassen. Darin liegt der Kern einer effizienten Professionalitätsentwicklung, Als Profi ist man verpflichtet, stets danach zu trachten, dass der Unterricht sowohl für die Schülerinnen und Schüler wie auch für das Fach per se stetig besser wird; denn „Können verpflichtet!“ Ohne Kenntnis der hierzu vorliegenden Erkenntnisse aus den einschlägigen Wissenschaften wird diese Forderung allerdings nicht erfüllbar sein⁴.

„Vom Ziele der Wissenschaft. – Wie? Das letzte Ziel der Wissenschaft sei, dem Menschen möglichst viel Lust und möglichst wenig Unlust zu verschaffen? Wie, wenn nun Lust und Unlust so mit einem Stricke zusammengeknüpft wären, daß, wer möglichst viel von der einen haben will, auch möglichst viel von der anderen haben muß? ... In der Tat kann man mit der Wissenschaft das eine wie das andre Ziel fördern! Vielleicht ist sie jetzt noch bekannter wegen ihrer Kraft, den Menschen, um seine Freuden zu bringen und ihn kälter, statuenhafter, stoischer zu machen. Aber sie könnte auch noch als die große Schmerzbringerin entdeckt werden – und dann würde vielleicht zugleich ihre Gegenkraft entdeckt sein, ihr ungeheueres Vermögen, neue Sternenwelten der Freude aufleuchten zu lassen!“ (Friedrich Nietzsche, 1844-1900: Die fröhliche Wissenschaft, 1887).

⁴ Hier sei auf das Buch von Greutmann et al. (2021) „Professionelles Handlungswissen für Lehrerinnen und Lehrer“ verwiesen, sozusagen als „zusätzliche“ Pflichtlektüre für Lehrkräfte

Prolog

Wissenschaft bedeutet nicht nur lernen können, sondern vor allem lernen und entdecken wollen. Als wissbegierige/r Lernende/r mag eine ungewöhnlichere Perspektive auf das Gehirn erlaubt sein, als es gemeinhin üblich ist. Stellen wir uns diese knapp 2% der Körpermasse, welche ununterbrochen ca. 20% der gesamten Stoffwechselenergie beanspruchen einmal als Mittelpunkt des Geschehens vor. Unsere Sinnesorgane wären dann die Lieferanten für alle von extern ankommenden Informationen (lat.: „informatio“: Vorstellung, Begriff, Unterweisung, Belehrung, vgl. Blankertz, 1991, S. 71). Der Bewegungsapparat diene zum Verlassen unguter und zweifelhafter sowie zum Aufsuchen angenehmer und sicherer Örtlichkeiten und damit Informationsquellen. Die inneren Organe trügen die Verantwortung für das gesamte Gelingen dieser Aktionen, indem sie über Bau- und Betriebsstoffwechsel, den Metabolismus, Organe bilden, regulieren und Energie bereitstellen. So gesehen dienen alle Lebensvorgänge primär dem bestmöglichen Funktionieren des Gehirns und damit dem Lernen. So gesehen ist das Lernen ein Lebensmerkmal und damit unvermeid- und unverzichtbar.

Da das Gehirn ein Organ ist wie die anderen auch, unterliegen sein Wachstum, seine Reifung und die Ausformung seiner Funktionstüchtigkeit der Individualentwicklung und damit genetischen und umweltlichen Bedingungen wie etwa dem Informationsangebot. Wachstum und Reifung sind, im Vergleich zu Angebot, Auswahl, Bewertung und Nutzung der Informationen sowie der sie transportierenden Medien, die relativ stabileren Faktoren.

Um Informationen nutzen zu können, müssen sie mit vorhandenem Wissen in Verbindung gebracht und mit diesem abgeglichen werden. Ziel ist es, über die Befriedigung elementarer Bedürfnisse die (Über-)Lebenstüchtigkeit des Individuums kurz- bis langfristig sicherzustellen. Hieraus ergibt sich eine einfache Je-desto-Beziehung: Je besser der Umgang mit den Informationen der Umwelt gelingt, desto effizienter kann die Lebenstüchtigkeit ausgebildet werden.

Allerdings sind nicht alle Informationen für jedes Individuum zur selben Zeit gleichermaßen verfügbar, bearbeitbar und bedeutsam, woraus sich ableiten lässt, dass Lernprozesse einer gewissen ontogenetischen Chronologie gehorchen müssen. Zugleich ist bekannt, dass das Gehirn nicht zu jedem Zeitpunkt jede mögliche bzw. erforderliche Lernleistung souverän erbringen kann. So wird es durch die Qualität der Sinnesorgane, durch schon vorhandene Wissensanteile und die Flexibilität ihrer Verfügbarkeit, durch Kapazitäten von Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis, durch bereits ausgebildete Interessenlagen und durch die Hierarchie zeitgleich anstehender Bedürfnisse („Prioritätenliste“) hochgradig individuell und situativ eingestellt.

Wir lernen also mit dem, was wir wissen und in dem Zustand, in dem wir uns gerade befinden. Vorwissen und Lernsituation können demnach in unterschiedlicher Qualität vorliegen und das Lernen entsprechend positiv oder negativ beeinflussen, woraus sich die Frage nach einer optimalen Situation für den jeweiligen Lernfortschritt ergibt um mit großer Sicherheit Erfolg und *‘Freude darüber aufleuchten’* zu lassen.

Aus den Erfahrungen beim Bewegungslernen, etwa in diversen Sportarten und im Handwerk sowie beim Erlernen von aufbauenden Handlungsketten, etwa bei der Verwirklichung eines Kuchenrezepts oder einer Aufbauanleitung für Möbel lässt sich zunächst induktiv schließen, dass eine kontinuierliche Strukturiertheit wichtiger Inhalte für interessierte LernerInnen mit Hilfe didaktisch und mathetisch aufbereiteter Methoden ein strategisch erfolgreiches Konzept darstellt. Lernen ist durch Lehren organisierbar.

Sollen jedoch diese Organisationen nicht willkürlich ablaufen, macht es Sinn, sie zu systematisieren. Unterricht, vor allem Schulunterricht ist ein solches System. In seinem Ursprung auf Arbeitsteilung innerhalb einer Gesellschaft angelegt, um die Weitergabe

von Produktionsverfahren von der älteren zur jüngeren Generation sicherzustellen und ein Gleichgewicht zwischen Tradition und Innovation zu finden, entwickelte es sich seit dem 17. Jahrhundert zu einem mehrgliedrigen Bildungssystem (Lautenschläger, 1963).

Mit der aktuellen Orientierung an nationalen Bildungsstandards mit ihren Kompetenzbereichen und Basiskonzepten (2004) haben sich neue Aufgaben und neue Chancen im Bereich von Bildung und Ausbildung eingestellt, die gelöst bzw. genutzt werden wollen! Die Lehrlernwissenschaft der Chemie ist dabei in besonderer Weise (heraus)gefordert.

Im vorliegenden Lehrbuch sollen Gedanken und Erfahrungen ausformuliert werden, die sich dem Leser und der Leserin vereinzelt auch in vielen anderen Werken offenbaren. Sie werden jedoch in ihrer Vernetztheit nicht oft vorgestellt. Genau das soll hier erfolgen, jedoch mit dem die Ehrlichkeit belebenden Aspekt, wie er von Michel Eyquem Montaigne (1533-1592) vorbildhaft zu Papier gebracht wurde und die zahlreichen Zitationen mitbegründen soll. „Aber das macht mir gleichwohl ein Vergnügen, daß meine Meinungen die Ehre haben, oft mit den Meinungen jener Männer zusammenzutreffen, und daß ich ihnen wenigstens von ferne folge und das sage, was mich wahr dünkt. Auch freut mich´s, das zu haben, was nicht jedermann hat: den himmelweiten Unterschied zu erkennen, der zwischen ihnen ist und mir; damit lasse ich gleichwohl meine Erfindungen hinlaufen, so schwach und geringfügig ich sie zur Welt bringe, ohne die Mängel, die mich diese Vergleichung daran entdecken lassen, zu bekleistern oder zu belappen. Man muss gar kräftige Schenkel haben, wenn man es unternehmen will, mit diesen Leuten Schulter an Schulter geschlossen gleichen Schritt zu halten“ (Montaigne, o. J., S. 9-10).

A Lehrlernwissenschaft – Begriffe, Definitionen und Modellierungen

Komplexität und Multivariabilität, vor allem des schulischen Lehrlernprozesses erschweren Definitionen sowie vereinfachende Modellbildungen. Dennoch soll versucht werden, zumindest drei Basisgrößen (Unterricht, Wissen, Lernen) modellhaft so zu zeichnen, dass sie sich zur Beschreibung eines SOLL-Zustands hinzuziehen lassen. Erst vor dieser Modellierung wird es möglich, konkreten Unterricht (IST-Wert) in seinen Abweichungen vom „Ideal“ (SOLL-Wert) zu beschreiben und objektivierende Verbesserungen zu definieren sowie Wirklichkeit werden zu lassen.

„Modelle“ stellen nichts Exotisches dar. Sie sind sehr häufig und üblich. Das zeigt sich bei einem Vergleich des Modelleinsatzes im Alltag, in der Fachwissenschaft und in der Lehrlernwissenschaft (hier: Chemiedidaktik). In jedem Fall stellt die Modellierung eine Ausschnittbildung, Verkleinerung, Vergrößerung, Verbildlichung oder Strukturierung von generalisierbaren Gegebenheiten dar. Im Alltag sind es Modellautos, Puppen, Architekturmodelle, Stadtpläne und Landkarten. In der Fachwissenschaft Chemie etwa handelt es sich um Ausschnittbildung, Verkleinerung, Vergrößerung oder Verbildlichung von submikroskopischen Gegebenheiten, Beziehungen und Prozessen (Atom, Molekül, Bindungsarten, Redox-Prozesse, Oktett-Regel, ...). Modelle der Lehrlernwissenschaft ermöglichen zudem den IST-SOLL-Wert-Vergleich etwa bei Besprechungen von Lehrversuchen und Unterrichtshospitationen. „Lehrer brauchen ein Erklärungsmodell dafür, wie unterschiedliche Formen der Unterrichtsgestaltung auf das Lernen wirken. Als Lehrender muss man genau untersuchen und verstehen, wie Schüler lernen“ behauptet die schwedische Pädagogin Ulla Runesson zurecht⁵.

Vielleicht lässt sich die „Krise der bisherigen Didaktiken“, die vom Lehrer und weniger vom Lerner aus denken“ (Reich, 2005, S. 179; zit. aus Siebert, 2005, S. 12) auch dadurch beheben, dass man neben der Didaktik für die Lehrerperspektive einen eigenen, letztlich historischen Begriff wählt, den der Mathetik und ihr so die Lernerperspektive beistellt⁶. Der didaktischen „Sachlogik“ entspricht so eine subjektorientierte „Psychologik“ (Siebert, 2005, S.9). Mit dieser Perspektiverweiterung oder besser Akzentergänzung wird man der erfreulichen Tendenz gerecht, die Voraussetzungen des Lernalers immer ernster und deutlicher in den Blick zu nehmen, etwa bei den Thematiken „Präkonzepte“, „Inklusion“, „Ko-Konstruktion“, „Kompetenzentwicklung“ sowie „Individualisierung“ und „Personalisierung“ (Schratz & Westfall-Greiter, 2010) u.a.!

⁵ Das Zitat entstammt der Projektdokumentation „Aufbrechen – Lernen im 21. Jahrhundert“ des Bayerischen Lehrer- und Lehrerinnenverbands (BLLV) (2012, S. 30); Vgl. auch Polák, 1996

⁶ Schratz (2009) sowie Schratz & Westfall-Greiter (2010) sprechen von „lehrseits“ und „lernseits“, wobei weniger der Inhalt als die Kontrolle durch die Lehrperson und alternativ die Initiative bei den Lernerinnen gemeint ist

A 1 Lehre vom Lehren und Lehre vom Lernen

Die Didaktik⁷ als Lehre vom Lehren und die Mathetik als Lehre vom Lernen bilden zusammen die fachbezogenen Lehrlernwissenschaften („instructional science“). Ihr Gegenstand ist die Beziehung zwischen Wissen und Information. Teilvorgänge sind die Konsolidierung, Informations-Genese und -Abgabe (Instruktion, Lehren) sowie die Elaborierung und Aufnahme von Information (Konstruktion, Lernen) zur Wissenskonstruktion. Unter der Vorgabe von Unterrichtszielen und Kompetenzoperatoren sind sie an der Auswahl fachspezifischer Inhalte und Deutungssysteme, etwa für Lehrpläne, beteiligt. Sie liefern einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung einer modernen natur- und geisteswissenschaftlichen sowie künstlerischen und religiösen Grundbildung („Bildungstheoret. D.“) sowie von Kernkompetenzen. Gleichzeitig schaffen sie die Basis für qualifizierendes Weiterlernen.

Beide, Didaktik und Mathetik, bilden beispielsweise in der universitären LehrerInnenbildung den institutionellen Ort, an dem moderne Gesellschaften die Natur fachunterrichtlicher Lehrlernprozesse kritisch betrachten („Differentielle D.“). Sie berücksichtigen und nutzen aktuelle Erkenntnisse aus der Pädagogischen Psychologie, der Verhaltensbiologie, Neuropsychologie und Gehirnforschung, Kommunikations- und Kognitionspsychologie wie auch der Informationstechnologie und Medienpädagogik („kognitionspsychologischer Aspekt!“). Insbesondere in der LehrerInnenbildung besitzen sie eine unverzichtbare Brückenfunktion zwischen Fachwissenschaft und Erziehungswissenschaft sowie zwischen den Ausbildungsphasen I (Uni), II (Schule) und III (Fortbildung).

Als „Vermittlungswissenschaften“ sind sie einer Fachwissenschaft beigeordnet (*Lehrlernwissenschaftliche Chemie*). (‘Berufliche Fachdidaktiken’ besitzen eine multidimensionale interdisziplinäre Fachbasis.) Für den Fachunterricht wählen sie bedeutsame Inhalte aus und harmonisieren die fachwissenschaftlichen Ansprüche schulartspezifisch bzw. adressatenspezifisch mit den Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie Bedürfnissen der LernerInnen („Bildungsgangdidaktik“). Ziele, Inhalte, Orte, Formen und Methoden des Unterrichtens werden zu reproduzierbaren Lehrlernsituationen arrangiert („fachwissenschaftlicher, curricularer Aspekt“).

Ihre Untersuchungsobjekte sind die Planung, Durchführung und Analyse des fachspezifischen Unterrichtens und Berichtens („Unterrichtstheoretische D.“). Sie beschreiben den historischen Gang ihres Faches, begründen die Unterrichtsprinzipien und entwickeln Modelle zu relevanten Unterrichtsfaktoren, auch mit Hilfe der *Allgemeinen Didaktik* („eklektische D.“). Die Didaktik und Mathetik eines Faches bilden die Berufswissenschaft der LehrerInnen und sind verbindlicher Teil deren Aus- und Fortbildung.

Auf dem Wege von Reflexion und Evaluation der Unterrichtsergebnisse leisten beide einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von Lehrkompetenzen und damit zur Qualitätssicherung von Unterricht („kybernetischer A.“). Theoriegeleitete Praxiskontrolle und praxiskontrollierte Theorieentwicklung dienen der Auflösung des Praxis-Theorie-Dilemmas in der LehrerInnenbildung („dialektischer A.“). Ihre Abstimmung auf der Basis

⁷ In der Moderne wird anstelle des Begriffs der Didaktik gerne auch von „transparenter Kommunikation“ gesprochen. Dabei ist ‘auch’ gemeint, dass beispielsweise Presseverlautbarungen und Expertenkommentare (etwa während der Corona-Krise im ersten Halbjahr 2020) wie auch Berichte von Wissenschaftsjournalisten für den Laien verständlich formuliert sein müssten.

einer „evidenzbasierten Praxis“ bildet eine Grundvoraussetzung für wissenschaftsfundierte Professionalisierung⁸.

Die Lehrlernwissenschaften suchen nach objektivierbaren Regelmäßigkeiten und Besonderheiten innerhalb des Lehr-Lernprozesses, des Erziehens und des Sichbildens („psychologischer A.“; „Lehrlerntheoretische D.“). Beide Wissenschaftsbereiche formulieren praxisrelevante Hypothesen. Diese überprüfen sie mit eigenen hermeneutischen und empirischen Forschungsmethoden. Forschungsziel ist der Erkenntnisgewinn zur kontinuierlichen Optimierung und Rationalisierung fachbezogener Ausbildung und allgemeiner Bildung in Schulen, bei außerschulischen Lerngelegenheiten sowie in der Erwachsenenbildung („Entschulung“).

Die Ergebnisse lehrernwissenschaftlicher Forschung dienen der Evidenzbasierung praktischer Unterrichtsarbeit⁹. Für alle, die sich die Vermittlung von fachwissenschaftlichen Aussagen und damit die Verbesserung der Urteils-, Kommunikations- und Argumentationsfähigkeit in einer emanzipierten Gesellschaft zur Aufgabe gemacht haben (WissenschaftsjournalistInnen, Marketingfachleute, PolitikerInnen, FachwissenschaftlerInnen u.a.), stellen sie wichtige Argumentationshilfen dar. Sie werden auch der interessierten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt („schulpraktischer A.“; „gesellschaftspolitischer A.“; „Systemtheoretische D.“; „Kommunikationstheoretische D.“).

Didaktik und Mathematik besitzen überdies eine politische Dimension¹⁰, da sie wesentlich zur aufgeklärten Gleichberechtigung, und damit zur Entscheidungsfreiheit und –sicherheit der Mitglieder demokratischer¹¹ Gesellschaften beitragen und einer reinen Emotionalisierung sowie Radikalisierung nachhaltig entgegenwirken („ideologiekritischer A.“)¹²: „Wer nichts weiß, muss alles glauben“¹³. Und „Informiertheit ist die neue Bedingung für die Teilhabe an ethisch relevanten Entscheidungen“ (Gaiser, 2016, S. 34).

Ausgehend von der Allgemeinen Pädagogik sowie einer Allgemeinen Didaktik (Terhart, 2009) werden bezüglich didaktischer Schwerpunkte zusätzlich die folgenden Unterscheidungen getroffen:

- Emotionsdidaktik (→ Erlernen von und Umgehen mit Emotionen im Bereich des schulischen Lehrens und Lernens). Vgl. Gläser-Zikuda et al., 2022.

⁸ In diesem Kontext sei auf eine „Interaktive Landkarte Fachdidaktik Chemie“ hingewiesen, in der sich schnell und unkompliziert die Arbeitsschwerpunkte der Chemiedidaktiken in Deutschland finden lassen: <http://www.fachdidaktik-chemie.de/karte.php>, auch die ABayCD ist dort zu finden.

⁹ Vgl. hierzu u.a. Krüger et al., 2014; Bayrhuber et al.; 2011; Mayring, 2015; Flick, 2008; Bayrhuber et al., 2007; Ohlhaver & Wernet, 1999; Friebertshäuser & Prengel, A., 1997; Kroath, 1991

¹⁰ Politik als „Streben nach dem größtmöglichen Gemeinwohl“ (Strauß, 2019, S.7)

¹¹ „Demokratie ist ... die einzige Form von Macht, die sich mit Humanität verträgt“ (Bamm, 1972, S. 382); vgl. hierzu auch die gedruckte Version des Vortrags „Demokratie braucht Wissenschaft“ von Bundespräsident Walter Steinmeier auf einer Veranstaltung der deutschen Wissenschaftsorganisationen am 29.9.19 in Berlin (MaxPlanckForschung (2019), 4, 10-15). Verwiesen sei hier auch auf zwei Quellen: Weck, R. de (2021). Die Kraft der Demokratie – Eine Antwort auf die autoritären Reaktionäre. Berlin: Surkamp; Nida-Rümelin; J. (2020). Die gefährdete Rationalität der Demokratie. Hamburg: Edition Körber

¹² „With guns you can kill terrorists, with education you can kill terrorism“ (Malala Yousafzai; pakistanische Kinderrechtsaktivistin und Friedensnobelpreisträgerin (2014), UN-Friedensbotschafterin seit 2017)

¹³ Es mag als überlegenswert erscheinen, die immer wieder erfolglos beklagte zu geringe Repräsentanz der Chemie als Unterrichtsfach in den Stundentafeln aller Schularten auch darauf zurückzuführen, dass chemische Kenntnisse und das damit einhergehende bessere Verstehen von Zusammenhängen ein Zuviel(!) an Erkenntnissen bewirkt, deren brisante gesellschaftspolitische Relevanz von den schulpolitisch Verantwortlichen nicht unterschätzt wird!!!

- Didaktische Proxemik (→ Nutzen des Raumes und der Bewegungen im Raum zur Herstellung von Nähe und Distanz zwischen den Lehrenden und den Lernenden sowie den Lernenden untereinander)
- Didaktische Chronemik (→ Gestaltung von Zeitpunkten und Dauer im Rahmen von Kommunikation und geistigen wie instrumentellen Arbeitsphasen) (Vgl. auch: Reheis, 2001)
- Somadidaktik (→ Organisation des Lehr-Lernprozesses unter Berücksichtigung ganzheitlicher Individualbedingungen: Hormonhaushalt, Belastungen, Bereitschaften, Bewegungsmöglichkeiten (siehe „LIFE-Kinetik“¹⁴), Sinnesschulung, Streben nach Homöostase etc.)
- Mediendidaktik (→ Fachspezifische Organisation von traditionellen Medien, E-Learning und Blended-Learning; vgl. auch Medienpädagogik, Medienkritik, „Digitalisierung“¹⁵)

Die Leistungen der „Fachdidaktik“¹⁶ werden international mit dem Begriff des „fachspezifischen pädagogischen Wissens“ (pedagogical content knowledge: PCK¹⁷) beschrieben. Darunter versteht man „die Zusammenführung von Inhalt und Pädagogik zu einem Verständnis dessen, wie bestimmte Themen, Probleme oder Fragen strukturiert, dargestellt und an die Interessen und Fähigkeiten der Lernenden angepasst und für den Unterricht aufbereitet werden sollten“ (Shulman, L. S., 1986, 1987; vgl. auch: van Dijk & Kattmann, 2007)

Nicht übersehen werden sollte, dass: „didactics has a negative valuation in the Anglo-American mind“ (Hamilton, 1999, zit.: v. Dijk & Kattmann, 2007, p.886). Das wäre auch ein Grund für die „Umbenennung“ des Wiener „Instituts für Didaktik der Chemie“ (IDC) in: „Institute of chemistry teaching and learning“.

¹⁴ <http://www.lifekinetik.de/>

¹⁵ Hier sei verwiesen auf Meßinger-Koppelt et al. (Hrsg.) (2017). Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer. Hamburg: Joachim Herz-Stiftung

¹⁶ Aufgrund des üblichen Sprachgebrauchs wird der Begriff „Fachdidaktik“ stellvertretend für die Lehrlern- bzw. Vermittlungswissenschaften weiterhin verwendet

¹⁷ Untersuchungen an Lehrkräften haben ergeben, dass 28% der Varianz zwischen erfolgreichem und erfolglosem Unterrichten (hier: Mathematik) durch das PCK aufgeklärt werden. Die Korrelation zwischen PCK und Mathematikleistung liegt bei .53, zwischen Fachkompetenz und Mathematikleistung beträgt sie .14 (Vortrag von H. J. Baumert am 9.2.2006 in der Hanns-Seidel-Stiftung, München).

Lehrer mit ausschließlich hoher Fachkompetenz haben auf den Unterrichtserfolg deutlich weniger Einfluss als solche mit einer zusätzlichen hohen PCK!

„Lehrer handeln nicht gegen ihre Erfahrung!“ (Oelkers 2/2006) ...d,h, nichts ist so innovations- und evolutionsresistent wie Unterrichtsgestaltung, die ausschließlich mit eigenen Erfahrungen begründet werden kann!

A 2 Unterricht – Eine Definition

Die schulpädagogische Literatur enthält zahlreiche Definitionsversuche für das, was Unterricht im Allgemeinen ausmacht (Schröder, 1985; Glöckel, 1996; Meyer, 2004, Terhart, 2009). Die folgende Zusammenstellung ist das Produkt einer Aufgabenlösung durch Lehramtsstudierende aller Schularten: *Formulieren Sie in Gruppenarbeit Kriterien, die auf Unterricht zutreffen und von ihm erfüllt werden müssen!*

In der Zusammenschau wurde auf die besonderen Belange des Chemieunterrichts Rücksicht genommen.

„Unter Unterricht `versteht man` die zeitlich und inhaltlich durch Lehrpläne strukturierte institutionalisierte und didaktisch und mathetisch geplante fachbezogene regelmäßige Unterweisung von SchülerInnen durch fachlich und sozial professionalisiertes Lehrpersonal unter Verwendung von ausgewiesenen Lehr- und Lernmaterialien mit dem Ziel qualifizierender Abschlüsse. Unterricht wird charakterisiert durch seinen Ort, seine Aktions- und Sozialform sowie durch die in ihm zur Anwendung kommende Methodik. Ihrer Anwendung und der damit einhergehenden Herstellung sowohl eines lern- wie auch lehrfähigen Systems liegen stets ein definierbares Wissens-, Kompetenz-, Lehrlern- und Unterrichts-Modell zugrunde“.

Die Zielorientierung ist abhängig von Jahrgangsstufe und Bildungsziel des jeweiligen Schultyps und der jeweiligen Ausbildungsrichtung. Die Output-Orientierung bezieht sich auf inhalts- und handlungsorientierte Kompetenzen, die sich durch überprüfbare Fähigkeiten und Fertigkeiten manifestieren und zertifizieren lassen! Bei der Bewertung von Schülerleistungen wird zwischen Lern- und Prüfungsleistungen unterschieden. In beiden Situationen hat der Fehler als Signal für Fehlendes (Lücke muss gefüllt werden) bzw. nicht Passendes (Austausch bzw. Korrektur ist nötig) eine je alternative Bedeutung.

Unterricht ist dann effizient, wenn sich in ihm didaktische Inhaltsarbeit an grundsätzlichen Fachansprüchen orientiert und wenn sie sich auf mathetische Leistungsvoraussetzungen und Bildungsziele bezieht (Abb. A1) So ist Unterricht „ein stetiges planmäßiges Schreiten und Vorwärtsschreiten und in diesem Sinne auch ein methodisches Vorgehen, in dem sich dem Menschen Wirklichkeit erschließt und das so zur Vertiefung und Erweiterung seiner Welt und seines Weltbewußtseins beiträgt“ (Drechsler, 1967, S. 19). Durch die professionelle Gleichgewichtseinstellung von didaktischen Entscheidungen und mathetischen Ansprüchen bzw. Beanspruchungen werden dem Lehrlernprozess zeitlich und instrumentell für jeden Schüler förderliche Bedingungen verliehen“.

Unabhängig vom Schultyp, den Ausbildungsrichtungen und den Jahrgangsstufen besitzt Unterricht mindestens die folgenden fünf Eigenschaften (Vgl. „Phänomenologie des Unterrichts“, Sünkel, 1996):

Unterricht ...

- verfolgt operationalisierbare Ziele,
- ist in sich differenzierbar,
- verläuft als selbstreferentieller Prozess¹⁸ (Kröll, 2002)
- vereinigt stets Sach- Erziehungs- und Bildungsziele
- entwickelt sich weiter: → *Entwicklung ist, wenn sich das Wichtigste durchsetzt!*

¹⁸ Prozess, der im Zuge seines Ablaufs fortgesetzt die Grundlage für die jeweils nächste Entscheidung neu einstellt, „Lehr-Lernplanung wird versuchen, sich selbst und die Effekte, die sie als reflexiver Prozeß auslösen kann, mit einzuplanen. Auf diese Weise erzeugt sie selbst automatisch Hyperkomplexität. Neben der Komplexität, die aufgrund der multiplen Selbstreferenz des Lehr-Lernsystems besteht, entsteht somit eine neue Qualität von Komplexität, die von der Lehr-Lernplanung ausgeht“ (S. 99-100).



Abb. A1: Übersicht zu den Faktoren der Expertise-Entwicklung von Lehrkräften

„Die Beziehung zwischen Unterricht und Lernen ist keine Beziehung zwischen Ursache und Wirkung, sondern zwischen dem, was in der Unterrichtsstunde möglich gemacht wird (durch den realisierten Lerngegenstand, der gemeinsam von Lehrpersonen und Schulklasse konstituiert¹⁹ wurde), und den Möglichkeiten, welche die Schülerinnen und Schüler tatsächlich nutzen (der erlebte Lerngegenstand, wie er tatsächlich erfahren wurde)“ (Lo, 2015; S.85).

„Lehren und Lernen sind die Komponenten, die den Menschen in seinem Sein und Wesen erhalten und zusammenhalten“ (Drechsler, 1967, S. 17). Nicht nur deshalb gehört „Unterricht zu den komplexesten Gebilden menschlicher Wirklichkeit“ (S. 22). Es führt sogar zur Mathematisierung, so als wäre Unterricht ein Algorithmus (Abb. A2). So formuliert Fend (2002) ein so genanntes „Angebot-Nutzungs-Modell“ (Abb. A2; Vgl. auch: Helmke, 2003, S. 42). In ihm wird eine Lernsumme gebildet, die sich u.a. aus Ressourcenverfügung und Dispositionsnutzung ableitet.

¹⁹ Besser: „ko-konstruiert“ (Vgl. Fendt, T.: „Schülvorstellungen im Zentrum des Unterrichtsgesprächs – Förderung von ko-konstruktiven Lernprozessen im Chemieunterricht“ (2018)

Unterrichtswirksamkeitsformel

$$\text{LS} = f(A, N)$$

Lernsumme eines Bildungssystems

Angebot (Ressourcenzuteilung, Autonomie, Vorgabenkontrolle, Abstimmung zwischen Anforderungen und Leistungsfähigkeit, Lernzeit)

Nutzen („Fassungsvermögen“, Interessenentwicklung, Förderung individueller Dispositionen)

$$A = f(PQ, INQ, \underline{INSTRQ})$$

$$N = f(KQ, MQ)$$

Programmqualität (Lp, Sachstruktur)

Institutionsqualität (Ausstattung,

Kontrolle, Evaluation)

Instruktionsqualität (Lehrerkompetenzen, Methodik)

Kognitionsqualität

(Aufnahme & Verarbeitung / Zeit, genetische Disposition, schulunabh. Lernanregungen)

Motivationsqualität

(Aufmerksamkeitsintensität, Zeitinvestition, Eigenaktivität)

Abb. A2: Mathematisiertes Unterrichtsmodell als Unterrichtswirksamkeitsformel (nach Fend, 2002).

Für unseren Zweck ist die „Instruktionsqualität“ (INSTRQ, im Original: QI²⁰) in den Fokus zu nehmen. In ihr verdichten sich alle wichtigen Kompetenzen der Lehrperson (Fach-, Diagnose-, Lern-, Sozial-, Kommunikations-, Didaktik-Kompetenz).

²⁰ Anders als bei Fend (2002) findet sich das Kürzel „QI“ bei Rüppell et al. (1982) und bedeutet dort: „Qualität der Informationsverarbeitung“ (vgl. Weinert, 1994a, S. 191)

A 2.1 Unterrichtsphasen-Modell

Mit diesem Modell kann primär die Prozesshaftigkeit des Unterrichtsgeschehens modelliert werden. Diese wird in den notwendigen Zusammenhang mit anderen unterrichtswirksamen Komponenten gestellt (Abb. A3). Implizit verdeutlicht es als analytisches Modell die Unterscheidung von didaktischen und mathetischen Arbeits- und Wirkungsfeldern im Unterricht.

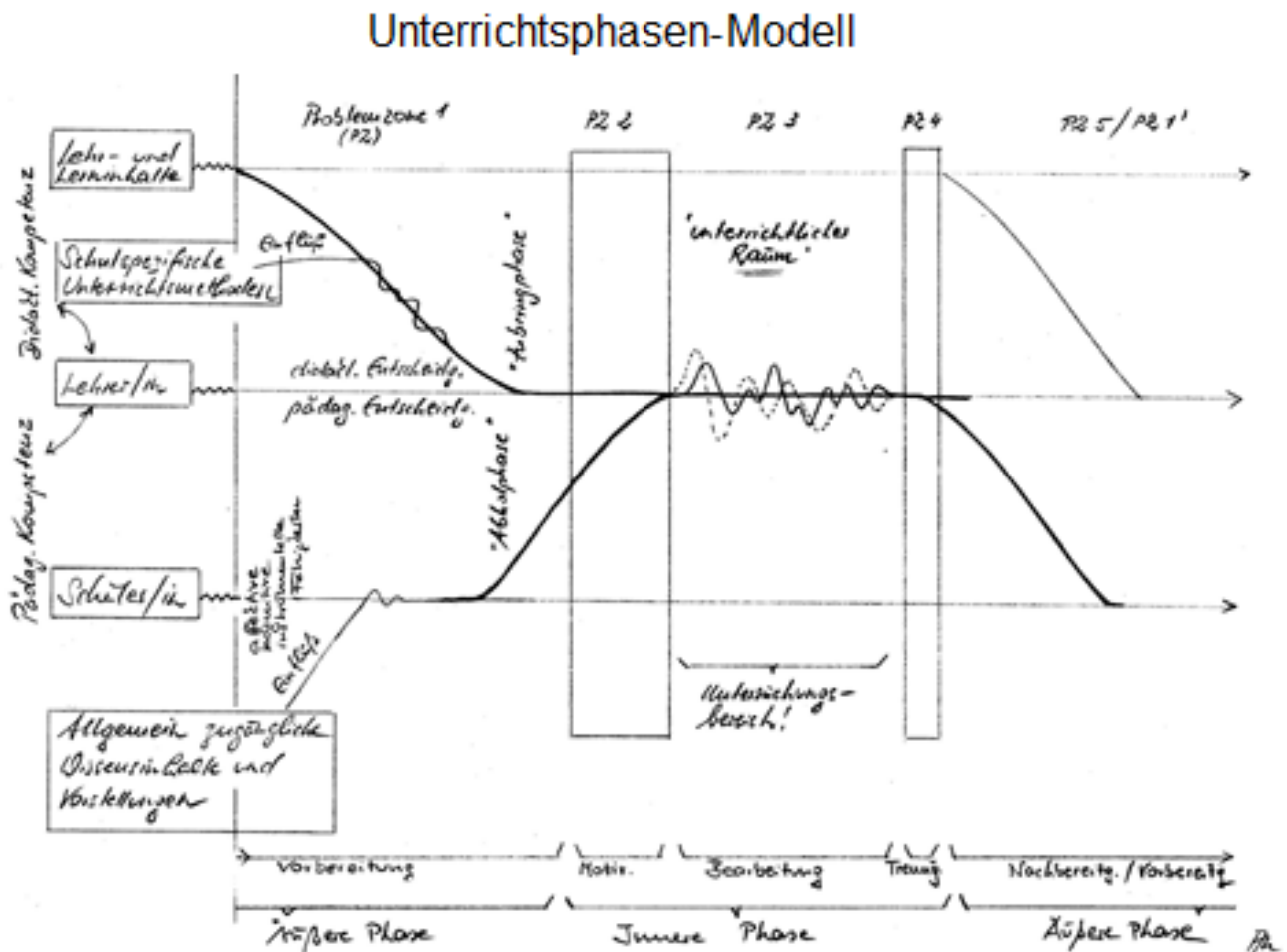


Abb. A3: Skizze zum Unterrichtsphasen-Modell. Bildhaft wird dargestellt, wie Inhalt und Schüler durch die LehrerInnentätigkeit in der Äußereren Phase zusammengeführt werden. In der Inneren Phase spielt sich das tatsächliche Geschehen ab, eingerahmt von einer Motivations- und einer Trennungsphase. Die aktuellen Einflussnahmen durch die konkreten Ablaufbedingungen werden durch zusätzliche Kurven dargestellt.

Dieses Modell zeigt deutlich, wie sehr sich die Gestaltbarkeit einzelner Unterrichtsabschnitte unterscheidet. Gerade bei Besprechungen von Visitationen ist es wichtig, hier auf Geplantes oder Planbares und eben nicht vollständig antizipierbare Abschnitte einer Unterrichtsstunde einzugehen.

A 2.2 Aktivierungs-Modell

Das „Aktivierungsmodell“ betont einerseits den „Dreiklang“ aus Motivation, Instruktion und Utilisation (Abb. A4.1 & 2), es zeigt aber auch die Niveauverhältnisse im Unterrichtsverlauf über „Hinführung, Problemabgrenzung und –bearbeitung sowie Problemlösung und Lösungsbewährung“.

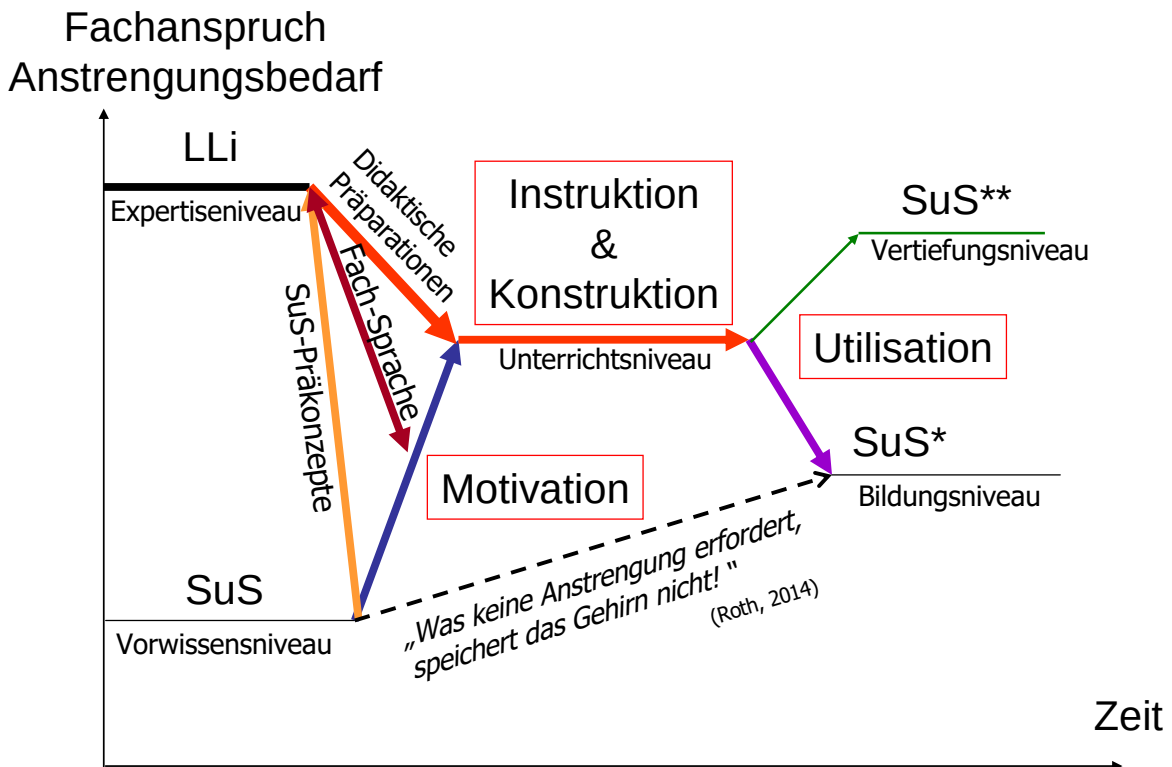


Abb. A4.1: „Weg durch das Fach“- oder „Aktivierungs“-Modell (Anton, 1999a, 2001 & 2008a, Salner-Gridling, 2009).

Ohne Anstrengung, sozusagen über den „Nürnberger Trichter“ geht es aber keinesfalls: „Verbotener Weg“: „Was keine Anstrengung erfordert, speichert das Gehirn nicht“ (Roth, 2014, zit. aus Dittmer-Glaubig, 2014, S. 13). „Generell gilt, dass unser Gehirn Anstrengung mit tieferer Erkenntnis und einer erhöhten Langlebigkeit der neuen Informationen im Speicher belohnt“ (Korte, 2017, S. 256)

Dem geübten ChemikerInnenauge wird sich die Grafik rasch als umfunktioniertes Schema einer endothermen chemischen Reaktion erschließen, was durchaus gewollt ist, da wir aus unserem Unterricht gerne `angeregte, energiereiche Schüler` entlassen wollen! Die SchülerInnen begeben sich zunächst in die Unterrichtssituation, in die sie ihre Vorkenntnisse (individuell, nicht geordnet), ihr Grundwissen (schon fachlich zugeordnetes und systematisch erworbenes Wissen), ihre Prä- bzw. Primärkonzepte

(organisiertes Nichtwissen²¹ als: Vermutungen zur Kausalität von Sachverhalten aus dem Alltagserleben: „subjektive Theorien“), ihre „alternate conceptions“ (Mulford & Robinson, 2002; Barker, 1997), jedoch auch ihre sprachlichen Voraussetzungen wie Anthropomorphismen und alltagssprachlichen Ausdrücke (Anton, 1999c) sowie die schon erworbenen wissenschaftlichen Konzepte (fachspezifisches Erklärwissen) und die damit verbundenen Bedeutungsbeimessungen mitbringen (Kesidou, 1990; Lichtfeld, 1992; Girg, 1994; Schletter, 1999; Elschenbroich, 2001; Barke, 2006; Barke & Yitbarek, 2009; Dörfler & Barke, 2009; Lo, 2015).

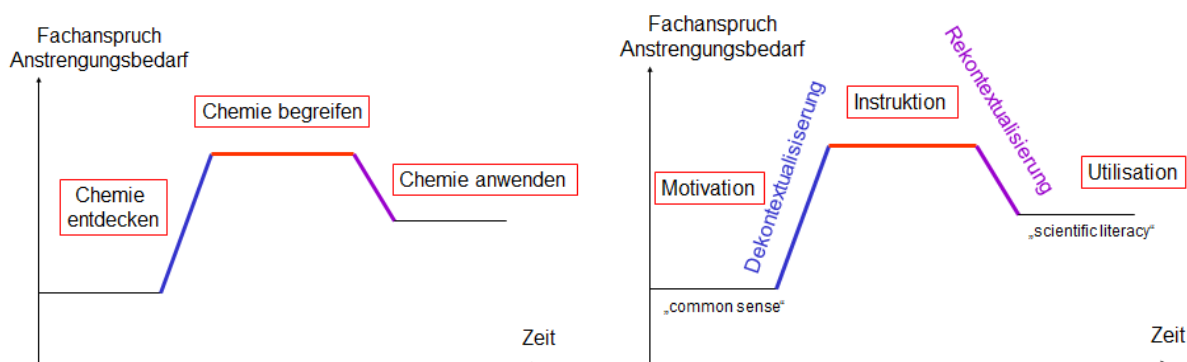


Abb. A4.2: „Weg durch das Fach“- oder „Aktivierungs“-Modell (Anton, 1999a, 2001 & 2008a, Salner-Gridling, 2009). Von links nach rechts gelesen, kommen jeder Schüler und jede Schülerin in die Unterrichtssituation durch Motivation im Sinne der Kopplung von Vorkenntnissen mit neuen Informationen, die vom Schwierigkeitsgrad der Inhalte sowie sprachlich lernattraktiv vorgestellt werden. Es folgt der Gang durch die Unterrichtssituation als Kombination von instruktiven Lehr- und konstruktiven Lernelementen. Da nicht alle Details aus der konkreten Unterrichtsarbeit erinnert werden müssen und auch nicht können, darf das finale Anspruchsniveau etwas absinken, was bedeutet, dass das Wesentliche hervorgehoben wird, Prinzipien erkannt und Generalisierungen durchgeführt werden (Vgl. hierzu Kap. D4). Maßgebend hierfür ist dann die Anwendbarkeit der fürs Weiterlernen und/oder besser für den Alltag brauchbaren Anteile des Gelernten. Die Bedeutung dieser insbesondere außerunterrichtlichen „Anwendbarkeit“ des erworbenen Wissens wird meist unterschätzt. Eine Didaktik, die dies besonders in den Fokus nimmt, kann als „konstruktive Didaktik“ bezeichnet werden (Vgl. hierzu Urner, 2019).

Von der Lehrkraft werden diese sieben Einflussfaktoren in eine Motivationsphase²² eingebunden, innerhalb derer die Bezüge zwischen dem vorhandenen Wissen und den anstehenden Erfahrungen („bridging“: Adey et al., 1989; Mund, 1993) verdeutlicht werden, welche unterschiedlich „steil“ zur Instruktionsphase führen. Selbstverständlich ist es erklärtes Ziel, hier auch die Aufmerksamkeit zu lenken, Neugier zu wecken und Anfangsbegeisterung zu erzeugen, die sich auf die folgende Unterrichtsarbeit übertragen lassen können muss. „Dem anregenden Einstieg muß aber auch ein ergiebiger Unterricht folgen. ... wer z. B. die Schüler durch ein prächtiges, vielversprechendes Portal (sprich zwingende Stundeneröffnung) in eine dürftige Hütte (sprich langweiligen, inhaltsleeren Unterricht) führt, verdirbt auf lange Sicht die natürliche Lernbereitschaft der Kinder“ (Göldner, 1983)²³. Sehr oft wird dieser Zusammenhang nicht ausreichend beachtet,

²¹ Um hierfür die Begründung zu liefern, spricht man auch von einer „Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (TeV) (Messig et al., 2016). „Erfahrungsbasiert“ soll hier bedeuten, dass eine wissenschaftliche Korrektur (noch) nicht stattgefunden hat

²² Vgl. hierzu auch: Ryan & Deci, 2000 und Sprenger, 2005.

²³ Sie bezieht auch den sogenannten „Motivationstransfer“ mit ein, über den attraktive Erlebnisse außerhalb des Fachs Chemie (Sport, Biologie) zum interessierten Bearbeiten von chemischen Inhalten führen können, welche deren Anwendung begründen und vertiefen lassen (Vetrovsky & Anton, 2008; Baumann & Anton, 2014).

sodass ein nur geringer bzw. ein fehlender Motivationseffekt dem Inhalt oder/und dem Schüler angelastet wird. Die moderne Mathematik sieht indes die Ursache des Problems in einer Ignorierung der notwendigen Unterscheidung zwischen der aktiven Motivierung von außen (extrinsisch) und einer Freilegung vorhandener Motive des Lerners (intrinsisch). Gerade in den Unterrichtssequenzen hoher Abstraktheit im Anfangsunterricht deckt sich die Motivationsarbeit der Lehrkraft nicht mit der Motiviertheit der Lernenden. Motivierung ist erst dann effizient, wenn sie die Lernenden in die Lage versetzt, dem Inhalt eine von ihnen aus gesehen wichtige Bedeutung beizumessen²⁴. Damit gerät die Motivationsphase zu einer sehr entscheidenden Voraussetzung für die je individuell erfolgreiche Wissenskonstruktion! Es kann also keine verlorene Zeit sein, wenn sich die Lehrenden eher den Motiven der Schüler widmen und weniger der Suche nach vordergründig-extrinsischen Reizen; denn hierin zeigt sich Wertschätzung, Talentförderung und Persönlichkeitsbildung!

Idealerweise startet die Instruktion mit einer Aktivierung des Vorwissens. Über die „didaktische Frage“ (Aebli, 1968), besser ‚Aufforderung‘ werden SchülerInnenfragen induziert. Diese Phase verläuft grundsätzlich fachspezifisch, vertieft den problembasierten Informationstransfer und endet in der Regel mit dem Abschluss eines Themas (etwa aus dem Lehrplan). Vernünftigerweise wird bereits während dieser Instruktionsphase, dem Lehrlerngang, sicher jedoch nach ihrem Abschluss auf induktivem Weg Wesentliches von Unwesentlichem getrennt („gist extraction“). Prinzipien, Grundsätze müssen extrahiert und unter dem Primat ihrer besonderen Bedeutung für das Gesamtverständnis (Verstehen bedeutet Beziehungen herstellen und Zusammenhänge erkennen, also neue Denkschemata aufbauen) in das vorhandene Wissen integriert werden. Der Neurowissenschaftler Henning Beck (2020) titelt „Das neue Lernen heißt Verstehen“²⁵. Diese Erkenntnis hat durchaus weitreichende Folgen: Das Erkennen von Zusammenhängen und Beziehungen ist zugleich Grundlage für das Abschätzen Können von Konsequenzen aktueller Entscheidungen und Verhaltensweisen. Das ist in der Jetztzeit nicht das Unwichtigste!

Interessante Beispiele fallen meist ebenfalls nicht dem Vergessen anheim²⁶. Gefestigt werden kann dieses Unterrichtsergebnis durch besondere Formen der Hervorhebung, etwa durch explizite Strukturierung oder als Präsentationen durch SchülerInnen (Renkl, 1997). Sie lassen sich sehr differenziert ausgestalten (Tab. A1) und stellen Verwandte des projektorientierten (Münzinger & Frey, 1990; S. 15) bzw. Projektunterrichts (Emer & Lenzen, 2002; S. 120) dar.

²⁴ „Er [der Zögling] erwirbt sich frühzeitig eine große Erfahrung; er erhält seinen Unterricht von der Natur; er unterrichtet sich umso lieber, da er nirgends die Absicht erkennt, ihn unterrichten zu wollen“ (Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) (1752). *Émile oder Über die Erziehung*, Buch 2, zit. aus Ackermann, E. (Hrsg.) (2021). Jean-Jacques Rousseau – Die Kunst zu leben. München: Anaconda, S. 94-95). Vgl. hierzu auch Inhalte der „Phänomenographie“ (Samulesson, 1970)

²⁵ In der klassischen Literatur finden sich deutlich unterscheidbare Ausführungen über „Erkennen“ (Humberto Maturana, 2001), „Denken“ (Martin Heidegger, 1992), Dummheit (Robert Musil, 2019), „Wissenschaftliche Aufmerksamkeit (Lorraine Daston, 2000), „Verstehen“ (Reusser & Reusser-Weyeneth, 1994; Aeschbacher, 1989)

²⁶ Ein Ergebnis aus der Hirnforschung müsste praxisnah überprüft werden: Fenker und Schütze (2008) leiten aus ihren Untersuchungen ab, dass es der Merkbarekeit von neuen, auffallenden, überraschenden Sachverhalten dient, wenn diese v o r der Wiederholung des Bekannten präsentiert werden!

Informationen weitergeben	<i>Retelling Tasks</i>
Informationen zusammenstellen	<i>Compilation Tasks</i>
Rätsel lösen	<i>Mystery Tasks</i>
Journalistisch berichten	<i>Journalistic Tasks</i>
Planen und Entwerfen	<i>Design Tasks</i>
Kreatives Projekt erstellen	<i>Creative Product Tasks</i>
Einigungsvorschlag erarbeiten	<i>Consensus Building Tasks</i>
Andere überzeugen	<i>Persuasion Tasks</i>
Sich selbst kennenlernen	<i>Self-Knowledge Tasks</i>
Sachverhalte analysieren	<i>Analytical Tasks</i>
Entscheidungen treffen	<i>Judgement Tasks</i>
Erkunden und Forschen	<i>Scientific Tasks</i>

Tab. A1: Repräsentationsformen, wie sie am Ende von projektorientiertem Unterricht zur Auswahl gestellt werden können (Dodge, 2002; zit. nach: Freienberg & Weiß, 2009).

Die im Modell dargestellte waagrechte Linie für die Instruktionsphase integriert alle individuellen Lehr-Lern-Verläufe der SchülerInnen. Würde man diese Linie mit einer fiktiven Lupe betrachten, so sähe man so viele Linien wie SchülerInnen in der Klasse sind. Diese individuellen Instruktionsphasen differenzieren Kösel (1993) und Bönsch (2001) etwas ungewöhnlich nach „Morphemen“ (didaktische Angebote) und „Chreoden“ (Lernweisen der Lerner), die sich innerhalb einer „Driftzone“ gegenseitig beeinflussen und entwickeln. Demnach könnte man die Instruktionslinie zusätzlich als Driftzone kennzeichnen. Die Wertschätzung des erworbenen Wissens als rentables Ergebnis der Lernanstrengung wird in erster Linie durch dessen frühzeitige und sinnvolle lebensnahe Anwendung unterstützt, wenn nicht gar erst vollständig ermöglicht. „Wissen ist nämlich die Fähigkeit, mit Informationen umzugehen, und bedeutet nicht, dass man viele Informationen gespeichert hat“ (Beck, 2020, S. 152). Durch Vernetzung des anfänglich fragmentierten Einzelfaktenwissens entsteht ein neues Wissensniveau, welches als Ausgangspunkt für die weitere Motivation und Instruktion dient. Hier ist es erneut und ganz besonders wichtig, den jetzt neu ermöglichten Bezug zu mittlerweile erklärbaren Alltagsphänomenen²⁷ aufzuzeigen; denn „Anwendungsleistungen sind vielmehr *eigenständige Leistungen*, die prinzipiell in jeder neuen Anwendungssituation erbracht werden müssen“ (Minnameier, 2005, S.162), vergleichbar einem „Ferntransfer“ (Adey et al., 1989/Mund, 1993; Schiepe-Tiska, 2014)²⁸.

Ungewollt aber äußerst treffend, finden sich diese Stationen des „Entdeckens“, „Begreifens, bzw. Verstehens“ und des „Anwendens“ chemischer Inhalte im Buch von Andrea Heering (2013) (Chemielehrerin an der Europäischen Schule in Brüssel), in welchem „grundsätzliche chemische Phänomene in kleinen Geschichten des Alltags aufgezeigt werden, die Bedeutung der Chemie im Alltag dadurch herausgehoben wird und mit emotional ansprechenden Erlebnissen der Hauptperson kognitiv verankert wird“ (S. XV-XVI). Andere Ausführungen zu den Alltagsbezügen chemischer Fachinhalte sind bei Woest (1996), Demuth et al. (2006), Mädefessel-Herrmann et al. (2004), Stuckey et

²⁷ Alltag soll hier verstanden werden als die gestaltete, verlässliche und bekannte Umwelt, die zur meist routinemäßigen Befriedigung von Bedürfnissen und Wünschen (Arbeit, Konsum, Freizeit, Schlaf) zur Verfügung steht

²⁸ Diese Schrittfolge des „Aktivierungs-Modells“ besitzt Ähnlichkeit mit den fünf E's („five Es“, „5e s“): „Engagement, Exploration, Explantation, Elaboration, Evaluation“ (Boddy, Watson & Aubusson, 2003), die allerdings besser als Artikulationsstufen bezeichnet werden können.

al. (2013) sowie im Themenheft „Chemie – Alltag und Hobby“ der PdN-ChiS (Duvina, 2014) aufgeführt. Hinzuweisen wäre auch auf das Buch „Komisch, alles chemisch!“ (Nguyen-Kim, 2019), in dem es in Ergänzung zu bekannten Fernsehformaten (Quarks, Youtube-Beiträge zu Lesch & Co.) um die sehr anschauliche und prägnante Erklärung ausgewählter chemischer Phänomene aus dem Alltag geht.

Aktuell werden aus der Biologie(didaktik) die „Mysteries“²⁹ angeboten um komplexe Sachverhalte (Gehörschädigung durch laute Musik) in Form einer Verfremdung `mysteriös-irritierend`, sozusagen als Rätsel anzubieten: „Heiko liegt im Krankenhaus und Timo wird beim Sprinten Letzter“ (Pütz et al., 2015). In ihrer Zulassungsarbeit (Teil des 1. Staatsexamens in der Lehramtsprüfung in Bayern) ordnet Pousset (2013) den aktuellen Lehrplaninhalten für das Fach Chemie jeweils mindestens einen Alltagsbezug zu (Literaturliste). Ein weiterer Bezug ergibt sich zu „Chemie im Kontext“ (ChiK). Hier folgt einer Dekontextualisierung komplexer Sachverhalte die Dekontextualisierung der neu erworbenen chemischen Fachkenntnisse. Ziel ist es, ein flexibles „kontextunabhängiges Wissensfundament“ für kreative Nutzung zu erzeugen.

Die SchülerInnen finden in der Regel weder den Mut noch die Sicherheit und sehen sich verständlicherweise nicht in der Lage, diese Beziehungen von sich aus zu erkennen und für sich nutzbar zu machen. Hier bedarf es auch des Hinweisens, des Vormachens („Lernen am Modell“) und der Übung (Loser, 1968; Menzel, 1986; Speichert, 1985; Heering, 2013). Im Spruch „Das Wort, das einem weiterhilft, kann man sich nicht selber sagen!“ manifestiert sich hierzu die Bedeutung der LehrerInnenrolle in Form einer expliziten Hervorhebung als Feedback, wobei die Folgen des Lobens stets richtig eingeschätzt werden müssen (Rheinberg, 2007). Analoges meint auch das Zitat von Friedrich Hölderlin: „Eigenes Nachdenken ist wohl gut, aber das Wort eines Freundes hilft wohlthätiger und irrt weniger“. Dieser Rückbezug, der hier in einem „zusammenhangsorientierten Chemieunterricht“ („ZOC“; Anton, 2000a) erfolgt, ermöglicht es den SchülerInnen, ihr Lernen sinnstiftend zu erleben und bewusst zu reflektieren. „Die Lerngeschichte des Kindes prägt seine Einstellung zum Lernen“ (Göldner, 1983, S. 4): `Sich lernend verwandeln`.

SchülerInnen lernen nicht nur den Inhalt, sondern erfahren auch, was sie mit dem gelernten Fachinhalt nun anfangen können, nicht nur bei Prüfungen und nicht nur innerhalb des Faches (Anton, 2003c, d)! Die erzeugten Bedeutungen werden dabei immer mitgelernt. So kann auch das Interesse der SchülerInnen so stark aktiviert werden, dass sich einige von ihnen eigeninitiativ auf den Weg zurück ins Fach machen und vertiefend in den Stoff eindringen (Jugend forscht, Chemie-Olympiade etc.) (Abb. A4.3)

²⁹ Auch in der Chemiedidaktik findet sich dieser Begriff (vgl. Themenheft von Chemie & Schule 2015, 1b: Lembens & Abels: Forschendes Lernen nach dem 5E-Modell und Showmanship; 5E: Engage = Motivieren; Explore= Erforschen; Explain = Erklären; Extend =Vertiefen, Anwenden; Evaluate = Bewerten; Vgl. Bybee, 2009), wobei es sich hier eher um den Einstieg in forschend-entwickelndes Lernen handelt und eine enge Verwandtschaft besteht zum Prinzip der „Anchored Instruction“ (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1996). Das 5E-Modell kann weniger als ein `Modell von Unterricht`, denn als „Unterrichtsplanungsmodell“ gekennzeichnet werden, da es vornehmlich Artikulationsstufen (Herbart, 1776-1841; Dörpfeld, 1873; Willmann, 1888; Kerschensteiner, 1854-1932; Grell&Grell, 1979 uvam.) beschreibt!

Noch eine sehr streng jedoch überlegenswerte Anmerkung zum Terminus „Forschendes Lernen“: „Wo aber geforscht wird oder aber geforscht werden soll, muss das Lehren wie das Lernen dem Forschen vorausgehen oder nachfolgen und kann nicht mit dem Lehren oder Lernen ohne Forschungsbezug gleichgesetzt werden“ (Benner, 2022, S. 303) und „Forschendes Lernen wäre dann ein Lernen, in dem nichts mehr mit Unterstützung durch Lehre gelernt und Forschung letztlich nur noch simuliert würde“ (S. 300). Es darf wissenschaftspropädeutisches Unterrichten („stringentes Beobachten, Versuchen und Ausprobieren“) nicht mit forschendem Lernen, das so nicht funktioniert (`Bekanntes muss nicht erforscht werden, Unbekanntes kann nicht gelehrt und gelernt werden`), verwechselt werden, so als ob sich beim forschenden Lernen das Lehren erübrigen würde.

und dabei sogar einen Flow erleben. Ein Kollege, Horst Dorner (ehemaliger Grundschulrektor), spricht hier anstelle von „*unterrichten*“ vom „*Aufrichten*“!

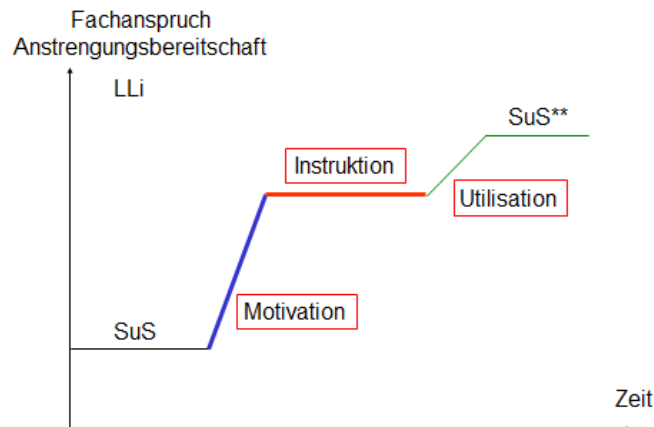


Abb. A4.3: Aktivierungsmodell mit Ergänzung: Nach der Instruktionsphase begeben sich besonders interessierte SuS eigeninitiativ in die fachliche Tiefe

Diese Förderung des Interesses wie auch die als Vorbild wirkende Begeisterung der Lehrkraft für ihr Fach sind dabei immer das Ergebnis aufwändigen Studiums, souveräner Fertigkeiten (hier des Experimentierens) und einer umfangreichen, breitgefächerten Fachkompetenz. Entgegen häufig geäußerter laienhafter Bemerkungen gilt dies für alle Lehrämter und Schularten!! Das Qualifikationsniveau der Lehrkraft muss stets über dem der konkreten Instruktion liegen (Abb. A4.4).

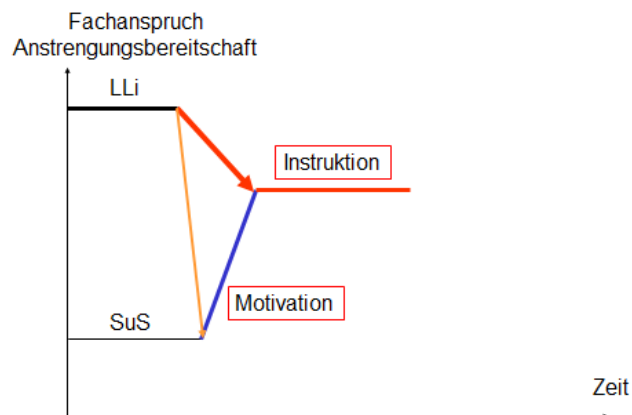


Abb. A4.4: Aktivierungsmodell mit Ergänzung: Die Position der Lehrkraft, die deutlich über dem Instruktionsniveau liegen muss, ist auch gekennzeichnet durch deren Aufgabe der didaktischen Anpassung der LP-Inhalte an das mitgebrachte Vorwissen der SuS

Ein *direkter*, anstrengungsfreier Weg von den Vorkenntnissen zum Aufbauwissen ist folgerichtig nicht möglich („verbotener Weg“). Die Lernanstrengung kann ebenso wenig umgangen werden, wie der Aufwand der Lehrperson. Sie muss das aktuelle Fachwissen in eine Form überführen, in der es sich für den Lernenden als verstehbar und bedeutungsvoll (Sinnstiftung!) erweist. Für diese didaktische und methodische Leistung stehen Begriffe wie „Didaktische Vereinfachung“, „Didaktische Reduktion“, „Didaktische Transformation“ und „Didaktische Rekonstruktion“. Sie können als „Didaktische Präparationen“ (Zöpfel, 1976) zusammengefasst werden (Abb. A4.5).

Didaktische Präparation

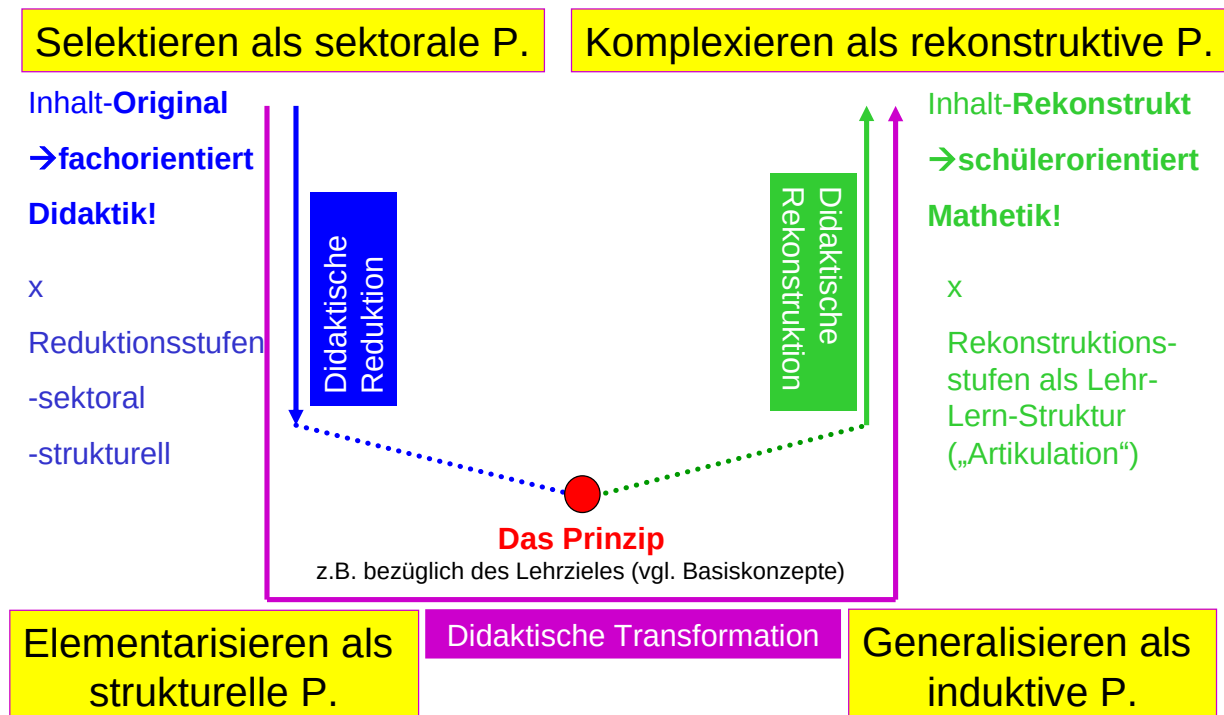


Abb. A4.5: Schrittfolge und Zusammenhänge im Verlauf einer **didaktischen Präparation** als „Vorgang und Ergebnis jener Veränderung, der ein Gegenstand im Hinblick auf seine Lehre unterworfen werden muß, damit er Schülern mit einem bestimmten Auffassungsniveau ohne Verfälschung verständlich gemacht werden kann“ (Zöpfel et al., 1976). Die historischen Begriffe sind hier im Sinne einer Synopse schematisch aufeinander bezogen (Didaktische Vereinfachung: Hering, 1958; Didaktische Reduktion: Grüner, 1967; Weber, 1976; Didaktische Rekonstruktion: Kattmann et al., 1997; Didaktische Transformation: Reiners, 1999, 2000) (nach W. Wagner, Bayreuth, verändert).

Diese 'Vereinfachung' darf keinesfalls zu Irritationen oder einer Verfälschung führen, was mit der Einhaltung der folgenden drei Kriterien sichergestellt werden soll (Abb. A3.4):

- Fachliche Richtigkeit
- Fachliche Ausbaufähigkeit zum noch Leichterem und zum ursprünglich Schwierigeren hin
- Angemessenheit bzgl. der kognitiven Struktur, der affektiven Verfasstheit & der instrumentellen Fertigkeiten der Lernenden, sodass er für die jeweilige Schülerklientel be- und verarbeitbar wird. Es ist sogar wichtig, das Empfinden für Schwierigkeiten („desirable difficulties“) beim Verstehen nicht zu eliminieren.

Diese Kriterien sind nur einhaltbar, wenn der Ausgangspunkt des LehrerInnenwissens (Fachkompetenz) deutlich über dem Instruktionsniveau liegt³⁰ und die didaktische wie mathetische Kompetenz professionell ausgebildet sind

³⁰ Eine aus der Kybernetik entlehnte, hier nicht ausgeführte, dennoch interessante Variante der Modellbildung findet sich bei Bönsch (1995). Hier wird 'Unterricht' in einen Regelkreis übersetzt.

In Summe kann das Zusammenspiel der drei Ebenen des Aktivierungs-Modells als „Didaktisch-Mathetischer Dreiklang“ bezeichnet werden:

- Schulrelevanter Anspruch
 - Schultypische Motivations- und Vorwissenslage
- Instruktion und epistemische Aktivität
 - Konfrontation mit subjektiven Theorien (ST)
 - Wissensgenerierung
 - Prozessregulation
- Alltagsrelevante Bewährung
 - Arrondierung des Wissensgebiets
 - disziplinär
 - Nutzung konkreten Wissens außerhalb des Fachgebiets
 - inter-, transdisziplinär

Da sich Unterricht nicht nur über das prozessuale Zusammenspiel seiner Abschnitte definiert, sondern auch und vor allem über die Ergebnisse, welche damit erzielt werden, müssen den LehrerInnen wie auch dem VermittlungswissenschaftlerInnen geeignete Wissensmodelle zur Verfügung stehen.

Das Aktivierungs-Modell bietet sich als Integral an für die Beschreibung von wechselnden Anspruchsebenen bei der Ausbildung von Kompetenzbereichen innerhalb einer fortgesetzten und kontinuierlichen Kontaktierung der Lernenden in allen Entwicklungsphasen mit chemierelevanten strukturierten Inhalten, Fragestellungen und Innovationen, ohne dabei die grundsätzlichen Elemente der täglichen Unterrichtspraxis außer Acht zu lassen.

A 3 Wissen

„Wissen“ hat u.a. mindestens zwei Aspekte. Einmal ist das, was man weiß, dazu geeignet, es vorteilhaft zu nutzen und damit Macht auszuüben. Diese sophistische (vs. sokratische) Sichtweise beschränkt die Bewertung von Informationen auf opportunistisches Auswählen. Zum anderen ist Wissen die Ansammlung von gut begründbaren Wahrheiten, deren unmittelbarer Nutzen jedoch zunächst zweitrangig ist. Damit stehen sich zwei Sichtweisen einander gegenüber, einmal die nutzungs- oder berufswahlorientierte und dann die wissenschafts- und forschungsorientierte. Es gibt aber auch noch eine dritte Perspektive, die bildungsorientierte oder auch „humanistische“³¹, also „inklusive-individuelle“ (Nida-Rümelin). Diese drei Varianten sollen nicht gegeneinander ausgespielt werden, vielmehr geht es darum, sie in einen gewinnbringenden gemeinsamen Kontext zu bringen.

In der Schule sind alle drei Wissensqualitäten von großer Bedeutung. Dabei gilt: Jegliches Wissen basiert auf der immer individuellen Integration von neuen Informationen in vorhandene Wissensnetze. Welche Gewichtung den Wissensbeständen jeweils beigemessen wird, entscheidet immer der Wissende bzw. der Lehrende anhand der (ethischen) Maßstäbe, die er selbst mit dem Wissenserwerb miterworben hat. „Wir können das, was wir Realität nennen, nicht von unseren [individuellen] Erkenntnismöglichkeiten lösen. Und das, was wir Wissen nennen, nicht von der Erfahrung mit unserer Umwelt“ (Precht, 2020, S. 134). Nicht nur domänenspezifisches Wissen ist das Ergebnis der sachlogischen und folgerichtigen Einpassung von Informationen³² in ein vorhandenes Beziehungsgeflecht aus angeborenem und schon erworbenem Wissen auf der Basis neurophysiologischer und emotionaler Gegebenheiten eines Individuums. Je nach Einsatzbereich unterscheidet man eine Fülle von Wissensformen, die weiter unten als Übersicht (Abb. A8) dargestellt sind. Der Prozess der Wissensgenese als Herstellung von Beziehungen und Erkennen von Zusammenhängen wird als Verstehen bezeichnet³³. Die hier aufscheinende Dynamik dieses Prozesses nennt Aebli (1951) „Beweglichkeitsleistungen“. Nach Aeschbacher (1989) ließe sich „Verstehen“ auch aus der Sicht des Lerners wie folgt beschreiben als „Das Gefühl, die Konzeption einer Sache mit bisherigen eigenen Wissensbeständen in Einklang gebracht, geahnte Verwandtschaften und Zusammengehörigkeiten geklärt zu haben, ist ein der Selbsterfahrung zugängliches Erlebnis-Indiz dafür, daß ein gegebener Sachverhalt 'weitgehend' verstanden ist“ (S. 107). Dabei gilt: „Man kann nur verstehen, was man erinnern kann“ (Greutmann et al., 2021, S. 40-41).

Verstandenes Wissen ist die Basis von Bildung. Es dient zur Begründung von Entscheidungen. Sind diese sozial verträglich und vernünftig, so kann von einer humanen Bildung gesprochen werden. Es ist die Aufgabe der ‚epistemologischen Didaktik‘, Instrumente des Wissensaufbaus, der Wissenskonstruktion und der Wissensvermittlung

³¹ Der Philosoph Julian Nida-Rümelin hat in seinem Vortrag „Zur Aktualität humanistischer Bildungsideale“ am 17.1.2018 an der LMU sehr deutlich gemacht, dass der humanistische Bildungsbegriff bei Überbetonung des wirtschaftlichen Nutzens von Wissen einerseits und des wissenschaftlich fundierten Wissens andererseits verraten wird, zugleich aber als eine Notwendigkeit des modernen Weltverständnisses ein Ziel von Schulunterricht sein sollte

³² Wir leben nicht in einer „Wissensgesellschaft“, sondern vielmehr in einer „Information-zur-Verfügung-stellen-Gesellschaft“!

³³ Reusser & Reusser-Weyenenth (1994) geben Ihrem Buch den Titel „Verstehen als Prozess und Bildungsaufgabe“. Nach Beck (2020) besitzt der Verstehensprozess die folgenden Eigenschaften: Unumkehrbarkeit (Man kann nicht *ent-verstehen*), Erkennen eines Ursache-Wirkungs-Prinzips, Aufbau eines neuen Denkmodells (S. 96). Damit entsteht Abstraktion, worin sich der Mensch vom Tier und vom PC unterscheidet

zur Verfügung zu stellen, denn „*Wissen ist die beste Medizin*“ (Dr. J. Wimmer, 29.2.2020, ARD). In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Kategorisierungen des Wissens (Vgl. Abb. A8), auch in Abhängigkeit von Wissenserwerb und Wissensentwicklung (Weinert & Waldmann, 1988). Zwei davon sollen im Folgenden vorgestellt werden. Aufgrund Ihrer Einfachheit und Übersichtlichkeit erscheinen sie für den Praxisgebrauch als besonders hilfreich.

Dabei soll unter „Wissen“ die jeweils domänenspezifisch konsolidierte Integration von Informationen in das Langzeitgedächtnis sowie deren flexible Verfügbarkeit bei Problemlösungen verstanden werden. Sichere Wissensgenese braucht Zeit, auch weil sie in den hirne physiologischen Vorgängen ein materiales Pendant besitzt. Wagenschein (1959) fordert „*ernst machen können* mit einer Unterrichtsmethode, die den Schüler nicht über papierene `Gipfel` hetzt, sondern ihm Zeit lässt zu der *Versenkung in die Sache*, die allein eine echte *Selbsttätigkeit* und Selbstständigkeit erwecken kann“ (zit. aus Drechsler, 1967, S. 34). Die hier anzustrebende Gründlichkeit kann mit einem Zitat von J. W. v. Goethe belegt werden: „Eines recht wissen und ausüben, gibt mehr echte Bildung als Halbheit im Hundertfältigen“. ³⁴ Fokus ist, zu wissen, worum es *eigentlich* geht und dazu muss „gut Ding Weile haben! Und: „Wer Wissen `vermitteln` will, muss Leute dafür begeistern können“ (Beck, 2020, S. 209), wobei Begeisterung auf Verstehen, noch besser: auf dem „Verstanden haben“ beruht.

³⁴ Dieses Zitat ist dem Büchlein von Heinrich Waggener „Die Kunst des Müßiggangs“ (Zürich: Arche, 1959, S. 46) entnommen

A 3.1 Modell des „Vollständigen Wissens“

Neber (1993, 2006) entwickelte ein (eher normatives) Modell des „Vollständigen Wissens“. Danach ist Faktenwissen ein strukturell unvollständiges Wissen, das um weitere Aspekte bzw. Komponenten angereichert und so zu so genanntem "nutzbaren Wissen" vervollständigt werden muss. Dafür sind zwei Strukturkomponenten zu berücksichtigen. Konditionen verknüpfen Fakten mit Anwendungsvoraussetzungen, mit Bedingungen also, die für die meist innerfachliche Verwendung von Faktenwissen gegeben sein müssen. Die zweite nutzungsrelevante Komponente sind so genannte Funktionen, also Wissen von Nutzungszielen, die auch außerhalb der Domäne, transdisziplinär erreicht werden (Abb. A5)³⁵.

Wissensqualitäten (Neber 1993)

- **Fakten**
- *Wissen ohne Nutzung*
- Katalysatoren sind Stoffe, die die Aktivierungsenergie einer chemischen Reaktion herabsetzen.
- **Konditionen**
- *Wissen über die Bedingungen der Nutzung*
- Bei Anwesenheit von MnO_2 zersetzt sich H_2O_2 bereits rasch bei Zimmertemperatur.
- **Funktionen**
- *Wissen vom Ziel der Nutzung*
- Um das starke Oxidationsmittel H_2O_2 zu stabilisieren, muss es vor Verunreinigung mit Metalloxiden geschützt werden.

Wissensqualitäten (Neber 1993)

- **Fakten**
- *Wissen ohne Nutzung*
- Wasser ist ein Reinstoff mit hohem Sdp., Ethanol siedet bei 78°C ; Ethanol kann Eiweiß fällen
- **Konditionen**
- *Wissen über die Bedingungen der Nutzung*
- Ein Alkohol/Wasser-Gemisch kann durch Destillation getrennt werden.
- **Funktionen**
- *Wissen vom Ziel der Nutzung*
- Mit Hilfe von konzentriertem Ethanol können Hautpartien von Bakterien desinfiziert werden.

Abb. A5: Die Wissensqualitäten nach Neber (1993). Die Kombination aus den drei Bereichen wird als „vollständiges Wissen“ bezeichnet. Dabei gilt: „Wissen entsteht nur, wenn man vor ein Problem gestellt wird und erkennt, dass man mit seinem bisherigen Wissen nicht weiterkommt“ (Beck, 2020, S. 196)

³⁵ Vertiefend ließe sich eine vierte Stufe ergänzen. Ich möchte sie „Hedonie“ nennen. Gemeint ist die rückwirkende Freude über das erlangte komplexere Wissen, welches sich über die Funktionen eingestellt hat. Diese Rückwirkung macht die Veränderung der Person bewusst und stabilisiert die Motivation zum weiteren Wissen-wollen (Vgl. auch Csikszentmihalyi, 2014)

Bleiben Nutzungsziele unbekannt, so erkennen Lernende nicht, wozu das erworbene Faktenwissen eigentlich, d.h. auch außerfachlich (transdisziplinär) verwendet werden kann. Um Konditionen und Funktionen erweitertes oder angereichertes Faktenwissen wird als "Objektwissen" bezeichnet. Der Hauptvorteil eines strukturell vervollständigten Objektwissens ist, dass es eingesetzt werden kann, um kontextbezogenes Problemlösen zielorientiert zu steuern (Anton, 2009a&b; Weinert, 1997)³⁶. Das Modell eignet sich aber auch zur Aufwertung bereits erworbenen chemischen Faktenwissens und zu dessen Transformation in stärker elaborierte Wissensseinheiten (Objektwissen) (Neber & Anton, 2008a&b)³⁷. Nach dem Wissensmodell von Neber kann das Novizenwissen dem Faktenwissen zugeordnet werden und das Expertenwissen dem Objektwissen. Dieses nutzbare Wissen wird als Anwendungs- oder konditionalisiertes Wissen bezeichnet. Es beinhaltet Problemlösefertigkeiten und kann in Form faktenverknüpfender Einheiten (Cluster) bereitgestellt werden. Im Gegensatz zu diesem eher vertikal vernetzten, also innerhalb der Domäne einsetzbarem Wissen steht das inter- und transdisziplinär verwendbare horizontal vernetzbare funktionale Wissen. Mit ihm beschreibt man die Problemlösebeiträge einer Domäne für die Bearbeitung domänenunabhängiger Problemlagen³⁸.

Dabei beinhalten die Konditionen die Expertiseebene der Qualifikation (Schlüsselqualifikationen = „Fähigkeiten und Kenntnisse, veränderte Umweltzustände am Arbeitsplatz zu bewältigen“, Mertens, 1974). Die Funktionen entsprechen der Kompetenz (Kernkompetenzen = „Fähigkeiten und Fertigkeiten, die von einem Individuum in besonderer Weise beherrscht, in unverwechselbarer Weise angewendet werden und die ihm Besonderheit verleihen und seine Identität prägen“, Geißler & Orthey, 2002). Dies gilt auch für zwei darüberhinausgehende Differenzierungen, die Neber mit Ebene und Tiefe bezeichnet. Mit der Ebene wird der Generalisierungsgrad des jeweiligen Wissens bezeichnet, also beispielsweise die Verallgemeinerbarkeit einer Regel. Mit Tiefe kann das Wissen hinsichtlich des Abstraktionsgrades charakterisiert werden; bezieht es sich nur auf Konkretes, auf Beobachtbares oder umfasst es auch die Modell- und Teilchendimension, lässt es sich also auch auf die in der Chemie so wichtige submikroskopischen Verhältnisse anwenden.

³⁶ In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Fragen der TIMSS- und PISA-Tests stets auf Funktionsniveau gestellt wurden. Dem gegenüber besitzen die traditionellen Fragen in Schulaufgaben, teilweise auch im Abitur primär Konditionsniveau. Zu Beginn der ersten Tests war also vorherzusehen, dass z.B. Deutschland schlecht abschneiden musste. Mit der Einführung der Bildungsstandards mit den Kompetenzbereichen beginnt sich diese Ungleichheit zu nivellieren.

³⁷ Diese Sichtweise wurde bisher etwa zur Anreicherung von technischem Faktenwissen mit Erfolg eingesetzt (Neber, 2000). Auch historisches Wissen konnte so anwendungsorientiert gegliedert werden (Neber, 1999).

³⁸ Mit der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit „dem WISSEN“ ist noch nichts gesagt über die Unterschiedlichkeit in der Anwendung dieses Wissens. Es werden keine Wertvorstellungen, keine Ethik und keine Moral damit mitgegeben. Nach dem Schriftsteller und Arzt Peter Bamm (1897-1974) lässt sich diese wertende Gut- vs. Böse-Dimension allerdings mit dem Begriff des Ge-Wissens(!) ins Spiel bringen.

A 3.2 Modell des „Intelligenten Wissens“

Ein ebenfalls für die Praxis konzipiertes Wissens-Modell wird von Weinert (1998c; Abb. A6) proklamiert. Er unterscheidet drei kognitive Mechanismen um „Intelligentes Wissen“³⁹ aufbauen zu können.

Zunächst handelt es sich um einen vertikalen Lerntransfer. Durch ihn wird der Wissenserwerb im gleichen Inhaltsgebiet (Domäne, Fach) erleichtert, zum Teil erst ermöglicht. Die zweckmäßigsten Methoden sind Varianten der direkten Unterweisung („direct instruction“) in lehrergesteuerter, schülerorientierter Aktionsform.

Der horizontale Lerntransfer vermeidet das Auftreten von „trägem Wissen“, welches mit seiner eigenen Systematik verlötet und eingekapselt ist, indem die relevanten Informationen aktiv, kreativ und möglichst situiert, also sozial eingebettet aufgenommen (Hofmann, 2008) und anhand transdisziplinärer Aufgabenstellungen verarbeitet werden. Methodisch bieten sich hierzu die Varianten des offenen Unterrichtens („progressiv education“) an, etwa Lernteams, projektorientierter Unterricht und Projektunterricht. Als Aktionsform dienen lehrerschüler- und schülergeleiteter Unterricht. Die sozusagen schulunabhängige Anwendbarkeit dieses schulisch erworbenen Wissens beruht auf dem kognitiven Mechanismus des lateralen Lerntransfers. Mit ihm werden die eigentlichen Bildungsziele, Lerntechniken⁴⁰, Strategien der Informationsbeschaffung, Metakognition etc. gewinnbringend erreichbar und einsetzbar.

Für alle drei Mechanismen gilt, dass sie stets an differenzierbare Inhalte gebunden sind, was dem abzulehnenden Prinzip des „content-poor and goal-rich“ deutlich widersprechen soll; denn „Es ist unmöglich, Ziele ohne Inhalte zu unterrichten vice versa“ (Adick, 2002, S. 409). Bezüglich der epistemisch wirksamen, erkenntnisfördernden Inhalte spielt der Umfang des domänenspezifischen Faktenwissens (deklaratives Wissen) und das dazu gehörende prozedurale Wissen, also die Kenntnis über die zielorientierte Verknüpfung der für das Problemlösen sinnvollen Auswahl der Fakten eine sehr große Rolle.

Nach Weinert (1997) beruht die Qualität des „intelligenten Wissens“ auf:

- hierarchischer Organisation
- segmentaler Vernetztheit,
- multimodaler kognitiver Repräsentation
- leichter Zugänglichkeit,
- flexibler Nutzbarkeit
- zweckmäßigem Verhältnis zwischen Automatisiertheit und reflexiver Kontrolle
- günstiger Mischung von deklarativen Kenntnissen („Gewusst, was!“) und prozeduralen Fertigkeiten („Gewusst, wie!“)

³⁹ „Darunter versteht man ein wohlorganisiertes, disziplinär, interdisziplinär und lebenspraktisch vernetztes System von flexibel nutzbaren Fähigkeiten, automatisierten Fertigkeiten, Kenntnissen und metakognitiven Kompetenzen“ (Weinert, 1999c, S. 27-28)

⁴⁰ Hier rät der Lernforscher Beck (2020): „Mit Notizen und Zusammenfassungen arbeitet man etwas langsamer, dafür bleiben die Informationen dauerhafter im Gedächtnis. Vorausgesetzt, man schreibt auch wirklich mit der eigenen Hand [„Wir nehmen Informationen an einem Bildschirm anders wahr als in gedruckter Form“, S. 220] und versucht nicht, alles wortwörtlich zu wiederholen“ (S. 57)

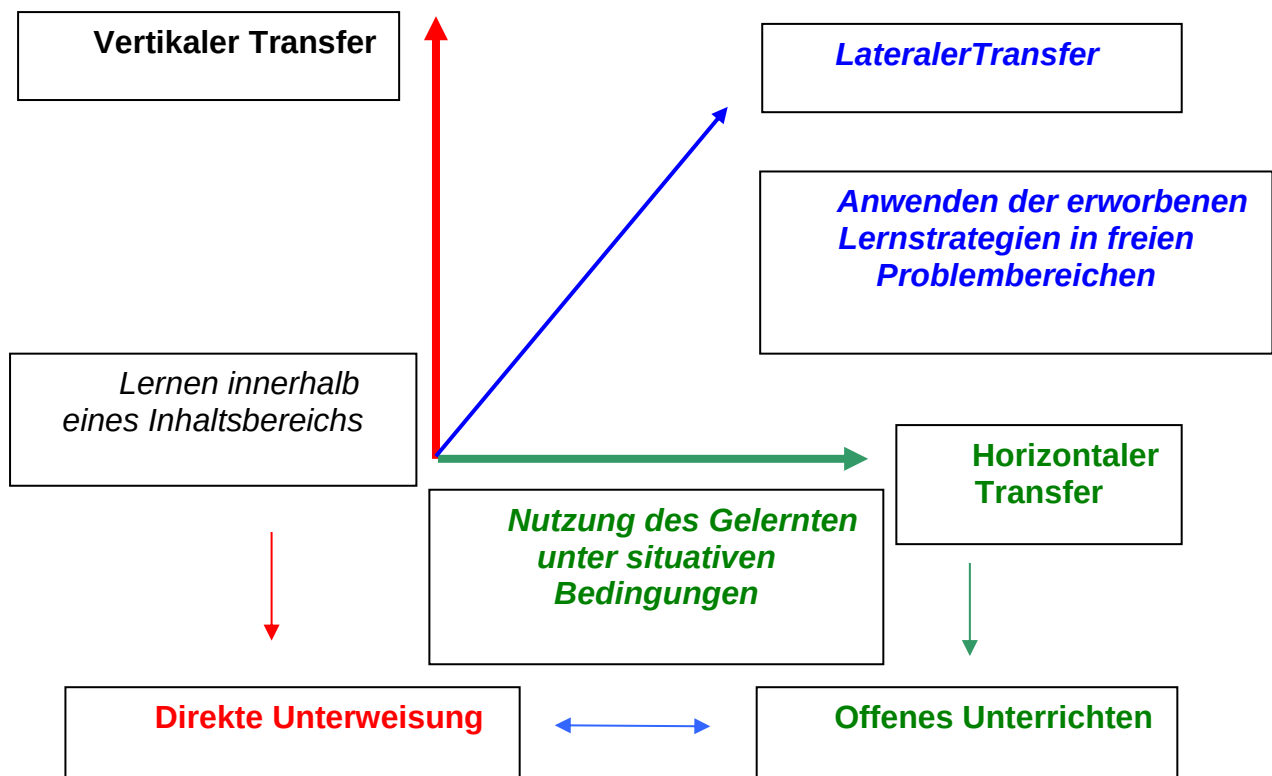


Abb. A6: Die kognitiven Mechanismen nach Weinert (1998b) mit einem Beispiel für die Modellanwendung in der Chemie. Die Kombination aus den drei Bereichen wird als „intelligentes Wissen“ bezeichnet.

Erwerb einer inhaltlich relevanten Vorwissensbasis:

Def. von Säuren u. Basen nach Brönsted.

Vertikaler Lerntransfer:

Der H aus der Rkn. von Sre & Me stammt aus den H_3O^+ -Ionen.

Horizontaler Lerntransfer:

Säuren lassen sich auch für die Auflösung von Salzen (Kalk) benutzen.

Lateraler Lerntransfer:

Die Übersäuerung von Böden („saurer Regen“) kann durch „Kalken“ behoben werden.

Bisherige Untersuchungen zeigen, dass eine Übertragung fachspezifischer Expertisen (mit Ausnahme grundsätzlicher Generalisierungen, z.B. Sicherheitsanweisungen) auf andere Fächer keinem Automatismus folgt (Weinert & Helmke, 1993). Domänenspezifisches Wissen muss domänenspezifisch erworben werden. Ein Grundsatz, der durchaus auf Schulfächer übertragbar ist und letztlich ihre Existenz rechtfertigt. Konkret heißt das, dass Chemieinhalte nicht im Fach Physik gelernt werden können!

Beide oben beschriebene Wissensmodelle ergänzen sich, indem sie einmal den Fokus legen auf die Wissensqualitäten und zum anderen auf Dynamiken der Wissensgenese. Indirekt lassen sie auch erkennen, was grundsätzlich in welcher Domäne gewusst werden kann und leiten zudem über zur Frage nach den Grenzen der Wissenschaften per se, etwa nach der 'Natur der Naturwissenschaften' („Nature of Science“; NOS) (Reiners, 2001; Priemer, 2006). Da jegliches Wissen nicht zu jeder Zeit und in jeder beliebigen Qualität erworben und genutzt werden kann, stellt sich die fachdidaktisch höchst relevante Frage: Was kann und was soll in welcher Qualität und zu

welchem Zeitpunkt gelernt und gewusst werden? als eine lehrlernwissenschaftliche Kernaufgabe.

Vor dem Hintergrund des *Modells des „vollständigen Wissens“* von Neber (1993) und in Anlehnung an das *„Aktivierungs-Modell von Unterricht“* lassen sich die Bezüge zwischen der zeitlich mittigen instruktionellen Phase des Unterrichts und den beiden Phasen der Vorwissensaktivierung bzw. Präkonzeptfeststellung ($tnutz_{vw}$) und der Sicherstellung von Verstehen und Anwendbarkeit des neu entstandenen Wissens ($tnutz_{nw}$) in grob vereinfachender Weise formelhaft darstellen. Sind die Phasen $tnutz_{vw}$ und $tnutz_{nw}$ gegenüber der Instruktionsphase $tnutz_i$ besonders aufwändig ausgeprägt, sodass die neuen Informationen deutlich an die Präkonzepte andocken können und der Anwendungsbereich an geeigneten und alltagsbezogenen Kontexten herausgestellt wird, so kann von einem stark funktionsorientierten Unterricht gesprochen werden:

$$Bkog = (tnutz_{vw} + tnutz_{nw}) / tnutz_i \quad \text{mit } Bkog > 1: \text{ funktionsorientiert}$$

Dominiert jedoch die Instruktionsphase $tnutz_i$ mit Herausarbeiten fachspezifischer Fakten und Methodiken das außerfachliche Problemlösepotenzial der neu erworbenen Erkenntnisse, kann eher ein faktenorientierter Unterricht diagnostiziert werden:

$$Bkog = (tnutz_{vw} + tnutz_{nw}) / tnutz_i \quad \text{mit } Bkog < 1: \text{ faktenorientiert}$$

Im Falle eines deutlich experimentell ausgerichteten Chemieunterrichts ließe sich die Polarität analog als erlebnis- bzw. erfahrungsorientiert bezeichnen, wenn $Bkog > 1$ ist. Dagegen würde die Beziehung $Bkog < 1$ bedeuten, dass die innerfachliche Auseinandersetzung auf hohem Abstraktionsniveau Vorrang gewinnt.

Wichtig ist, dass weder die eine noch die andere GG-Verlagerung gut oder schlecht ist. Sie muss nur stets anforderungsgerecht sein. Zur Sicherstellung des Verstehens (=Herstellen von Beziehungen) sollte stets eine Angleichung der kognitiven Belastung der SuS an deren entwicklungsspezifische Belastbarkeit erfolgen. Dabei müssen auch inklusive, also differenzierende Unterrichtsbedingungen zum Tragen kommen. Die folgende Abb. A7 soll diese Beziehungen verdeutlichen.

Funktions- vs. Faktenorientierung

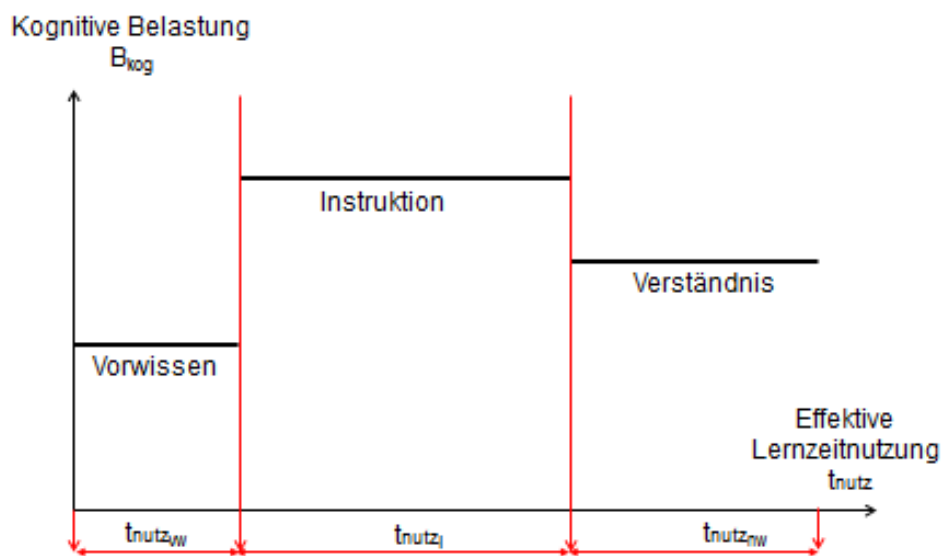


Abb. A7: Übersicht zu den Beziehungen zwischen unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen bei der Konzeption von Unterricht. Mit den obenstehenden Formeln kann diese Beziehung gut umschrieben werden.

A 3.3 Metakognition

Es ist unabdingbar, in den Lehr-Lern-Prozess reflexive Phasen einzubauen, welche es dem Schüler ermöglichen, den eigenen Erfolg oder Misserfolg bewusst und konstruktiv zu hinterfragen. Den Aspekt der Wissensqualität ergänzt Neber durch die metakognitive Kontrolle des Wissenserwerbs (Abb. A8; vgl. auch Weinert, 1994a, 1999a; Brückner, 2007), was gerade heute eine Aktualisierung bedeutet. Hiermit verstärkt sich die Schulrelevanz des Modells, da sich zusätzlich zum Wissen und Können per se auch die Entwicklung von Lernstrategien im Fach modellieren lässt: „Schüler sollten anhand ihrer eigenen Arbeiten selbst lernen, über ihre Entwicklung nachzudenken“ (Iwan, 2009), was die Hinzunahme metakognitiver Kompetenzen eindrucksvoll unterstützt.

Epistemische Prozesse

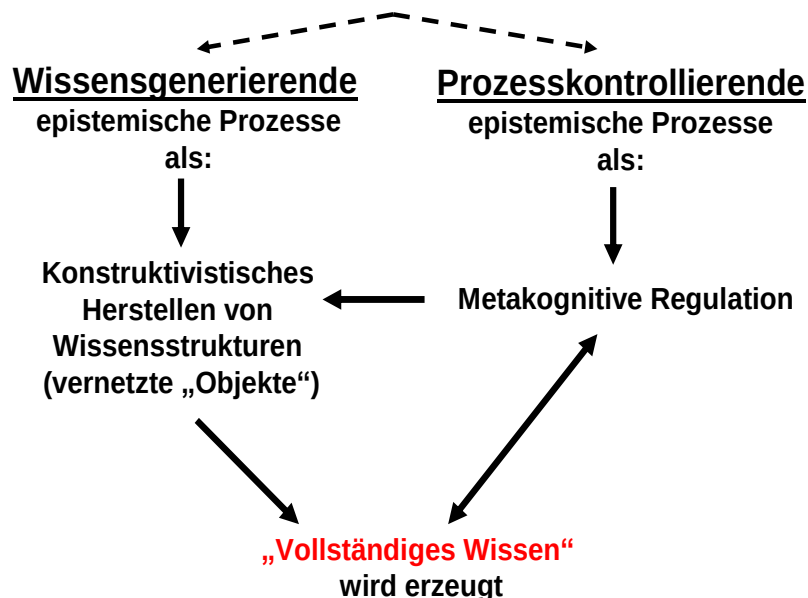


Abb. A8: Funktionale Zweiteilung epistemologischer Prozesse der Wissensgenese und der Reflexion darüber (nach Neber, 1993)

Mit den Wissensmodellen gelingt es besser, die Qualitätsstufen in der Kompetenzentwicklung der SchülerInnen ebenso deutlich zu machen, wie die Strukturierung in der Stundenführung und in der Stoffentwicklung über Unterrichtseinheiten hinweg, ohne dass der komplexe Zusammenhang übersehen wird.

Aus heutiger Sicht und unter Verwendung des Lehrlernmodells des „moderaten Konstruktivismus“ ist es absolut zielführend, wenn die Wissensgenese von reflektierender Bewusstmachung begleitet wird. Das bedeutet, dass die Lehrperson dem Schüler ausdrücklich (explizit!!!) den Lernerfolg zurückspiegelt bzw. die missglückte Merk-, Lern- und Verstehensleistung feststellt und Begründungen bzw. verbessernde Möglichkeiten anführt. Gerade das dient dazu,

- a) um für das erfolgreiche Lernen die Entwicklung von Routinen zu ermöglichen,
- b) um ungünstige Strategien frühzeitig zu korrigieren,

c) um die eigene Lernleistung als Prozess des Verstehens, also des Herstellens von Beziehungen zwischen vorhandenem Wissen und neuer Information bewusst zu machen und so das „Kennen“ zum „Erkennen“, zur Erkenntnis zu verfeinern⁴¹

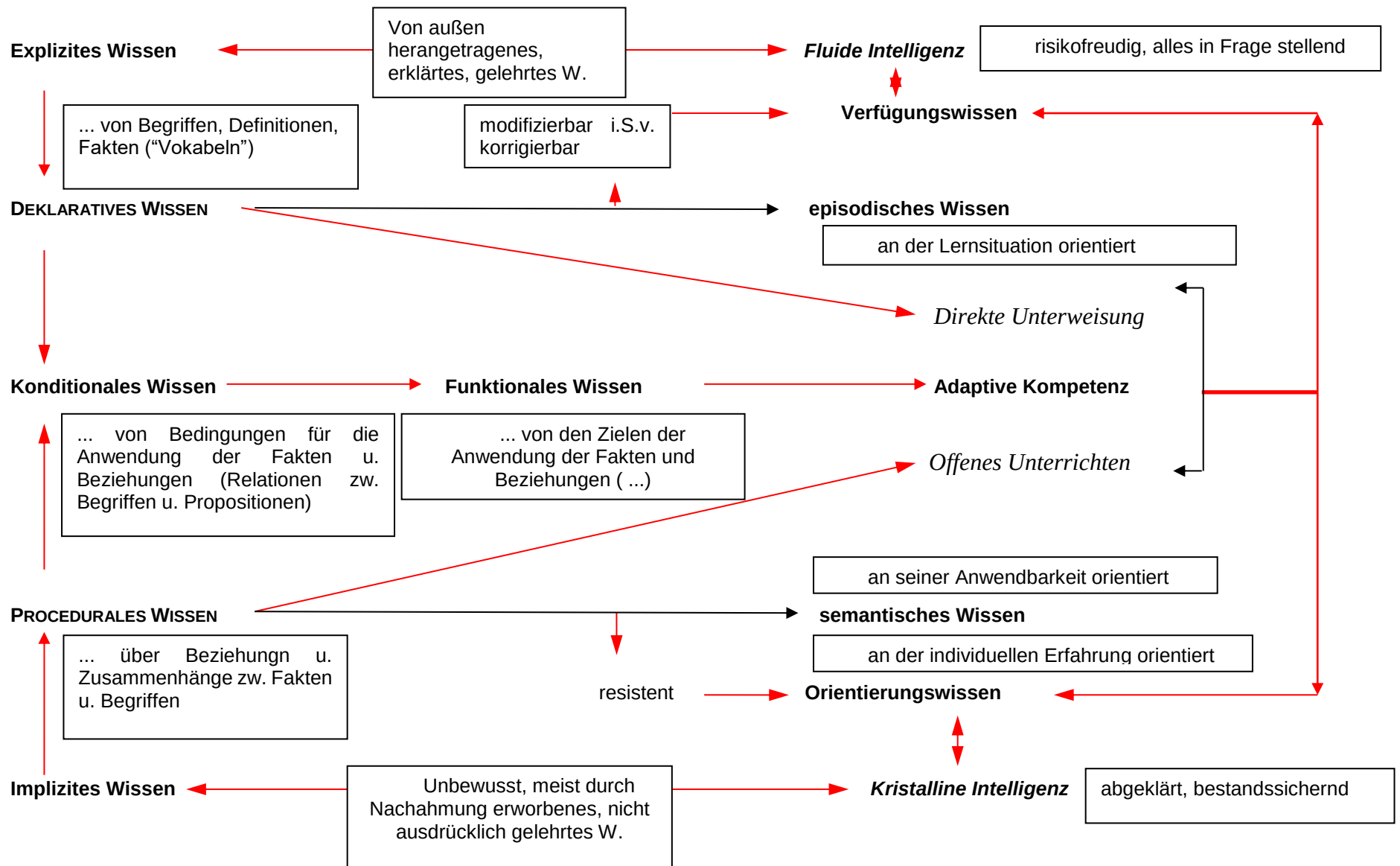
Erst so wird es möglich, dieses neu gewonnene Wissen als Verfügungswissen zur weiteren Problembearbeitung nutzbar machen zu können. Die Erfahrung zeigt, dass SchülerInnen diese metakognitive Verarbeitung von Erfahrungen nicht alleine ausführen können. Hierzu fehlen die Kriterien für das Unterscheidenkönnen von wichtig und unwichtig, hilfreich oder kontraproduktiv. Somit erweist sich das differenzierte Feedback der diagnosekompetenten Lehrperson als hilfreiches Coaching. Es ist noch nicht hinreichend, aber notwendig.

Dieses Coaching ist dadurch gekennzeichnet, dass mit ihm a) Wissensqualitäten unterschieden werden, dass b) im Lehrlernprozess deutlich gemacht wird, dass implizites oder stillschweigendes Wissen, also assimiliertes und in seiner Herkunft nicht definierbares Wissen individuell stets vorhanden ist und dass c) in der bewusst gesteuerten Unterrichtung Lerninhalte nicht nur benannt, sondern ihre konkrete Aufbereitung durch die Lehrperson dem Lernenden immer auch explizit erklärt und begründet vor Augen gebracht werden muss. Dadurch kann die Entwicklung von Lernstrategien gefördert werden⁴².

⁴¹ So heißt es bei Copei (1962): „... daß das Wissen welches aus dem ... echten Erkenntnisprozess hervorgeht, sich von allem `Nur-Gedächtniswissen´ scharf unterscheidet. Wie es leidenschaftlich vom Ganzen der geistigen Kräfte gesucht war, so verwächst es als ein Stück lebendiger Erkenntnis im geistigen Organismus, ist hinfort etwas zum geistigen Sein Gehöriges, bestimmt, klar, lebendig, verfügbare, wo es um ein neues Problem und nicht nur um gedächtnismäßiges Zitieren geht, in dem Moment aber auch von neuem anregend, `fruchtbar´“ (S. 70).

In seiner Vorlesung „Physische Geographie“ beschreibt I. Kant „Erkenntnis als ein System, bei dem sich einzelne Fakten in einen größeren Zusammenhang einfügen müssen, um einen Sinn zu ergeben“ (Wulf, 2018, S. 59).

⁴² Der Wissenschaftsphilosoph Michael Polanyi bezeichnet den Zwischenbereich zwischen implizitem und explizitem Wissen als „personales Wissen“ (zit. aus Daston, 2023, S.97)



A 4 Lernen

Lernen ist `der inhaltsspezifische Erwerb und die sinnhafte mentale Repräsentation der Fakten, Konzepte, Relationen und Regeln bestimmter Realitätsausschnitte. Das Wissen als Ergebnis inhaltsbezogener Lernprozesse mit stets begrenzter Verallgemeinerung und Abstraktion der erworbenen Kenntnisse ist zugleich die wichtigste Bedingung für zukünftiges Lernen innerhalb der gleichen Inhaltsdomäne´ (vgl. Weinert).

Lernen ist das bewusste wie auch unbewusste Herstellen von Beziehungen zwischen vorhandenem Vorwissen und neuen Informationen mit dem Ziel einer Verhaltensänderung⁴³. Lernen ist stets an konkrete Inhalte gebunden und stellt immer eine intelligenzabhängige Denkleistung dar (Büchel, 2000). Können aus dem additiv gelernten Fakten größere Sinneinheiten gebildet werden, so genannte „Chunks“, so findet Verstehen statt. „Lernen, um des Lernens willen“, funktioniert nicht (Pöppel & Wagner, 2012, S. 27). Das Lernen ist immer zielorientiert und unweigerlich an Inhalte gebunden. Und Lernen ist abhängig von lernförderlichen externen und internen, persönlichkeitsbezogenen Bedingungen (Rheinberg, 1996; Krapp, 1998; Rheinberg & Fries, 1998)⁴⁴. Sind diese nicht gegeben, ist der Lernprozess eingeschränkt. *Was die `inneren Bedingungen´ angeht, so gilt: „Die Neurowissenschaft ist eine wichtige Bezugswissenschaft der Pädagogik“ (Siebert, 2003, S. 9) und noch mehr der „Lehrerlernwissenschaft“. Beide `können sich gegenseitig anregen´.*

Das wird allerdings von sehr vielen Allgemeindidaktikern und Schulpädagogen, `leider´ möchte man sagen, nicht bestätigt. So steht bei Terhart (2009) der folgende befremdliche Satz: „Hinsichtlich der praktischen Empfehlungen, etwa für ein effektives, nachhaltiges, kind- und jugendgerechtes Lernen in der Schule, hat bislang die Gehirnforschung der didaktischen Praxis nicht wirklich Neues anzubieten“ (S. 94). Das dennoch beobachtbare Interesse von LehrerInnen an diesem Forschungsgebiet wird lapidar, fast belustigt zurückgeführt auf „Enttäuschungsverarbeitung“, „Illusionismus des ganz Leichten“ sowie „Entlastungsgewinn“. Vielleicht steckt hier die bekannte, weit verbreitete Angst und Skepsis des Allgemeindidaktikers dahinter, die so entscheidenden Fachinhalte der Fachdidaktiken in den eigenen Untersuchungen aussparen zu müssen!

In einer Untersuchung zur „Mathematikangst“ wird darauf abgehoben, ob „das Verhalten von Lehrkräften im Unterricht Mathematikangst und deren negative Folgen verringern kann“ (Aldrup, 2021). Dabei wird an keiner Stelle der Veröffentlichung des IPN davon gesprochen, dass die „Sorgen vor der Mathematikarbeit, dass alles vergessen ist, was geübt wurde“ (S. 41) unter Umständen eher daher rühren könnte, dass Inhalte nicht verstanden, also nicht adäquat unterrichtet worden sein könnten. Das reine, gesellschaftlich-emotionale empathische Verhalten der Lehrkraft gegenüber ihren Schüler*innen, inwiefern sie also „als sensitiv für ihre Gefühle und Verständnisschwierigkeiten“ (S. 41) von diesen wahrgenommen werden, wird absolut isoliert von den entscheidenden spezifischen fachdidaktischen Aufgaben der Lehrkräfte, deren zusätzlicher und wesentlicher Einfluss hier verhängnisvoll unbeachtet bleibt.

⁴³ Bei Mohn (1996?) findet sich eine gewissenhafte Auseinandersetzung mit den theoretischen Begründbarkeiten des Lernprozesses, etwa auf der Ebene von Assoziations- und Gestalttheorie

⁴⁴ „So weisen zum Beispiel verschiedene Forscher bereits darauf hin, dass Vorfreude, Neugier und das Erkunden von Neuem das Lern- und Gedächtnissystem positiv beeinflussen können – und es dadurch vermutlich im Alter fit halten“ (Steiger, 2018, S. 21).

A 4.1 Schulunterrichtliche Rahmenbedingungen des Lernens

Der messbare Intelligenzquotient IQ⁴⁵ kann in der Pubertäts- und Adoleszenzphase im Rahmen von Genexpressivität und Umwelteinfluss um bis zu 20 Punkte variieren (Price, 2011⁴⁶; zur gesellschaftlichen Bedeutung: James Heckman, Ökonom, Nobelpreisträger 2000 in einem Interview in der SZ vom 29.3.2008⁴⁷) und erreicht Mitte 20 den persönlichen Maximalwert. Das bedeutet zugleich, dass von einer sehr engen dynamischen Beziehung zwischen dem IQ und der „Qualität der Informationsverarbeitung“ (QI) ausgegangen werden muss (vgl. auch Rüppell et al., 1982). Nach Rost⁴⁸ gehen 80% des individuellen Intelligenzzuwachses auf den Einfluss des Schulunterrichts zurück, was dessen Bedeutung erneut unterstreicht, insbesondere wenn im Zuge der Lernzeitnutzung Aufmerksamkeit („gelöste Geistesbereitschaft“, Wagenschein, 1959), Ruhe und Ordnung sichergestellt werden können. „So kann ein geringer IQ, der häufig als angeboren gilt, durch Förderung erheblich verbessert werden

⁴⁵ Zu den Definitionen aller begabungsrelevanten Begriffe sei verwiesen auf: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF) (Hrsg.) (2010). FAQs zur Begabungs- und Begabtenförderung. Salzburg

⁴⁶ <http://www.sueddeutsche.de/wissen/entwicklung-von-jugendlichen-iq-kann-sich-in-der-pubertaet-noch-aendern-1.1169035>

Sue Ramsden, Fiona M. Richardson, Goulven Josse, Michael S. C. Thomas, Caroline Ellis, Clare Shakeshaft, Mohamed L. Seghier, Cathy J. Price (2011). Verbal and non-verbal intelligence changes in the teenage brain. Nature, Published online 19. Oktober 2011

⁴⁷ „Wir Ökonomen haben ‚Kindheit‘ viel zu lange als einen einzigen Lebensabschnitt betrachtet. Inzwischen denke ich, dass das ein Fehler war. Denn sonst gäbe es nicht so gravierende Unterschiede: Wenn man benachteiligte Kinder sehr früh fördert, sind die ökonomischen Effekte enorm; wenn man sie erst im Jugendalter unterstützt, sind die Effekte minimal. Manchmal erzielen solche Programme sogar negative Renditen!“ (J. Heckman, 2009; vgl. hierzu auch Frittschi & Jann, 2009; Jäger, 2013). Heckman bezieht sich hier u.a. auf folgende Untersuchung in den USA:

Die "Perry Preschool" ist ein Kindergarten in Ypsilanti, USA, in dem 1967 an 120 Kindern eine umfangreiche Testung (Längsschnittuntersuchung über 40 Jahre) des Einflusses von nicht- und vorschulischen Hilfen zur Förderung und zum Ausgleich sozialer Unterschiede durchgeführt wurde. Diese Kinder kamen aus unterprivilegierten Familien: Ihre Mütter waren wenig gebildet und hatten oft die Schule abgebrochen. Sie konnten den Kindern nicht viel mitgeben. In solchen Familien wird weniger geredet, weniger erzählt, weniger vorgelesen. Die Kinder gehen nicht in den Zoo oder das Museum, sondern sitzen vor dem Fernseher. Alle Kinder hatten am Anfang, im Alter von vier Jahren, einen IQ von etwa 80. Bei den Vorschulkindern stieg der IQ in den ersten Jahren stärker. Doch ungefähr beim zehnten Geburtstag war der Vorsprung zur Vergleichsgruppe (60 Kinder ohne Vorschule) wieder verschwunden. Dafür war etwas anderes dauerhaft viel höher: Die Kinder aus der Vorschulgruppe waren motivierter und hatten mehr Selbstdisziplin. Das - und nicht der IQ - erklärt ihre späteren Erfolge (*Es gibt „viele Belege dafür, dass Durchhaltevermögen und Selbstvertrauen die Leistungsunterschiede zwischen verschiedenen Personen weit besser erklären als Intelligenz“* (Nazlic & Frey, 2009). Ursache war: Es gab eine Art Lehrplan, nach dem sich die Erzieherinnen richteten. Sie waren alle akademisch qualifiziert, erhielten Supervision und hatten relativ wenige Kinder zu betreuen. Eine Erzieherin musste sich um acht Kinder kümmern. Einmal pro Woche kam die Erzieherin in jede Familie nach Hause. Sie hatte neunzig Minuten, um mit jeder Mutter über die Entwicklung ihres Kindes zu reden. Da konnten sie viel vermitteln. Und wenn eine Mutter dann kapiert, wie wichtig das Vorlesen ist, wenn sie ihr Kind danach vielleicht besser motivieren kann, profitiert das Kind davon.

Hier bewahrheitet sich auch ein Ergebnis aktueller neurobiologischer Untersuchungen, wonach „Die Lehrperson und der Mitschüler ... dem S. als Modell für die **Spiegelung und Übernahme von Handlungsstrategien** im Rahmen einer *zwischenmenschlichen Beziehung*“ (dient) (Bauer, 2006) sowie, dass **Unterricht ... von SuS dann als 'gut'** empfunden (wird), „wenn die Arbeitshaltung der umgebenden Klasse, also der unmittelbar mitarbeitenden Mitschüler, als aufmerksam empfunden wird“ (Anton, 1998).

„Kein Geld ist sinnvoller angelegt als das, was in die Verbesserung der frühkindlichen psychosozialen – und damit auch ökonomischen- Verhältnisse investiert wird“ (Roth, 2013; S. 70)

⁴⁸ Zitat aus GEOkompakt Themenheft „Intelligenz, Begabung, Kreativität“ (2011): Rigos, A. (2011). Die Geburt der Gedanken. 28 (2011) 46-56, S. 55

(Nisbett, 2009)“. ... „Als man die Intelligenz von Kindern, die den Vorteil hatten, bei Schulbeginn [Stichtag ist häufig der 15. September] ein Jahr älter zu sein, mit der Intelligenz von Kindern verglich, die den Vorteil eines zusätzlichen Schuljahres hatten, stellte sich heraus, dass ein Schuljahr im Hinblick auf den Intelligenzquotienten doppelt soviel brachte wie ein Lebensjahr“ (Gigerenzer, 2013, S.341).

Wenn die so genannten „primären kognitiven Fähigkeiten“ (Geary, 1995) wie Erwerb der Muttersprache, elementares numerisches Verständnis, konkrete intellektuelle Operationen und ökologisch bedeutsames Weltwissen auch unter schulfernen Erziehungs- und Bildungsbedingungen erworben werden können, so ändern sich die Verhältnisse nach dem 5. bis 7. Lebensjahr grundsätzlich.

Der Erwerb „sekundärer kognitiver Fähigkeiten“ wie Lesen, Schreiben, höhere Formen des mathematischen Verständnisses sowie wissenschaftliche Kenntnisse ist dann stets „an die Verfügbarkeit von Schulen oder schulähnlichen Einrichtungen gebunden“ (Weinert, 2001, S.12), in denen jede/r ca. 3% (etwa 17000 h) ihrer/seiner Lebenszeit verbringt! Das didaktisch-mathetische Unterfangen des individuellen Förderns innerhalb heterogener Schülergruppen lässt sich nicht ausschließlich auf Wissenszuwachs reduzieren. Es entspricht auch einer wirksamen Intelligenzförderung, in der primär auf das Working Memory zugegriffen wird. Und das bedeutet, dass LehrerInnen sehr gut über die Funktionsweise und die Entwicklungsphasen des Gehirns im Kindes- und Jugendalter Bescheid wissen müssen: `Das Gehirn des Schülers ist der Arbeitsplatz des Lehrers!´ Da die Leistung des `Working Memory´ unmittelbar gekoppelt ist an die Fähigkeit, aufmerksam zu sein, macht es Sinn, den Möglichkeiten eines allgemeinen Aufmerksamkeitstrainings (Handlungsorientierung, Interaktion, Suchverhalten (beim Schüler: ... der Augen), Angebote für Neugier-Verhalten (Neues, Brauchbares) sowie der Vielfalt und Kohärenz der Botschaften aus den Sinnesorganen) im Rahmen von vier unterrichtsrelevanten Parametern nachzugehen:

- a) Exemplarische Bedeutung des Inhalts für den Lernenden (Anton, 2008b)
- b) Bewusstes Erfolgserleben⁴⁹ beim kognitiven und instrumentellen Verstehen, Problemlösen und Präsentieren (Zimmermann, 2012).
- c) Makro- und mikromethodisch geplante Arbeitsabläufe (Weinert, 1997; Klippert, 1994: Tab. 1)
- d) Makro- und mikrostrukturierte Darstellungs- und Entwicklungsformen (Tab. A2).

⁴⁹ Nach der **Selbstbestimmungstheorie** von E. Deci und R. Ryan, geht es Menschen erst dann wirklich gut, „wenn sie das Gefühl haben, aus eigenem Antrieb zu handeln, ihren Aufgaben gewachsen zu sein und einer Gemeinschaft anzugehören“ (Zimmermann, 2012).

Strukturierungsfelder	Strukturierungsmaßnahmen	Kompetenzbereiche der NBS
Voraussetzungen unterscheiden	Vorwissen & Bedeutung; Unterscheiden von Sichtweisen und Motiviertheiten bei Schüler*innen und bei der Lehrkraft (Schrüttesser et al., 2022, S. 55) Staunen & Fragen 3 Unterrichtsfelder unterscheiden	Fachwissen
Methodische Prinzipien erkennen (Co-Konstruktion; Reusser, 2001 Lernstufen kleinschrittig verbinden „Mikrosequenzierung“; Klauer & Leutner, 2007)	Abstraktions-, Definitions-, Generalisierungsebenen Prüfungswissen und Lernangebot „Advance organizer“ (Holländer & Melle, 2012) als vorstrukturierte Lernhilfen („preview“)	Erkenntnisgewinnung
Inhaltliche Prinzipien erkennen (Chunking; Miller, 1956)	Analogisieren („Nachbarschaftsgruppierungen“ ⁵⁰), Systematisieren, Schematisieren, Kategorisieren	Kommunikation
Anwendungen finden	„inquiry cycle“ als Forschungs- und Lernzyklus; positive Kontexte, Inter- und transdisziplinäres Problemlösen	Bewertung

Tab. A2: Je vier Strukturierungsfelder und –maßnahmen werden unterschieden und den Kompetenzbereichen der nationalen Bildungsstandards grob zugeordnet (vgl. auch Abb. D2).

Begabungsfördernder Unterricht (Köller et al., 2000), ebenso wie remedialer („heilender“) Unterricht optimiert diese vier Bedingungen (a bis d) und zwar mit Blick auf jeden einzelnen Schüler und jede einzelne Schülerin (Neber, 1996). Hinter den Bedeutungszuweisungen durch Differenzierung der Präkonzeptinhalte, dem Bewusstmachen der Genussphasen (vgl. „Lorbeereffekt“, Schröder, 1985), den fachrelevanten methodischen Primärerfahrungen, hinter der Unterscheidung von Denkebenen, hinter den kleinschrittigen Wegen von Phänomenen zu deren submikroskopischen Deutungen sowie hinter der Darstellung von analogen Abläufen oder Stoffeigenschaften steckt letztlich die vermittlungswissenschaftliche Absicht, die jeweils vorhandenen fachlichen Chunks sukzessive zu vergrößern. Das bedeutet auch, dass dann mit einer „hohen Informationsrate“ (Wambach, 2013) umgegangen werden kann. Die Chunks oder Sinneinheiten sind dann von der jeweiligen Lernsituation zu emanzipieren. Damit erhöht sich deutlich die Möglichkeit ihrer freien Kombinierbarkeit, etwa bei kreativen Problemlösungen.

⁵⁰ Nachweislich wird durch die Anfertigung von mind-maps und concept-maps mit den dabei auftretenden Relationen erreicht, dass Gruppierungen als Vernetzungseinheiten wahrgenommen und so schneller identifiziert sowie besser gemerkt werden (Wengenmayr, 2005). Dieser „Nachbarschaftsgruppierungs-Effekt“ erleichtert in unserem Kontext die Chunk-Vergrößerung.

A 4.2 Neurophysiologische Grundlagen des Lernens

Hoher Intelligenz liegen „zum einen ein großes, sehr dicht verknüpftes `assoziatives´ Netzwerk [zugrunde], das primäre sensorische Informationen hervorragend zu verarbeiten und zu verbinden vermag und ausgedehnte Gedächtnisinhalte speichern kann. Zum anderen existieren Verknüpfungsstellen mit hoher Plastizität⁵¹ (= permanenter Auf- und Abbau von synaptischen Verbindungen zwischen ca. 85 Mrd. Gehirnnervenzellen (hinzu kommen ebenso viele Gliazellen), von denen jede mit ca. 1000 anderen NZ in Kontakt ist, was zu 100 Milliarden Verknüpfungen führt, die erlauben, schnell neue funktionale Netzwerke zu bilden“ (Dicke & Roth, 2008, S. 65; Zimmer, 2011) (Vgl. auch Abb. A10 bis A15), die wiederum aus ca. 100 Billionen Nervenknotenpunkten bestehen. Alle Nervenfasern zusammen haben dann eine Länge von etwa 160 000 km!⁵² „Der Unterschied zwischen Genie und `Normalo´ liegt in der neuronalen Verknüpfung, nicht in der Größe einzelner Hirnareale“ (Sophia Müller, zit. aus Ayan, 2013).

Nach der „HEPPschen Lernregel“, die von Donald Hebb (1904-1985) im Jahr 1949 formuliert wurde, wird vermutet, „dass Erinnerungen durch Zusammenschlüsse von Neuronengruppen kodiert werden. Wenn zwei miteinander verknüpfte Neurone gleichzeitig aktiv sind (Oszillationen, Synchronizität), festigt das ihre synaptische Verbindung. Oder wie Hebb es formulierte: Neurone, die zusammen feuern, vernetzen sich zu „Assembles“ (englisch: „Cells that fire together, wire together“) (Skaggs, 2015, S. 61-62). Dieser Vorgang des Erinnerns und der des Abspeicherns von neuen Gedächtnisinhalten erfolgt im Hippocampus, wo nach neuen Untersuchungen eine kontinuierliche Neurogenese stattfindet, ganz im Einklang mit neu abzuspeichernden Gedächtnisinhalten, die ins Großhirn weitergeleitet werden. Allerdings bleibt nach wie vor unverstanden, wie Informationen in den Wechselwirkungen zwischen Neuronen kodiert werden. Das Erinnern erfolgt analog über die Aktivierung der jeweils zusammengehörenden, also gemeinsam funkenden Neurone. Man spricht hier von einem „Aktivitäts- oder Erregungsmuster“ (Beck, 2020, S. 27). Das Zusammenspiel von Hippocampus und Großhirn ist besonders in den Schlafphasen (Traumschlaf) sehr intensiv.

⁵¹ „Entwicklung bedeutet ... selbst in der Kindheit nicht nur Wachstum (`Gewinn´), sondern stets auch Abbau von Kapazität (`Verlust´). Dabei wird eine große individuelle Plastizität unterstellt, der eine starke Beeinflussbarkeit der kognitiven Entwicklung durch altersabhängige psychophysische Bereitschaften, durch historisch-kulturelle Verhältnisse, sowie durch nichtnormative Ereignisse korrespondiert“ (Baltes, 1990, S. 4; zit. nach Weinert, 1994, 259-284)

⁵² Mittlerweile nehmen weltweit 130 Universitäten am Wettbewerb „Human Brain Project“ (HBP) teil. Ausgeschrieben von der Europäischen Union, lockt ein Preisgeld von 1 Mrd. € (für die Forschungsunterstützung ab 2013 für 10 Jahre) um ein vollständiges menschliches Gehirn mit Hilfe eines Supercomputers zu simulieren. Dieses virtuelle Gehirn soll sämtliche Informationen beinhalten, die die Neurowissenschaften zeitgleich zur Verfügung haben. Mit Hilfe dieser „Synthesebiologie“ sollen nicht nur die gesunden Gehirnfunktionen nachgestellt werden, sondern auch die Krankheitsbilder wie Demenz analysiert werden können (www.humanbrainproject.eu und ScientificAmerican.com/jun2012/brain-project). Vgl. hierzu: Markram, H. (2012). Auf dem Weg zum künstlichen Gehirn. Spektrum der Wissenschaft (2012) 9, 82-90 und Yuste, R.; Church, G. (2015). Ein neues Kapitel der Hirnforschung. Spektrum der Wissenschaft (2015) 3, 22-29. Auf die Suche nach den exakten Abbildungen von Synapsen im Gehirn begibt sich die „Konnektom-Forschung“ (connecotomics, Vernetztheit des Gehirns) (Korte, 2017, S. 268). Hier sei verwiesen auf das im September 2010 bewilligte Human Connectome Project, in dessen Rahmen die National Institutes of Health die Erforschung des menschlichen Konnektoms mit insgesamt knapp 40 Millionen US-Dollar fördern. Vgl. auch Markram, (2012).

Die vorgeschaltete Lernleistung, vor allem die Arbeit des `working memory` erfolgt im Präcortex (Abb. A9)

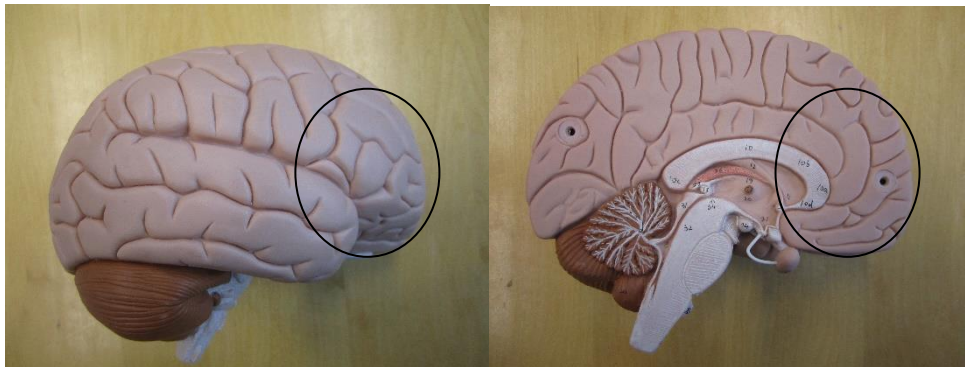


Abb. A9: Modell des menschlichen Gehirns: Jeweils rechts: Präfrontaler Cortex. Das Gehirn wiegt durchschnittlich 1400 g, was ca. 2% der Körpermasse entspricht. Dabei verbraucht es 60% der Gesamtenergie des Körpers unter Verwertung von 20% des Sauerstoffinputs.

Das Gehirn ist ein Produkt der Evolution⁵³. In allen Organismen finden sich als Gehirn ausnahmslos dieselben Strukturen. Sie unterscheiden sich in der Komplexität ihrer Verschaltungen. Gehirne sind angepasst an die Verarbeitung von Reizen aus der mesoskopischen Welt und damit vom größten sehbaren bis zum kleinsten riechbaren Phänomen. Wo die Grenzen hin zum makro- bzw. mikroskopischen Weltenzirkus sind, ist nicht bekannt⁵⁴.

Wie schon ausgeführt, leitet Lernen neurophysiologische Wachstumsprozesse ein (Schneider, 2008; Hübener, 2010;⁵⁵). Es erfolgen Modifikationen an den Verbindungen zwischen Neuronen und Synapsen“ (Goertzel, 2001). Die Verdickung der Großhirnrinde im Bereich des präfrontalen Cortex durch die anwachsende Verknüpfungsdichte zeitigen den Effekt erhöhter kombinatorischer Denkleistungen (Hoppe & Stojanovic, 2008) (Abb. A10 - A14). Sie korrelieren mit dem von Charles Spaerman 1904 postulierten „generellen Intelligenzfaktor „g“ (Korte, 2010, S. 340).

Dort wird im Sinne einer „Mustervervollständigung“ nach Assoziationen gesucht, über die neue Lerneffekte an vorhandene Erinnerungsinhalte angedockt werden können. Auf diese Weise werden Erinnerungspakete (Chunks) sukzessive vergrößert aber auch durch geeignete Hemmmechanismen gegenseitig abgegrenzt. Mit dieser Art der separierbaren Erinnerungsnetze ist erklärbar, dass man beim Erkennen nur eines Aspekts des Erinnerungsnetzes, etwa einen Versuchsaufbau, sofort und zugleich den Versuchsablauf, die Reaktionsgleichung und die Sicherheitsmaßnahmen bzw. die vielleicht tollen Ergebnisse gemeinsam miterinnert. Es wird vermutet, dass dies durch ein

⁵³ Bei Hass (1982) findet sich eine eindrucksvolle Kurzfassung der Entwicklung von Nervensystem und Gehirn (S. 157-177).

⁵⁴ Aktuell sei darauf hingewiesen, dass weitere, aktuelle und bestens visualisierte Einblicke ins menschliche Gehirn genommen werden können, wenn die Seite www.dasgehirn.info aufgerufen wird. Dabei handelt es sich um ein Projekt der Gemeinnützigen Hertie-Stiftung und der Neurowissenschaftlichen Gesellschaft e. V. in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Kunst und Medientechnologie ZMK Karlsruhe.

⁵⁵ Vgl. auch: Gehirn & Geist (2011) 6, 10: Murakoshi, H.; Wang, H.; Yasuda R.; Local, persistent activation of Rho GTPase during plasticity of single dendritic spines. Nature 472 (2011) 7, 100-104

Vgl. Hierzu auch die möglichen Auswirkungen auf kognitive Funktionen durch sogenannte „springende Gene“ (Retrotransposonen), die als „mobile genetische Elemente“ Kopien von sich in beliebige Stellen der DNA einfügen können und damit das Ein- und Ausschalten von Genen, also die Synthese von Proteinen steuern. Solche Kopiervorgänge finden im Hippocampus („Tor zum Gedächtnis“) besonders häufig statt (Gage & Muotri, 2012).

selektives und zeitlich koordiniertes Feuern von elektrischen Impulsen irgendwie zusammengehörender Nervenzellen („Cliques“, Tsien, 2007, S. 47) erfolgt: „Spike-Timing“ (Sejnowski & Delbrück, 2013; S. 23).

Den heutigen Erkenntnissen zufolge darf davon ausgegangen werden, dass es im Gehirn keine „oberste Instanz“ gibt; das Gehirn ist ein „distributives System“. Das Wesentliche sind die Beziehungen und die Beziehungsebenen, die übereinander hierarchisch gelagert sind. `Alles Wissen und alle Regeln der Wissensgenese residieren in der funktionalen Struktur des Gehirns. Dabei `verändern Erfahrungen alle Informationsprozessebenen im Gehirn´ (Korte, 2017, S. 78).

Alles Wahrnehmen (auch das des Selbstbildes) ist eine wissensbasierte Rekonstruktion´ (Singer, 2015): „Wahrgenommenes erscheint als wahr!“ Das dabei zugrunde gelegte Vorwissen beruht auf

- dem evolutionär genetisch tradierten impliziten Wissen,
- den erfahrungsabhängig epigenetisch⁵⁶ gespeicherten, ebenfalls impliziten Wissensbestandteilen und
- dem durch lebenslanges Lernen erworbenen expliziten Wissen.

Damit stützt die Hirnforschung das konstruktivistische Lernmodell. „Wahrnehmen heißt aktives Verstehen und damit immer eine Interpretation der Welt aufgrund von Vorerfahrungen, die unser Gehirn gespeichert hat“ (Korte, 2017, S. 80). „Wahrnehmungserlebnisse sind also nichts anderes als Hypothesen, die das Gehirn vor allem von Vorerfahrungen anstellt. Dieses erworbene, auf Lernvorgängen beruhende Wissen führt dazu, dass interne Prozesse im Gehirn nicht erst ablaufen, wenn von außen Reize einwirken. Das Gehirn behält immer die Initiative, es ist nie ruhig, wie die komplexen Erregungsmuster eines EEGs beweisen. Diese neuronale Aktivität ... [nach einer Hypothese von W. Singer; MPG für Hirnforschung] ... stellt das gespeicherte Wissen über zeitliche miteinander zusammengeschaltete neuronale Netze dar. Die manchmal in definierten Wellen oszillierende Aktivität ist Ausdruck eines fortwährenden Generierens von Hypothesen, von Erwartungswerten, die dann die einlaufenden Signale über einen Prozess der Selbstorganisation miteinander verbinden“ (S. (81-82). Chris Frith (Psychologe und Hirnforscher) bringt es auf den Punkt: „Unsere Wahrnehmung der Welt ist eine Phantasie [Hypothese], die mit der Realität zusammenfällt“ (S. 79). Unter pathologischen Bedingungen kann die Phantasie die Realität dominieren.

Für das konkrete lernunterstützende Lehren hieße das, dass der Lehrer das Vorwissen explizit aktiviert, zusammengehörige Einheiten eines Sachverhalts auch im gut erkennbaren Zusammenhang repräsentiert und ausreichend lange vor den Augen und Ohren der Schüler erhält. Vielfältigkeit und Repräsentationsdauer eines konsistenten Sachverhalts (z. B. Chem. Experiment) erhöhen die Merkleistung.

Vom Lernenden aus gesehen, bedeutet das, dass er gerne dahin geht, eine Unterrichtssituation bevorzugt aufsucht, wo er mit seinem vorhandenen Wissen etwas anfangen kann, wo er es erweitern kann, also in die Lage versetzt wird, zwischen konsolidiertem Wissen und neuen Informationen Beziehungen herzustellen. Das ist nichts anderes als Verstehen-können!⁵⁷. Und das hat Folgen. „Lernen (aufgrund von Erfahrungen) verwandelt bereits auf den ersten Verarbeitungstufen die Art und Weise,

⁵⁶ Epigenetische Faktoren sind chemische Anhängsel (z. B. Methyl-Gruppe an einem Cytosin, dem ein Guanin folgt) an der DNA und an Proteinen in den Chromosomen, durch welche die Genaktivität geregelt wird. Ihr Vorkommen beruht auf Umwelteinflüssen. Finden solche Veränderungen in den Keimzellen statt, so können sie sich auch in den folgenden Generationen phänotypisch auswirken (Skinner, 2015)

⁵⁷ Es zählt zu den pädagogischen Kunstfehlern, wenn Lehrkräfte weiterführender Schulen den Grundschulkindern mitteilen oder spüren lassen, dass ihr mitgebrachtes Wissen letztlich nicht viel wert sei, weil es jetzt um den „eigentlichen Wissenserwerb“ ginge!

wie wir die Welt sehen - Je mehr wir auf einem Gebiet wissen, umso differenzierter nehmen wir die Welt wahr, und gleichzeitig wird der Aufwand, den wir für diese differenzierte Weltsicht aufwenden müssen, geringer“ (Korte, 2017, S. 98).

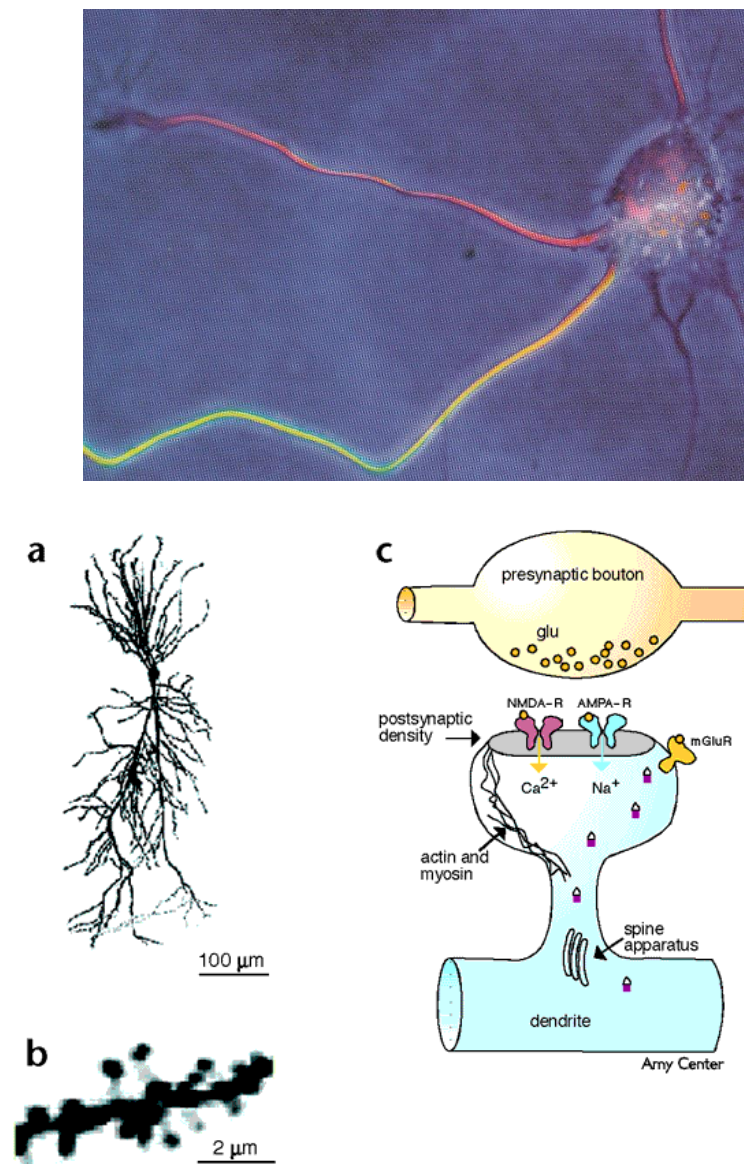


Abb. A10: Zwei Nervenzellen in synaptischem Kontakt. Grün/unten: efferentes Axon, das vom Zellkörper wegführt; rot/oben: Dendrite, die die afferenten Signale anderer NZ aufnehmen (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme am MPI für Neurobiologie, München-Martinsried: F. Bradke & H. Witte). Zur Überwindung des synaptischen Spalts während der Erregungsfortleitung eines Aktionspotenzials in den Verschaltungen des Gehirns dienen die Neurotransmitter. Sie wirken modularisierend: Acetylcholin (Konzentration), Dopamin (Konzentration und Motivation), Noradrenalin (Aufmerksamkeit, Stress, Angst)

Abb. A11: a) Pyramidenzelle des Hippocampus; b) Spines am Axon; c) Die Bildung einer Synapse durch das Wachstum eines präsynaptischen Bouton und eines postsynaptischen Dorn oder 'Spine',

ausgelöst durch aktuell synthetisierte Proteine⁵⁸ („Wachstumsfaktoren“)⁵⁹, welche markierte Synapsen selektiv zum Wachsen anregen („synaptic tagging“). Dieser Prozess, ausgelöst durch die Botenstoffe und endend mit dem Funktionellwerden der Synapse, kann von ca. 30 Minuten bis zu 15 Stunden dauern (Untersuchungen an Mäusen, AK Tobias Bonhoeffer, MPI Martinsried, 2013).

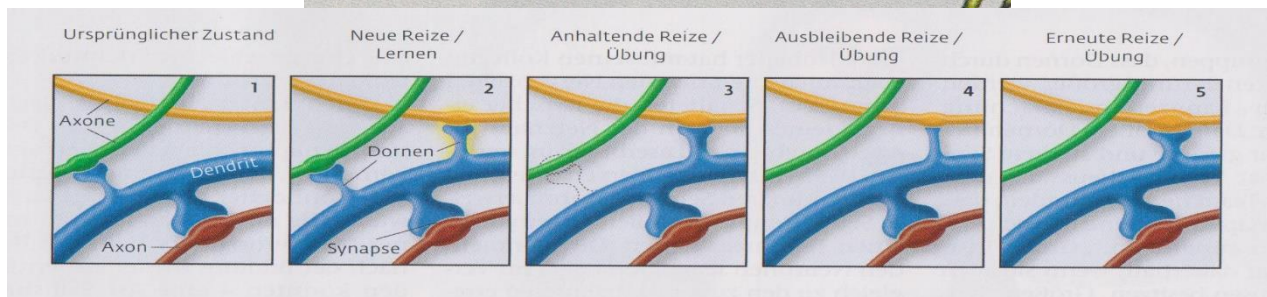
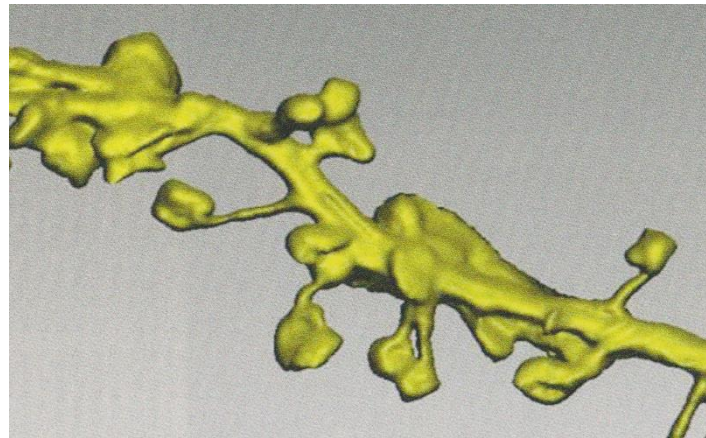


Abb. A12: Lasermikroskopieaufnahme von synaptischen Dornen auf einem Dendriten einer Hippocampus-NZ.

Abb. A13: Schematische Darstellung der Veränderung von Synapsen beim Lernen bzw. beim Nichtnutzen der Nervenverbindung (Ausschnittaufnahme und Schema aus: Rösch, 2013, S. 21 und 25)

Lernen beginnt mit der Embryonalentwicklung, sodass nicht nur *die Leber mit ihren Aufgaben wächst*⁶⁰, sondern auch das Gehirn an seinen. Reizarme Umwelten sind diesem natürlichen Prozess entgegengerichtet (Resch, 2012). Besser sind (wohl nicht nur in Ratten-Versuchen) angereicherte Umwelten („enriched environment“) und förderliche Sozialkontakte (Suzuki, 2016).

In der Säuglingsentwicklung werden die vorhandenen Nervenzellen sukzessive neu verschaltet und damit den ersten Umwelterfahrungen angepasst. „Im Laufe der kindlichen Entwicklung werden häufig genutzte Nervenverbindungen verstärkt (=“Sprouting“) und wenig genutzte Nervenverbindungen gelöscht (=“Pruning“)" (Stahl, 2012, S. 23). Die Aufrechterhaltung gebildeter Synapsen erfolgt durch den gleichgewichtigen Auf- und

⁵⁸ Neuere Untersuchungen am Genom des Menschen und höherer Primaten haben ergeben, dass die Ursache für eine deutliche vermehrte „Spine-Bildung“ beim Menschen und damit evtl. auch für die höhere Gehirnleistung des Homo Sapiens auf die Verdreifachung eines dafür in Frage kommenden Allels mit der Bezeichnung „SRGAP2“ auf dem Chromosom 1 zurückzuführen ist. Dabei entstanden vor etwa 3.4 und 2.4 Millionen Jahren aus der Urform „SRGAP2A“ (existiert auch bei den Menschenaffen) B, C und D. Es wird auch vermutet, dass diese genetischen Varianten verantwortlich sind für die auffällige Länge der Gehirnentwicklung beim Menschen und damit für die ausgeprägte Fixierung erster Umwelteinflüsse während der Embryonal- und Kindentwicklung (Gschwind & Konopka, 2013; www.nature.com)

⁵⁹ Abb. 3.2: http://www.nature.com/neuro/journal/v2/n1/images/nn0199_6.gif (Zugriff: 10.11.12)

⁶⁰ Formulierung ist angelehnt an den Titel des Buchs von Eckhart von Hirschhausen: „Die Leber wächst mit ihren Aufgaben“ (Hamburg, 2008)

Abbau definierter Proteine⁶¹. Dass das Lernen als neurophysiologischer Prozess durch Bewegung gefördert werden kann, hängt vermutlich auch mit der dadurch erhöhten Durchblutung des Gehirns zusammen (Suzuki, 2016).

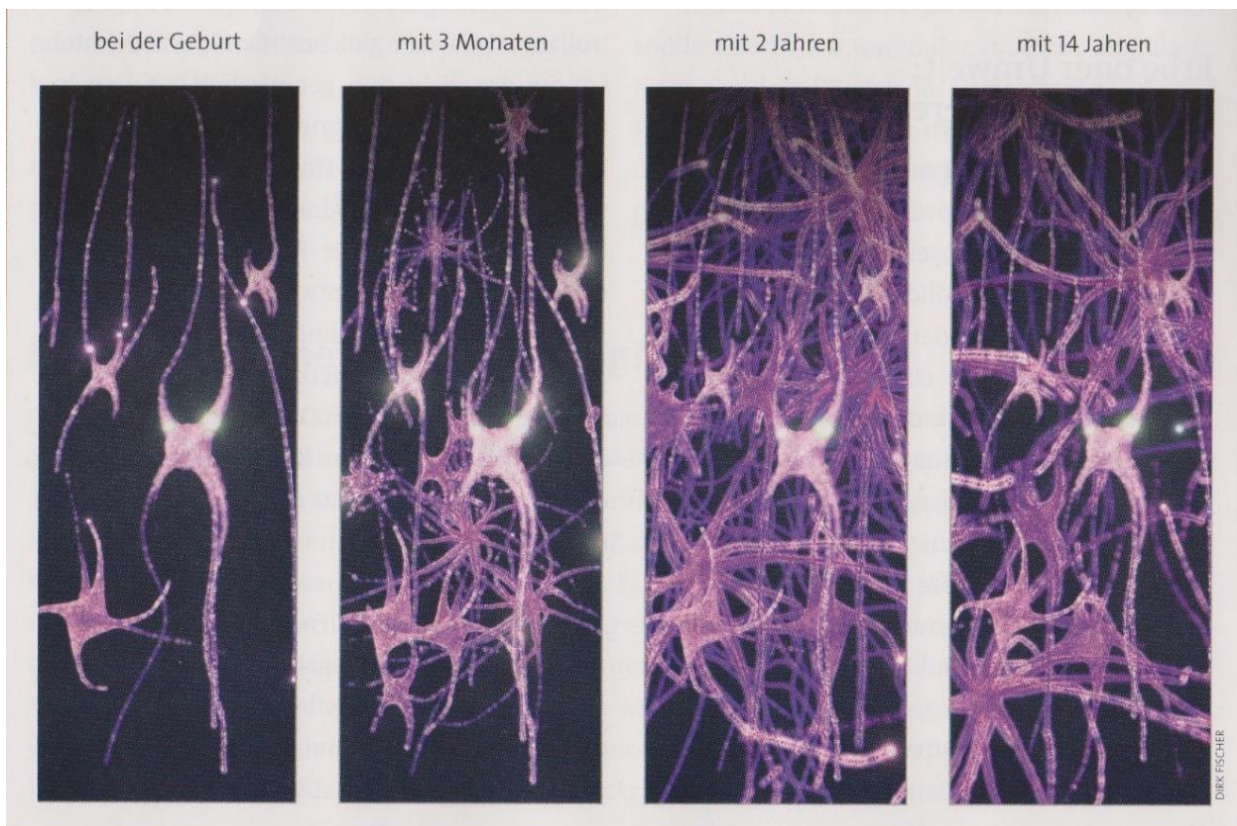


Abb. A14: „Sprouting“, dargestellt als schematischer Ausschnitt aus der Hirnrinde in chronologischer Bildfolge (Markowitsch & Staniloiu, 2014, S. 80)

Diese Veränderungen in den synaptischen Kontakten zwischen den Neuronen sind jedoch keineswegs auf die Frühentwicklung beschränkt. Vielmehr handelt es sich um fundamentale Prozesse des Lernens ganz allgemein und der Gedächtnisleistungen im Speziellen. So finden in der Nacht während des Schlafens „durch häufige Re-Aktivierung“ von Synapsen, „die sich tagsüber aufgrund eines Lernereignisses verstärkt haben“ ... „Umbauprozesse statt, welche die flüchtigen Verstärkungen dauerhaft zementieren. Auf der anderen Seite gibt es aber auch Synapsen, die tagsüber aktiv waren, ohne generelle Aspekte der wichtigen und bedeutsamen Lernereignisse widerzuspiegeln“ (Korte, 2017, S. 165). Entsprechend der „Synaptischen Homöostase-Theorie“ (SHT) besteht eine wesentliche Rolle des Schlafes darin, auf der einen Seite Gedächtnisprozesse zu ermöglichen und das Gehirn andererseits über eine Rekalibrierung der Synapsen in Richtung des Grundniveaus wieder auf neue Lernereignisse vorzubereiten“ (S. 166)⁶².

Neben dieser synaptischen Verdichtung kommen auch der Myelinisierung der Axone, d.h. der Ausbildung von Markscheiden durch Oligodendrocyten und Schwann'sche Zellen und damit die Optimierung der saltatorischen Erregungsleitung große Bedeutung zu (Abb. A15). Es wird angenommen, dass diese Ausbildung der „Ranvier'schen

⁶¹ www.neuro.mpg.de/bonhoeffer/de

⁶² In diesem Kontext ist es interessant, dass das Verhältnis von afferenten zu efferenten Nervenfasern, etwa im Arm (ca. 300 000 NF) 80% zu 20% beträgt. Das bedeutet, dass das Gehirn wesentlich mehr zu verarbeiten hat als es dann, hier auf der muskulären Ebene, motorisch verursacht.

Schnürringe“ als jeweilige „Sprungstelle des Aktionspotenzials“ die Nervenzellen im Gehirn (insbesondere bei Hochbegabten) zu einer höheren Verarbeitungsgeschwindigkeit der Reize befähigt (im Vgl.: ca. 400 km/h). Die Myelinisierung durch die Gliazellen ist ein wesentliches neurophysiologisches Merkmal des Gehirnumbaus während der Pubertät (Strauch, 2003; Fields, 2008).

Neubauer & Freudenthaler konnten in Tests eine Korrelation von 0.4 zwischen Leitungsgeschwindigkeit und Intelligenz nachweisen (Roth, 2001, S. 176).

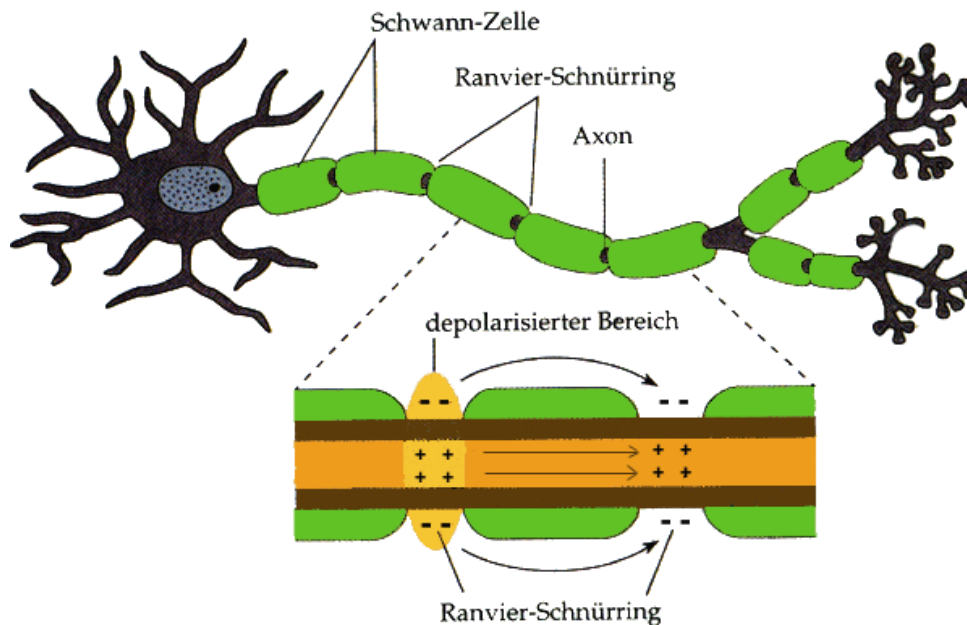


Abb. A15: Darstellung Ranvier'scher Schnürringe entlang eines Axons
(<http://www.uni-duesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/Claudia/seiten/trick.html>)

Heiner Böttger von der Universität Eichstätt/Ingolstadt untersuchte die Ursache für den Umstand, dass Mädchen früher und besser lesen als gleichaltrige Buben und damit auch in sprachlichen Fächern Vorteile haben. Untersuchungen von Hirnaktivitäten zeigten, dass „die Gehirnzellen, die für das Lesen und Schreiben zuständig sind, „genderspezifisch“ unterschiedlich weit entwickelt waren. Der Grad ihrer Entwicklung hängt davon ab, wie stark die Gehirnzellen miteinander kommunizieren und wie stark beide Gehirnhälften⁶³ aktiv sind. Verantwortlich für die Kommunikation sind die langen Nervenstränge, die von einer sogenannten Myelinschicht überzogen sind. ... Böttger fand nun heraus, dass bei allen am Test beteiligten Mädchen der Grad der Myelinisierung höher war als bei gleichaltrigen Jungen“ (Dittmer-Glaubig, 2015, S. 17)⁶⁴.

Bis zur späten Adoleszenz funktionieren die Vernetzungen zwischen den Neuronen immer besser. Die während dieser Optimierungsphase entstehenden Fehler, so vermutet man, sind Ursachen für später eintretende Krankheiten wie etwa Schizophrenie, die nach Wolf Singer⁶⁵ auch dadurch charakterisiert werden kann, dass die Patienten Zusammenhänge zu erkennen glauben, wo keine sind und tatsächliche Zusammenhänge nicht als solche wahrnehmen.

⁶³ Linke Hemisphäre: Abspeicherung positiver Erfahrungen („Lustzentrum“); rechte Hemisphäre: Abspeicherung negativer Erfahrungen („Furchtzentrum“)

⁶⁴ Demnach gilt es, die Knaben in ihrer sprachlichen Entwicklung zu fördern. Böttger spricht hier von einer „Gender-Balance-Systematik“

⁶⁵ Mitschrift aus einem Vortrag von Wolf Singer „Verändert die Hirnforschung unser Menschenbild?“ am 11.12.2015 anlässlich der RÖMER-Lecture der Fakultät für Chemie und Pharmazie der LMU München

A 4.3 'Moderater Konstruktivismus' als Lehrlern-Modell

Im Gegensatz zum Modell des „Nürnberger Trichters“, das vom Barockdichter G. F. Harssdörffer (1607-1658) erfunden wurde und mit dessen Hilfe *das Lernen als rezeptiver Vorgang beschrieben wird, der zur abbildhaften Speicherung von Erlebtem im Gedächtnis führt und daraus durch Reproduktion wieder abgerufen werden kann*, beschreibt das Modell des „Moderaten Konstruktivismus“ (Mandl & Reinman-Rothmeier, 1995, 2001; Duit, 1995a; Dubs, 1995; Klein & Oettinger, 2000; von Glaserfeld, 2002; Schneider, 2003 & 2004; Reich, 2004; Voß, 2005; Patry, 2016) das Lernen, Merken und Erinnern als einen komplexen, hochgradig individuellen Vorgang. Er geht einher mit Wachstumsänderungen im Gehirn (Hübener, 2010) und betrifft nicht nur Inhalte, sondern wird auch durch Interessen, situative Umgebungen und Bedeutungszuweisungen des Lerners bestimmt (Mandl & Kopp, 2005; Nentwig et al., 2005). Dabei ist auch zu beachten: „Bedeutungen können ... gar nicht vom Lehrenden auf den Lernenden übertragen, sondern müssen vom Gehirn des Lernenden konstruiert werden. Dabei ist wichtig zu beachten, dass die meisten Konstruktionen von Bedeutung in unserem Gehirn hochautomatisiert und völlig unbewusst ablaufen, und selbst wenn sie bewusst erlebt werden, sind sie in aller Regel nicht unserem Willen unterlegen“ (Roth, 2003, S. 21). „Existieren ein bestimmtes Vorwissen und ein bestimmter Bedeutungskontext nicht im Gehirn des Hörers oder Lesers, so findet keine Bedeutungskonstruktion statt oder zumindest nicht die, welche der Sprecher intendierte“ (S. 22). Stets wird mit dem Wissen gelernt und verstanden, das bereits vorhanden und aktivierbar ist. Wenn das gelingt, sichert das auch ein „Verstehen-wollen“!

„Für den Konstruktivismus ist Wissen kein Abbild der externen Realität, sondern eine Funktion des Erkenntnisprozesses. Die alternative erkenntnistheoretische Position [liegt den Instruktionstheorien zugrunde], dass die Welt aus Objekten und die Kognition aus korrespondierenden Repräsentationen dieser Objekte besteht, die im Gehirn als Objekte gespeichert werden, wird als Objektivismus bezeichnet. Der Konstruktivismus betont im Gegensatz zum Objektivismus die aktive Interpretation des erkennenden Subjekts, den Prozeß der aktuellen Konstruktion ...“ (Schulmeister, 1997, S. 78; zit. aus Reiners, 2003, S.20).

„Gelehrtes und Gelerntes sind nicht identisch“ (Roth, 2003⁶⁶). Lernen wird demnach nicht mit Lehren gleichgesetzt⁶⁷, findet nicht synchron statt und beruht jeweils auf hochindividuellen Voraussetzungen, da wir immer mit dem Lehren und Lernen, was wir wissen. Auf diese Weise kann es niemals homogene Lerngruppen geben und es können auch keine homogenen Lerngruppen durch Lehr-Lern-Prozesse erzeugt werden (Weinert, 2001). Es gibt ihn also nicht, den „7G-Unterricht“: „„Alle **g**leichaltrigen SuS haben zum **g**leichen Zeitpunkt bei der **g**leichen Lehrperson im **g**leichen Raum mit den **g**leichen Mitteln das **g**leiche Ziel **g**leich gut zu erreichen!“ (özb (Hrsg.) (2017). Wege in die Begabungsförderung (S. 16) Salzburg).

Nicht erst heute gehört „der Umgang mit einer heterogenen Schülerklientel zu den großen Herausforderungen des Unterrichts“ (König & Blömeke, 2009, S. 505).

Aus einer Information werden immer divergierende Wissensformate. Die Lehrkraft kann im besten Falle die Inhalte verstehbar aufbereiten („Didaktische Präparation“) und sich dabei an den kognitiven, affektiven und psychomotorischen Bedingungen sowie an den Lernstrategien der SchülerInnen orientieren, indem er Lernsituationen besonders anspruchsgerecht, gleichsam 'inklusiven Unterricht' gestaltet („Mathetische

⁶⁶ https://www.die-bonn.de/esprid/dokumente/doc-2003/nuissl03_07.pdf#page=1

⁶⁷ Deshalb auch die Unterscheidung von Didaktik als Leistung des Lehrenden und Mathetik als Leistung des Lernenden

Präparationen“)⁶⁸. „Lehren (Lernmanagement) ist somit der Versuch, komplexe Systeme, die nach ihrer eigenen Logik operieren, anzuregen. Das heißt, es ist prinzipiell unmöglich (direkt) zu lehren, sondern es ist nur möglich, Lernprozesse zu aktivieren! (Kohlberg & Unseld, o.J., nach 2006). Dieses Prinzip ist nicht auf die Schulsituation beschränkt, sondern gilt für jeglichen Lernprozess, auch für den aller Studierenden an Universitäten (Eilks et al., 2010), also auch aller Lehramtsstudierenden! Die dabei auftretenden alters- und entwicklungsabhängigen Voraussetzungen für solches Lernen lassen sich mit der Entwicklungstheorie von Jean Piaget (1896-1980) befriedigend beschreiben. Dabei entwickelt das Kind von Geburt an so genannte Assimilationsschemata, mit denen es die Sinneseindrücke verarbeitet. So dient etwa das Schema des Zählens dazu, einen einfachen Umgang mit Zahlen und die Feststellung von Mengen auszubilden. Im weiteren Entwicklungsverlauf werden diese Schemata erweitert und spezifiziert. Jetzt können Volumina bzw. Flächenmaße unterschieden werden. Diese Akkommodationen als Wechsel von Instruktion zu Konstruktion bedeuten eine zunehmend bessere Anpassung an die Umwelt. Das Zusammenspiel von Assimilationen und Akkommodationen bezeichnet man als Adaptation.

Ein solches konstruktivistisches Adaptations-Modell betont das Prozessuale der Lern- und Gedächtnisleistungen in Abhängigkeit von Alter und Lehr-Lern- bzw. Anwendungs-Situation. Schratz (1999) unterscheidet diesbezüglich vier Typen der Realitätskonstruktion:

Denken & Wahrnehmung,
Denken & Intuition;
Wahrnehmung & Gefühl und
Gefühl und Intuition (S. 5).

Auch Lemke (2003) weist daraufhin, dass kognitive Abläufe auf `drei mentale Grundvorgänge` zurückgeführt werden können: „Wahrnehmung, Gedächtnis und Emotionen“ (S. 71). Sie „beeinflussen alle nachfolgenden kognitiven Prozesse maßgeblich. Die Art, wie ein Mensch seine Umwelt wahrnimmt und mit welchen Emotionen⁶⁹ er das tut, wird z. B. sein Entscheidungsverhalten beeinflussen“. Diese innige Vernetzung lässt vermuten, dass nicht alles Lernen explizit und bewusst stattfindet, ganz im Gegenteil! Die meisten Lernprozesse, mehr als 50% und bis 90% erfolgen implizit, unter-, un- und nichtbewusst⁷⁰. „Implizite Gedächtnisleistungen sind im Vergleich zu Leistungen des expliziten Gedächtnisses resistenter gegenüber Vergessen, die Tiefe der Kodierung spielt keine Rolle, doch sinnesspezifisch ähnliches Material bei Kodierung und Abruf wirkt sich förderlich aus. Das implizite Gedächtnis⁷¹ ist

⁶⁸ Wie sehr sich manche, auch renommierte Vertreter der Schulpädagogik und Allgemeindidaktik gegen eine vernünftige und durchaus naturwissenschaftlich anspruchsvolle Auseinandersetzung mit der Psychologie und Physiologie des Lernens, der Mathematik wehren, zeigt ein Zitat eines bedeutenden Vertreters: „... konstruktivistisches Vokabular kann nun herangezogen werden, um allen möglichen sinnvollen und sinnlosen didaktischen Praxen zumindest begrifflich-semantisch einen brüllend modernen Anstrich zu geben“ (Terhart, 2009, S. 147). Seiner Meinung nach „entkoppelt die konstruktivistische Didaktik die Verbindung zwischen Lehren und Lernen“ (S. 146)

⁶⁹ „**Emotionen** sind seelisch-körperliche Zustände, die durch externe oder interne Erlebnisse ausgelöst werden, mit einer Bewertung einhergehen und eine Handlungsaufforderung beinhalten“ (S. 76). Nach Bassin (1978, S. 178, zit. aus Lemke, 2003, S. 77) ist eine **unbewusste Emotion** „eine Emotion, die aufhörte, erkannt zu werden infolge der Unmöglichkeit einer Realisierung des ihr zugrunde liegenden Verhaltensstrebens ...“

⁷⁰ Zur Begriffsabgrenzung: Lemke, B. (2003). Nichtbewusste Informationsverarbeitungsprozesse und deren Bedeutung für das Lernen Erwachsener. REPORT – Zeitschrift für Weiterbildungsforschung 26 (2003) 3, 71-83

⁷¹ „Das **nichtbewusste oder implizite Gedächtnis** bezeichnet Gedächtnissysteme, bei denen die Verarbeitung von Informationen (...) und deren Inhalt nicht bewusst ist“ (S. 75)

altersunabhängig und robuster. Gedächtnisleistungen des expliziten Gedächtnisses sind anfällig gegenüber dem Vergessen, lassen mit zunehmendem Alter nach, funktionieren besser bei tiefer Kodierung, während sinnesspezifische Kodierungs- und Abrufbedingungen keine Rolle spielen. Der Gedächtnisprozess selbst ist nichtbewusst“ (Lemke, 2003, S. 76).

Für das Unterrichten (insbesondere von Chemie) ist von Bedeutung, dass „Handlungen und Beobachtungen ... primär zum Erwerb von implizitem Wissen [führen], während Instruktionen eher zum Erwerb von explizitem Wissen führen“ (Lemke, 2003, S. 80). Hierzu macht es Sinn, auf die Unterrichtsfelder im Chemieunterricht (Vgl. C2.1) zu verweisen, welche dieser Differenzierung Rechnung tragen.

Gerade weil explizites Wissen dasjenige ist, was wir als Lehrende im Fachunterricht vornehmlich zu entwickeln suchen, muss auf dessen Genese wiederum besonderes Augenmerk gelegt werden! Das gilt nicht nur für die didaktische Aufbereitung sowie für die optimale Einstellung mathetisch abgesicherter, möglichst unterschiedlicher Lernbedingungen, sondern und auch ganz prominent für die Konkretheit der Rückmeldungen an den Lerner. Über dieses Feedback muss dem Schüler und der Schülerin signalisiert werden, dass sich bei ihm und ihr etwas geändert hat, dass sie ihr ursprüngliches Wissen durch neue Informationen nicht nur quantitativ ausgeweitet haben (Faktenwissen), sondern dass es ihnen auch gelungen ist, die neuen Informationen mit dem vorhandenen Wissen qualitativ zu vernetzen, dass sie also „verstanden“ bzw. Prinzipien erkannt haben. „Das Gefühl, die Konzeption einer Sache mit bisherigen eigenen Wissensbeständen in Einklang gebracht, geahnte Verwandtschaften und Zusammengehörigkeiten geklärt zu haben, ist ein der Selbsterfahrung zugängliches Erlebnis-Indiz dafür, daß ein gegebener Sachverhalt 'weitgehend' verstanden ist“ (Aeschbacher, 1986, S. 107). Faktenwissen anzuhäufen ist nämlich noch kein Verstehen, insbesondere im Sinne eines AHA-Effekts, eines „ergriffenen Ergreifens“ (Wagenschein, 1956). Dieser ist eine physische Begebenheit, ein glücklich machendes Erlebnis, eine positive Grenzerfahrung.

Für ihr bewusstes Erleben gilt, dass ihr eine Genussphase folgen muss, in der sich das Fähigkeitsselbstkonzept erspüren lässt und in der sich die Motivationsspeicher füllen und sich neue Anstrengungsbereitschaft einstellt (Vgl. hierzu auch Kap. E 6). Dieser „Lorbeer-Effekt“ besteht zunächst aus dem Auskosten des Verstandenhabens und sodann im ausdrücklichen Erleben, dass sich bisher nicht lösbare Aufgabenstellungen jetzt als bearbeitbar erweisen. Hierin äußert sich dann Kompetenz (funktionales Wissen), insbesondere, wenn die Problematik transdisziplinär gestaltet ist, also nicht auf innerfachliche Fragestellungen (konditionelles Wissen) eingegrenzt bleibt.

Diese fantastischen Erlebnisse gilt es im Unterricht explizit hervorzuheben, also bewusst zu machen und zu gestalten. Schüler und Schülerinnen, gerade der Mittelstufe kommen keinesfalls selbst auf solche highlights ihrer Entwicklung. Das muss ihnen von außen signalisiert werden: „*Das Wort, das einem weiterhilft, kann man sich nicht selber sagen!*“

Da solches Erleben niemals für alle SchülerInnen einer Klasse gleichzeitig auftreten kann, zählt es für die Lehrperson nicht zu den einfachen Aufgaben, dies individuell zu diagnostizieren und mit entsprechenden „therapeutischen“ Maßnahmen im Sinne von Hilfen und Förderangeboten ausgleichend einzugreifen (Vgl. hierzu Kap. E 5).

Um zumindest die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten solcher AHA-Erlebnisse zu erhöhen, gilt es, das „Erklären“ per se wieder in den Vordergrund treten und es nicht vom „eigenverantwortlichen Erarbeiten“ ohne direkte Einflussnahme durch die Lehrkraft verdrängen zu lassen. Erklären muss jedoch auch vom Vortrag deutlich unterschieden werden. „Erklären darf im Gegensatz zum Vortrag nie Selbstzweck sein, sondern ist auf

Verstehen bezogen. Beim Vortrag steht das Sachverhalt im Fokus, beim Erklären das „Verstehen des Schülers“ und „Die Erklärung ist nämlich nur so gut, wie sie beim Schüler das Gefühl des Verstehens erzeugt“ (Leisen, 2007, S. 461). Vor dem Hintergrund des „moderaten Konstruktivismus“ steht das verstehensbezogene Erklären als Teil der Instruktion im abwechselnden Rhythmus mit den Konstruktionsphasen (Abb. A16) während derer sich Gedächtnisinhalte bilden, also Verknüpfungen von vorhandenen Inhalten (Chunks) und neuen Informationen erfolgen, die sich dann emotional als AHA-Erlebnisse äußern. „Gelungenes Erklären zeigt sich in dem Umfang und der Intensität dieser Schülerempfindungen [„Gefühl, etwas gelernt und verstanden zu haben“] und nicht in der abgehakten Kriterienliste“ (Leisen, 2007, S. 460). „Verstehen heißt Aha-Erlebnisse haben“ (Stern, 2020). Nach Skowronek (1974) wird die „logische und begriffliche Struktur des Gegenstandes transformiert durch Unterricht in die kognitive Struktur des Lernenden“ (S. 142).

Wie sehr hierin Neuropsychologie und Philosophie zusammenhängen, zeigt ein Vergleich mit einer wichtigen Aussage Immanuel Kants (1724-1804): „Während die Anschauung das ihr durch die Sinne gegebene Sinnesmaterial aufnimmt, sich also rezeptiv verhält, ist der Verstand aktiv oder spontan: er *verarbeitet* die ihm anschaulich gegebenen Vorstellungen und kommt dadurch zu neuen Begriffen oder Aussagen über die Dinge, die ihm in der Wahrnehmung gegeben werden“ (zit. aus Valentiner, 1960, S. 29).

„Wissensarchitektur“

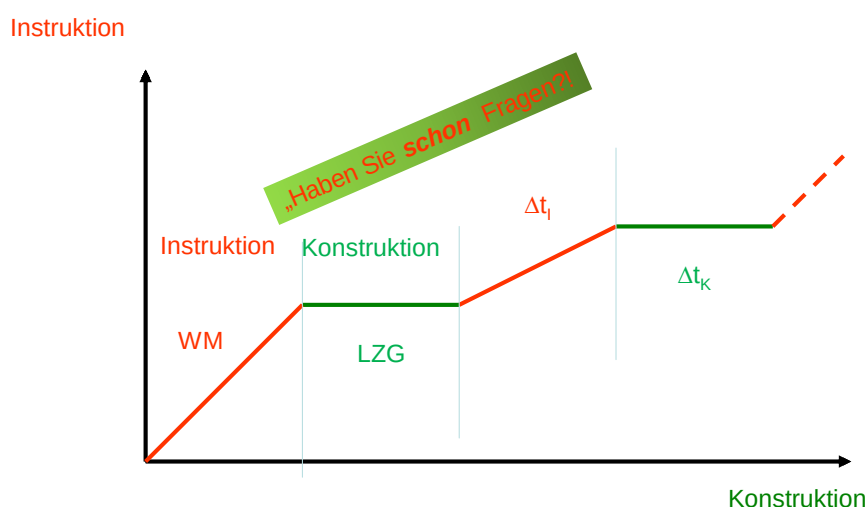


Abb. A16: Die Grafik vermittelt den Zusammenhang zwischen instruktiven Phasen, in denen nur begrenzt und zeitversetzt Wissensgenese abläuft, und den rein konstruktiven Phasen, während derer Instruktionen eher stören, weil hier die Verknüpfung ausgewählter Infos mit dem Vorwissen ausgeführt wird (Vgl. Leisen, 2007, verändert). (Im Balken steht: „Haben Sie **schon** Fragen?“, was richtig ist gegenüber „Haben Sie noch Fragen?“)

Reusser (2001) ergänzt diese Prozesswechsel durch die „Co-Konstruktion“ („Co-constructivism“). Vor dem Hintergrund der Frage, wie es denn überhaupt gelingen könne, dass zwei Individuen im Dialog ihr Wissen völlig unabhängig voneinander auf der Basis unterschiedlichen Vorwissens so konstruieren, dass vergleichbar ähnliche Wissensinhalte entstehen, postuliert er ein sogenanntes „Grounding“: „Grounding as a

basic form of collaboration⁷² means the moment-by-moment coordination and synchronization of the content-specific as well as the procedural aspects and steps of co-constructive activity“ (S. 2060).

Für den Lehrer bedeutet das, dass gerade beim Erklären (vs. Vortragen) die inhalts- und lernprozessbezogenen Teilschritte strukturiert und explizit gemacht werden (‘task-specific and process-related support structures’), sodass Strategien ins Bewusstsein gelangen und anschließend zu Routinen weiterentwickelt werden können. So ist nach Leisen auch wichtig, Kriterien für „vorbereitete Erklärungen“ (a) und „Ad-hoc-Erklärungen“ (b) zu kennen:

- a) „vermitteln Basiswissen, reduzieren komplexe und komplizierte Sachverhalte auf das Wesentliche, veranschaulichen abstrakte Sachverhalte, erläutern Methoden und Prozesse, sichern und vernetzen Ergebnisse, fassen diese zusammen
- b) schließen Verstehenslücken, integrieren sich in den bisherigen Arbeitsprozess, sind kurz und prägnant und beschränken sich auf den eigentlichen Zweck“ (Leisen, 2007, S. 460).

⁷² Kollaboratives Lernen: gemeinsamer Lernprozess am selben Inhalt (vgl. Partnerarbeit); kooperatives Lernen: Arbeitsteiliges Bearbeiten unterschiedlicher Inhalte und anschließendes Koordinieren (vgl. Projektarbeit)

A 4.4 'Information-Processing'- Modell

Vorstellungen vom Lernen vermitteln auf der physiologischen Ebene mehrere Modelle (Sweller et al., 1998; Lawson, 1978; Johnstone, 1997; Abb. A17), die sich jedoch nur im Detail unterscheiden⁷³. Als besonders geeignet für die Beschreibung und Begründung einer strukturierten Unterrichtsführung erscheint das „Information-Processing-Modell“ von Alex Johnstone (1997). „The difficulties of learning science are related to the nature of science itself and to the methods by which science is customarily taught without regard to what is known about children's learning. An information processing model is proposed to guide thinking and research in this area“ (Johnstone, 1991). Es kombiniert Reizfilterwirkung bei der Wahrnehmung („perception filter“⁷⁴) mit dem Arbeitsgedächtnis („working memory“) und den Vernetzungsleistungen des Langzeitgedächtnisses („longterm memory“). Dieses Modell ist auch gut vergleichbar mit dem kognitionspsychologischen Modell von Nuthall (2000a, zit. nach Ruffo, 2010, S. 93-94), in dem mit dem Arbeitsgedächtnis auch „ein Subjektcharakter der Wissensstruktur sichtbar“ wird (S. 93). Grundsätzlich muss das Gedächtnis als prozessuales Geschehen dreierlei Aufgaben erfüllen.

1. „Informationen encodieren (aufnehmen oder erwerben),
2. diese Informationen getreu speichern oder aufbewahren sowie im Falle des Langzeitgedächtnisses über eine bedeutende Zeit hinweg und
3. diese gespeicherten Informationen abrufen oder auf sie zugreifen“ (Forster, 2014, S. 37).

Eindrücke, Reize (Informationen, etwa 400.000 pro Sekunde) werden über einen Wahrnehmungsfilter des Langzeitgedächtnisses (Vorwissen) individuell auf ihre aktuelle Bedeutung hin sortiert. Die Auswahl der Informationen gelangt ins Kurzzeitgedächtnis, wo diese vor dem vorhandenen Wissen aufeinander abgestimmt werden. In Abhängigkeit von der aktuellen Qualität der Informationspakete und ihrer durch den Vergleich mit bereits bewährtem Wissen aus dem Gedächtnis ermittelten „Passgenauigkeit“ wird dieses entsprechend geändert und „modernisiert“ (Dörner, 1976). Zugleich werden die neuen Gedächtnisinhalte mit Bedeutungen ausgestattet. Diese resultieren aus der aktuellen Situation, in der sich dieser Vorgang abspielt sowie aus den bestehenden Wissensbedeutungen. Für den Unterricht ist genau diese Leistung unseres Gehirns von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit, da hiermit auch die Erinnerungsleistung beeinflusst wird. Neu und persönlich wichtig sowie in einer einschlägig beschreibbaren, möglichst angenehmen Situation Gelerntes⁷⁵ besitzt eine besonders hohe Erinnerbarkeit. Dies ist wiederum besonders wichtig, da der Sinn unseres Gedächtnisses darin besteht, „dass man im Hier und Jetzt gute Entscheidungen für die Zukunft treffen kann“ (Beck, 2020, S. 47).

⁷³ Andere, auch historische Lerntheorien, die sich nicht auf ähnliche Weise modellieren lassen, finden sich bei Rost (1998).

⁷⁴ Dieser Filter wird auch als „Ultrakurzzeitgedächtnis“ bezeichnet. „In einer klassischen Untersuchung von Georg Sperling (1960) konnte gezeigt werden, dass bei Menschen visuelle Information nach etwa 250 Millisekunden zerfällt, wenn sie nicht zielgerichtet verarbeitet wird“ (Stern, 2021, S. 26).

⁷⁵ Das gilt allerdings analog auch für besonders schlimme Erfahrungen (Unfall, Schicksalsschlag etc.). Grundsätzlich kann gelten: „Es gibt Dinge, an die wir uns erinnern müssen, um in der Welt erfolgreich zu sein, und andere Dinge, an die wir uns nicht zu erinnern brauchen“ (Forster, 2014, S. 15).

„Information processing model“

(Johnstone, 1997, erweitert)

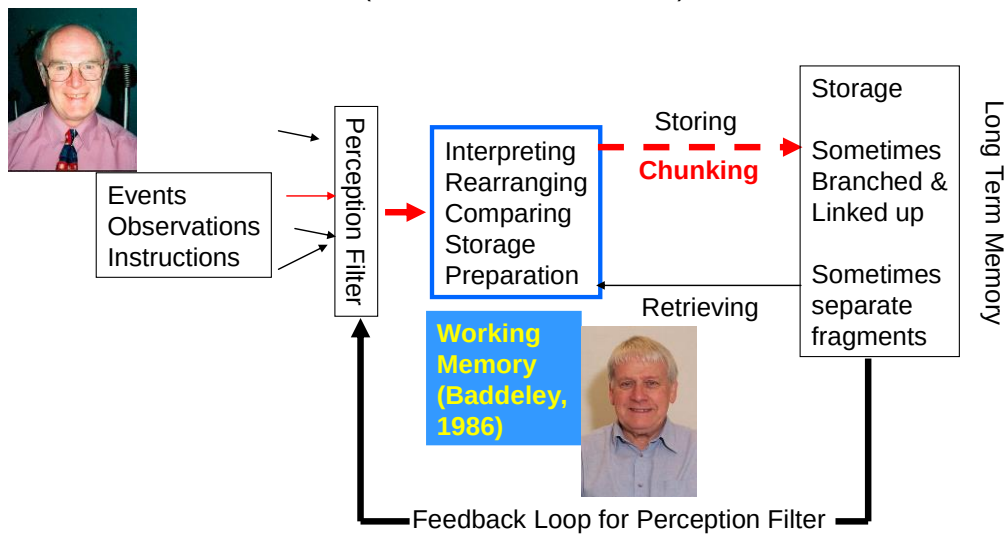


Abb. A17: Lernmodell („Information processing model“) nach Johnstone (1997), wohl auf der Basis des Mehrspeicher-Modells des Gedächtnisses, erstmals 1968 beschrieben von Atkinson und Shiffrin (erweitert)

Für diese Prozesse unterliegt die Kapazitätsauslastung des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley, 1986; Weinert & Waldmann, 1988; Johnstone, 1997; Reid, 2008; Fiebach, 2009; Wolf, 2009; Greutmann et al., 2021) ebenso wie die Taktung der Aufmerksamkeit des Cortex (von Aufschnaiter, 2000; Rötger, 2004; Pöppel, 2000: Vortragsmanuskript) einer Rhythmisierung der Informationsaufnahme. Dadurch werden jeweils nur überblickbare Informationspakete („Chunks“, Simon, 1974) als Sinneinheiten gleichzeitig, innerhalb der „Gedächtnisspanne“⁷⁶ geistig verarbeitet. Zugleich erfolgt ‚sinnvolles Vergessen‘, da „wir vergessen, um wichtige Informationen von (nun) irrelevanten abgrenzen zu können“ (Korte, 2017, S. 280). Nach Beck (2020) „besteht gutes Lernen aus dem Gleichgewicht zwischen einer stabilen Erinnerung und cleverem Vergessen“ (S. 38). Diese Leistungen des Working Memory (WM) haben eine weitreichende systemische Bedeutung, indem einer bloßen Anhäufung von Fakten entgegengewirkt wird und die jeweils aktuelle Bedeutung DAS Kriterium für die Verarbeitung darstellt. Aus einem Input von durchschnittlich 10^9 bit/s werden durch sinnstiftende Informationsreduktion etwa 10^2 bit/s. Im Zusammenhang mit den Verknüpfungen im Langzeitgedächtnis werden diese wieder individuell angereichert zu 10^7 bit/s. Das Gehirn macht uns so vor, wie mit einem Überfluss von Informationen sinnvoll umgegangen werden kann: „Flaschenhals der Datenreduktion“ (Vester, 2000, S. 23). Auf der Basis solcher Modellvorstellungen lässt sich die Diskussion über Unterrichtsqualität sicherer führen. Geeignete Ansatzpunkte für Eingriffe in die Entwicklung der fachspezifischen Wissensgenese können deutlicher ausgemacht werden und es lassen sich die erreichten Verbesserungen klar beschreiben und begründen. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage nach der Existenz

⁷⁶ „Unter Gedächtnisspanne versteht man die maximale Anzahl von Items (meist Ziffern oder Wörter), die im Anschluss an eine einmalige Darbietung (meist akustisch im Sekundenrhythmus) in der vorgegebenen Reihenfolge wiedergegeben werden kann“ (Hasselhorn & Gold, 2006, S. 72)

von chemietypischen Denk- und Arbeitsleistungen. Das „Informations-Verarbeitungs-Modell“ schafft ein sicheres Verständnis der Vorgänge, welche sowohl lernfördernd wie auch lernhemmend wirksam werden können (Häcker, 1999). Damit ist es leichter möglich, die Strukturierungsqualität der Inhalte in ihrer limitierenden Rolle für die domänenspezifische Denkleistung zu bewerten und förderlich zu gestalten.

Beide Lernmodelle (A 4.4 & A 4.5) ergänzen sich, indem sie einmal den Fokus legen auf die hirnspezifischen Bedingungen für gelingende Denkleistungen und zum anderen die idealtypische Beschreibung von Lernsituationen sowie Formulierung von Forderungen an deren schulpraktische Verwirklichung erleichtern.

Eine aus der Lernphysiologie und der Hirnforschung ausgegliederte und sich auf den Lehrlernprozess konzentrierende „Neurodidaktik“ (Friedrich & Preis, 1995/98) wird diesen Beziehungen nicht vollständig gerecht, weist aber auf die Besonderheiten einer Ausrichtung der Lehrverfahren auf die hirnphysiologischen Prämissen deutlich hin (Teuchert-Noodt, 2000; Friedrich & Preiss, 2002; Arnold, 2002; SPIEGEL-Titel 27 (2002) und 43 (2003); Hanser, 2003; Hanser & Ayan, 2009; Paulus, 2003; Westerhoff, 2008; Herrmann, 2009). Analoges gilt für die „Neurobiologie“ (Kämpfe, 2005; Zimmer, 2006).

Die aufkeimende „Natural Paedagogy“ (Csibra & Gergely, 2009), die `natürliche Pädagogik´ betont, dass ein natürlicher Wissenserwerb, wie er sich etwa im Rahmen von Eltern-Kind-Beziehungen manifestiert, durch mimische und sprachliche Strukturierungen, mit denen zwischen wichtiger und unwichtiger Information unterschieden wird, erleichtert werden kann. Das bezieht sich dann nicht nur aufs Erklären, sondern gilt auch für das gemeinsame Hantieren, etwa im Rahmen von physikalischen Phänomenerkundungen im Sinne von `Erst Kenntnis, dann Erkenntnis´ (Fieser, 2005; SPIEGEL 43/2003) und für das Visualisieren (einfache Mindmap), über welches bereits früh und spielerisch Beziehungen zwischen Begriffen hergestellt werden können (Christiani & Hoffmann, 2009).

Zusammenfassend kann zur Bedeutung der bisher angesprochenen Modelle festgestellt werden, dass ohne sie das unterrichtliche Lehren und Lernen nur zufällig erfolgreich sein kann, denn

- ohne Lernmodell kann die Informationsverarbeitung nur zufällig zielgerecht ausgelöst werden,
- ohne Lehrmodell kann die Methodenwahl nur zufällig lernförderlich gestaltet werden,
- ohne Wissensmodell kann die Qualität des Erlernten und der Aufgaben zu dessen Überprüfung nur zufällig erzeugt und ermittelt werden und
- ohne Unterrichtsmodell kann die Unterrichtsplanung nur zufällig motivierend und kognitiv aktivierend ausfallen

A 5 Gedächtnis und Lernleistung

Zweifelloso basiert Lernen auf der Fähigkeit, Gelerntes zu konservieren, es anzuhäufen und besser noch, es zu vernetzen, um es nach Bedarf wieder zu aktivieren und zielgerichtet, etwa zur Problemlösung oder zur kreativen Neukombination anzuwenden⁷⁷. Hierzu bedarf es eines geeigneten Speichermediums. Wie bei der Besprechung der Lehr-Lern-Modelle schon vorgestellt, lassen sich ein Kurz- oder Arbeits- und ein Langzeitgedächtnis voneinander unterscheiden. Beide Formen sollen nun detaillierter betrachtet werden⁷⁸.

⁷⁷ Gleich am Beginn dieser Betrachtungen sei auch vermerkt, dass Lernen, etwa als dauernde Veränderung des Gedächtnisses, eine subtile Form der Persönlichkeitsverletzung darstellt! Mit der Einsicht in das Lernen-Müssen wird individuell eingestanden, dass man Vieles (noch) nicht weiß. Viele Menschen entwickeln Strategien um dieses vermeintliche Defizit zu kompensieren. Sie nehmen Informationen auf, verarbeiten sie und wiederholen sie, allerdings in Form einer Mitteilung, so als wäre das Wissen schon immer dagewesen. Erst wenn es auf solche Weise gehört worden ist, wird es akzeptiert. Andere vermeiden neue Informationen, was das „lebenslange Lernen“ per se relativiert, weil es eben keinen Automatismus darstellt.

⁷⁸ An dieser Stelle macht es vielleicht Sinn, kurz das Phänomen der Künstlichen Intelligenz (KI) anzusprechen. In diesem Forschungsbereich versucht man u.a., die Arbeitsweise von KZG und LZG zu „optimieren“. In künstlichen Netzen wird versucht, das WM und das LZG zusammenzulegen, damit das Hin und Her der Infos wegfällt. Damit fällt die 6-Chunk-Grenze weg, d.h. es können pro Zeiteinheit beliebig viele Sinneinheiten verarbeitet werden. Das Zusammenwirken von Prozessor und Speicher als „neuromorphe Systeme“ ist schier unbegrenzt und wird „lediglich“ durch die technischen Grenzen (Chipgröße und Leitungsdichte, Temperatur) eingeschränkt.

A 5.1 Arbeitsgedächtnis („Working Memory“)

Um Effektivität (Auswahlqualität) und Effizienz (Verarbeitungsqualität) unseres Lernorgans `Gehirn` genauer zu beleuchten, macht es Sinn, die Leistungen des Arbeitsgedächtnisses unter die Lupe zu nehmen (Abb. A18).

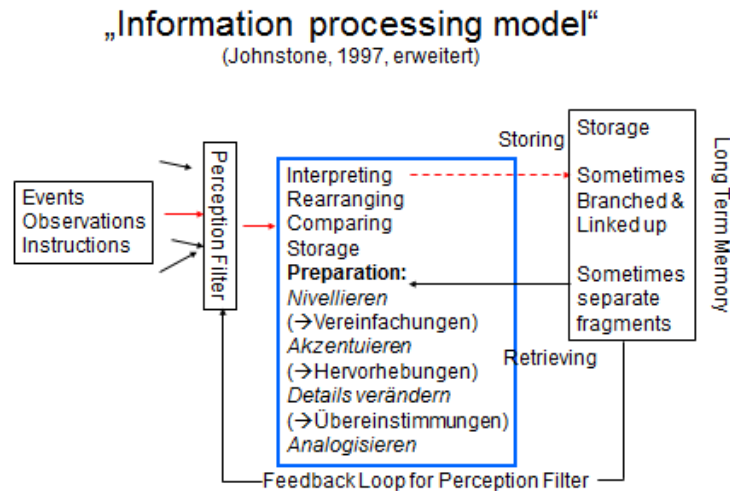


Abb. A18: `Informationsverarbeitungs-Modell` als Lehrlernmodell, mit dem die Verknüpfungen von Perzeptionsfilter, Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis verdeutlicht werden können.

Baddeley (1986) unterscheidet noch „zwischen einem Kurzzeitgedächtnis, das als passiver Speicher von Informationen dient, und einem aktiven Arbeitsgedächtnis, in dem diese Informationen transformiert werden“ (Waldmann, 1996, S. 455). Informationen werden also nicht nur aufgenommen, sondern auch in definierten Zeiträumen mit aktiviertem Vorwissen ver- und abgeglichen, bewertet und entsprechend eingespeichert. Im Arbeitsgedächtnis (auch KZG) oder „short term storage space (STSS) werden die eingehenden Sinneswahrnehmungen als „bottom-up“-Eingänge⁷⁹ mit „top-down“-aktiviertem Vorwissen verglichen, stets aufs Neue abgestimmt und vor dem Hintergrund aktueller Bedeutungen verworfen oder sie bleiben langfristig erhalten⁸⁰. Primär versucht das Gehirn, die vorhandenen Wissensbestände zu schützen.

Bei erfolglosen LernerInnen bleibt der Perzeptionsfilter für die angebotenen Informationen undurchlässig, sodass die apperzeptive Arbeit des „Working memory“ bzw. des „willentlichen Systems“, „System2“⁸¹ (Kahneman, 2012) nicht in Gang gesetzt werden kann! Das wiederum ist folgenreich, denn „Die Nutzung/Ausbildung der genetisch fundierten Intelligenz ist u.a. abhängig von der Leistungsfähigkeit/Kapazität des

⁷⁹ Nach Nørretranders (1997) ist die Informationsverarbeitung der einzelnen Sinnesleistungen gewaltig, aber auch deutlich unterschiedlich: Auge: 10 Mio bits/Sek.; Ohr: 100 000 bits/Sek.; Haut: 1 Mio bits/Sek.; Geschmack: 1000 bits/Sek.; Geruch: 100 000 bits/Sek.

⁸⁰ Hier gilt auch das Prinzip der Scholastiker: „Nichts ist im Verstand, was nicht vorher in den Sinnen gewesen wäre!“ („Nil est intellectu, quod non antea fuerit in sensu!“). Im modernen Kontext der Medienwirkung muss auch gewarnt werden vor der Unbedenklichkeit einer uneingeschränkten Belastung der Sinne: „Wir müssen den Kindern zeigen, dass alles, was wir in Augen und Ohren hineinlassen, im Gehirn stecken bleibt“ (Godina, 2018)

⁸¹ In seinem Buch „Schnelles Denken, langsames Denken“ unterscheidet Kahneman (2012) „zwei kognitive Systeme“, wobei gilt: „System 1 arbeitet automatisch und schnell, weitgehend mühelos und ohne willentliche Steuerung, System 2 lenkt die Aufmerksamkeit auf die anstrengenden mentalen Aktivitäten, die auf sie [die Aufmerksamkeit] angewiesen sind. Die Operationen von System 2 gehen oftmals mit dem subjektiven Erleben von Handlungsmacht, Entscheidungsfreiheit und Konzentration einher“ (S. 33)

Arbeitsgedächtnisses“ (Neubauer & Stern, 2007; Stern et al., 2007; vgl. auch Übersichtsartikel: Stahl, 2012). Die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit korreliert mit Faktor 0.4 deutlich mit dem IQ⁸²: $v(\text{info}) \sim \text{IQ}$ (Neubauer & Stern, 2007).

Um die vielfältigen Leistungen des WM zumindest in ein theoretisches System zu bringen, postuliert Baddeley eine „Zentrale Exekutive“⁸³, die (auf Kosten der Kapazität des WM) die spezifischen Hilfssysteme für die separate Verarbeitung von visuell-räumlichen sowie sprachlich-akustischen afferenten Informationen und Gedächtnisinhalten koordiniert (Hasselhorn & Gold, 2006). Die Zusammenhänge lassen sich verkürzt darstellen:

- Arbeitsgedächtniskapazität
(aus Speicherung von und mentale Operation mit Chunks) = Aufmerksamkeitskontrollmechanismus + Kurzzeitgedächtnisspeicherkapazität
- Germane load
(kognitive Belastung, die für den reinen Wissenserwerb benötigt wird) = Zentrale Exekutive + KZG-Speicherkapazität (GL = ZE + KZGS).

Im Kontext dieser Unterfunktionen –und das sei hier erneut betont– spielt bei gleichbleibender Chunkzahl die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eine zusätzliche qualitative Rolle. Sie korreliert deutlich mit der Intelligenz.

Eine sehr ausdifferenzierte Darstellung der Gedächtnisebenen und der aufeinander aufbauenden Prozesse der Gedächtnisgenese findet sich bei Roth (2001, S. 150-169; vgl. auch Abb. A19).

⁸² Den weltweit ersten Intelligenztest entwickelte Alfred Binet (1857-1911) im Auftrag des französischen Bildungsministeriums, um damit minderbegabte Schüler leichter zu identifizieren. Das heute gebräuchlichste Verfahren geht auf den US-Psychologen David Wechsler (1896-1981) zurück: „Wechsler Adult Intelligence Scale“ (WAIS) (Vgl. auch Themenheft Gehirn & Geist 4 (2013)). In den 1980er Jahren fiel auf, dass die Messwerte bei den Tests kontinuierlich um ca. 3 Pkt. pro Jahrzehnt zunahmen, sodass die Tests diesem Trend angepasst werden mussten. Dieser „Flynn-Effekt“ (genannt nach dem US-Politologen James F.) setzt sich in der Jetztzeit offensichtlich nicht fort, d.h. die Entwicklung stagniert oder kehrt sich um („Anti-Flynn-Effekt“). Eine `Erklärung` lautet: „Man entwickelt Intelligenz nur, wenn sie auch gefordert wird“ (E. Stern)! Stern definierte Intelligenz wie folgt: „Intelligenz ist die allgemeine geistige Anpassungsfähigkeit an neue Aufgaben und Bedingungen des Lebens“. Robert Sternberg (1986) war es, der mit der Idee, das Intelligenzalter eines Kindes durch sein Lebensalter zu dividieren, also einen Quotienten zu bilden und das Komma wegzulassen (etwa $\text{IQ} = 133$), diesem IQ mehr Lebensnähe zu vermitteln.

⁸³ Man versteht darunter die Fähigkeit, Aufmerksamkeit, Verhalten und Emotionen zu steuern. Diese „Selbstregulation“ gilt als Basis für kindliche Lernerfolge und einer gesunden emotionalen Entwicklung (Kubesch, 2016)



Abb. A19: Verdichtete Darstellung der groben Zusammenhänge zwischen verinnerlichter und manifester Problemlösung (vgl. Roth, 2001). Die gelb unterlegten (dunkleren) Felder korrelieren mit Intelligenz.

Nach der aktuellen Theorie der Hirnfunktionen (Hobson & Friston, 2012) vom „Hypothesen testenden Gehirn“, wonach eine vornehmliche Lernleistung des Gehirns darin besteht, Erwartungen in Form von auf Erfahrung gründenden Wahrscheinlichkeiten zu produzieren um die tatsächlichen Wahrnehmungen in ihren Abweichungen davon zu bewerten⁸⁴, arbeitet der Filter als Zusammenspiel von Aufmerksamkeit und Erwartung mit der Option einer jeweiligen Anpassung (Kirschner, 2013)⁸⁵. Hierzu liefern Untersuchungsergebnisse am `primären visuellen Kortex` sichere Anhaltspunkte. Es werden dort sehr viel mehr Impulse, nämlich 90% aus höheren Gehirnregionen verarbeitet als aus der Sehbahn eintreffen. Diese Rückkopplungssignale lassen sich gut

⁸⁴ „Das Einzige, zu dem unser Gehirn unmittelbaren Zugang hat, [sind] seine eigenen Zustände ...“ (Lenzen, 2013), was sich auch damit begründen lässt, dass alle Sinneseindrücke stets in ein körpereigenes Signal, die „Aktionspotenzialfrequenzen“ übersetzt werden. `Wahrnehmen` bedeutet für das Gehirn, `aus den Veränderungen des eigenen Zustands darauf zu schließen, was draußen in der Welt passiert` (Hermann von Helmholtz, 1821-1894)

⁸⁵ Es ist faszinierend, dass bereits im 13. Jhdt (Pierre de Jean Olivi (1248-1298) zumindest Analogien zu diesem cerebralen Wirkmechanismus formuliert wurden: „Petrus Johannes Olivi betont -im Rückgriff auf Augustinus-, dass die Sinneswahrnehmung von den kognitiven Kräften der Seele formiert wird und die Objekte überhaupt erst durch die Ausrichtung der Aufmerksamkeit (...) zur `Anregung` werden und zur Bedeutsamkeit gelangen“ (zit. aus Fehrenbach, 2021, S.67-68)

erklären, wenn man eine intensive Vergleichsarbeit des Gehirns voraussetzt⁸⁶. Die zuständigen Neurone nennt man „Fehlerfinder“ und ihre Aktivität „voraussagendes Kodieren“ („predictive coding“; Hohwy, 2013). Somit ließen sich Außenreize nur als Irritationen des Gehirns deuten, deren Verarbeitung nur 2% der Hirnkapazität beanspruchen; 98% dienen dem internen Abgleich. Je ausgeprägter, vielschichtiger, flexibler und erfahrener (elaborierter) das Wissen eines Menschen ist, desto sicherer werden die Hypothesen, „unser Geist“ (Friston, 2012; Kirschfeld, 2013) und umso geringer fallen dann die Abweichungen zwischen Fakt und Idee aus. Um diese Wissensbasis zu erwerben und lebenslang zu aktualisieren, bedarf es der Neugier und der Wissbegier⁸⁷. Die zu durchlaufenden kognitiven Entwicklungsstadien sind das „Ergebnis komplizierter Vorgänge der Assimilation (Anpassung der zu verarbeitenden externen Information an die intern verfügbaren kognitiven Schemata) und der Akkommodation (Anpassung der intern verfügbaren kognitiven Schemata an immer kompliziertere externe Informationssysteme), die das gesamte kognitive System beständig in einem dynamischen Gleichgewichtszustand halten (Äquilibration)“ (Weinert, 1994, S. 263).

Für den (Chemie)Unterricht bedeutet das, dass der Vorwissensaktivierung im Verlaufe der Instruktion besondere Bedeutung zukommt. Sichere Erwartungen erhöhen die Aufmerksamkeit⁸⁸ und geringe Abweichungen beschleunigen die neuerliche Hypothesenbildung und damit das Weiterlernen. Im umgekehrten Fall, und das ist in einem neuen Fach besonders wichtig, sind die Erwartungen sehr vage und die Orientierungen ungenau, sodass der Lehrkraft die Aufgabe zukommt, für die Konstruktion auf der jeweils anstehenden Wissensbasis optimale Bedingungen zu schaffen und Zeit zu geben für das übungsgestützte Lernen, zusammengesetzt aus Bedeutungszuweisung, Wissensgenese und Verstehensleistung (Roth, 2012).

⁸⁶ Mittlerweile gibt es einen Kameratyp (Dynamic Vision Sensor, DVS), welcher darauf beruht, nur Abweichungen eines zweiten vom ersten Einzelbild zu registrieren, was die Aufnahmegeschwindigkeit deutlich erhöht (Sejnowski & Delbrück, 2013; www.spektrum.de/dvs-Kamera)

⁸⁷ Dreht man den Spieß um, dann hieße es, dass Desinteresse und Lernmangel zunächst zu unsicheren Vorhersagen führen, also zu insgesamt unsicherem Urteilsvermögen, letztlich aber auch dazu, dass starre Erwartungen die Wahrnehmungen dominieren bzw. diese abschirmen und Fehlvorstellungen sowie Phantasien die Oberhand gewinnen (können). Es ist naheliegend, hierin auch eine Ursache für die Entwicklung wie auch rasche Akzeptanz von „Verschwörungstheorien“ zu sehen (Vgl. Corona-Krise, März 2020 oder Staatsführung eines Donald T. in den USA), wie auch die Gründe für eine erhöhte Empfindlichkeit für Indoktrinationen. So gesehen ist „Dummheit“ das Gegenteil von Neugier. Sehr passend dazu liest sich eine Definition von Dummheit im Manuskript zum Vortrag von Robert Musil „Über die Dummheit“ (Wien, 17.3.1937): „Dumm nennen wir ein Verhalten, das eine Leistung, für die alle Bedingungen bis auf die persönlichen gegeben sind, nicht vollbringt“ (S. 49). Oder: Dummheit ist die Tendenz, „Fakten zu ignorieren. Und im Sinne des kurzfristigen, unmittelbaren und scheinbaren Vorteils langfristige negative Folgen für sich und andere zu ignorieren. Dumme Menschen verstehen sich nicht als Teil eines Gefüges, für sie kommen immer nur die eigenen Belange an erster Stelle“ (Psychiaterin H. Kastner im SZ-Interview (SZ v. 20./21.11.21, S. 60; Vgl. auch: Kastner, H., 2021. Dummheit. Wien).

⁸⁸ „Die Aufmerksamkeit wird benötigt, um in komplexen (Lern-)Situationen die wichtigen Informationsteile von den potenziell zur Verfügung stehenden Millionen auszuwählen. Das Abrufen von Informationen aus dem Gedächtnis, um sie in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit zu rücken, zu vergleichen, einzuschätzen und zu entscheiden, stellt Anforderungen an die begrenzte Verarbeitungskapazität unseres Verstandes. `Eine Hauptkraft, die das Bewusstsein trübt, ist psychische Unordnung, das heißt Informationen, die mit bestehenden Absichten im Widerstreit liegen oder uns abhalten diese Absichten zu verfolgen. Wir geben diesem Zustand viele Namen, je nachdem, wie wir ihn erfahren: Schmerz, Angst, Wut, Furcht oder Eifersucht. All diese Variationen von Unordnung zwingen die Aufmerksamkeit, sich auf unerwünschte Objekte zu richten, und dann ist man nicht mehr frei, sie nach Vorliebe einzusetzen. Psychische Energie wird schwerfällig und nutzlos‘ (Csikszentmihalyi, 1993, 57)“ (Schratz 1999, 6-7).

Dies gilt auch und bei Kindern besonders für das Verstehen beim Lesen, nicht nur von Fachtexten. Nach Reiter (2014) „spielt beim Hören nur die Vertrautheit eine Rolle dabei, wie schnell ein Wort erkannt wird, beim Lesen dagegen auch die Häufigkeit“ (S. 65). Beides sollte im Chemieunterricht insbesondere beim Erlernen und Verstehen der Fachsprache als Basis für einen expliziten Lehrakt deutliche Beachtung finden. Auch das akustische Verstehen gelingt immer dann besonders gut, wenn uns das Gehörte bekannt vorkommt!

In diesem Zusammenhang soll auch der Begriff der „Verarbeitungsflüssigkeit“ (processing fluency; ease of processing) angesprochen werden (Vgl. auch Steffens & Höfer, 2015, S. 213). Es handelt sich dabei um die Leichtigkeit, mit der Gehirne Informationen verarbeiten können. Geht es um die Leichtigkeit, mit der Wahrnehmungsreize (vgl. Rolle des Perzeptionsfilters) verarbeitet werden, so spricht man von „perzeptueller Flüssigkeit“ (perceptual fluency; Reizverarbeitungsflüssigkeit). Ist die Leichtigkeit gemeint, mit der Informationen aus dem Gedächtnis abgerufen werden können, dann heißt der Fachausdruck „retrieval fluency“ (Abrufflüssigkeit). Beides sind Leistungen des Arbeitsgedächtnisses und sind affektiv positiv besetzt. Eine hohe Verarbeitungsflüssigkeit zeigt an, dass die Interaktion mit der Umwelt problemlos verläuft. Informationen werden oberflächlich bearbeitet, wenn die „perceptual fluency“ hoch ist. Ist sie niedrig, dann schaltet das Gehirn auf analytische Denkweise um, was beispielsweise bei Vorhandensein multipler Repräsentationsformen (Text, Bild, Graph) zu Lernschwierigkeiten führen kann (Rau, 2017). Grundsätzlich gilt, dass einfache, symmetrische, aufeinander abgestimmte und eher prototypische und bekannte Reize zur schnelleren und effizienteren Verarbeitung führen, also schneller denkverfügbar sind (Vgl. auch Badenschier, 2006)⁸⁹.

Es erscheint die Annahme berechtigt, dass eine Aufbereitung des Lehr- und Lerninhalts in kleinen Schritten (SST, S. 305) sowie in Form von explizitem Trennen zwischen Prinzipien und Beispielen (PDT, S. 341), ausgestattet mit deutlichen Verstehensbezügen zwischen Vorwissen und neuen Informationen genau diese Verarbeitungsflüssigkeit unterstützt und fördert und damit die Chunk-Vergrößerung (Chunking, S. 66) erleichtert!

⁸⁹ In diesem Zusammenhang sei auch verwiesen auf die Entwicklung von Piktogrammen als Elemente einer Bildsprache (Ursprünge gehen zurück auf: Otto Neurath (1882-1945), Gerd Arntz (1900-1988), Otl Aicher (1922-1991). Bekannteste Beispiele sind die Olympia-Piktogramme von 1972 (München), die auch 2008 (Peking) eingesetzt wurden sowie die Wegweiser in Flughäfen. Sie kommen ohne Text aus, werden international und unabhängig von jeweiligen Kulturen verstanden und sind eindeutig; „Wiener Methode“ (vgl. Bräun, Wolfgang, 2021: <https://www.iposs.de/7124/geschichte-der-piktogramme/> (11.4.24). Ebenso interessant sind die METACOM-Symbole von A. Kitinger (<https://metacom-symbole.de/> (11.4.24)

A 5.2 Aufmerksamkeit

Mit der Einsicht in subjektive Bedeutungen und einer damit einhergehenden individuellen Betroffenheit kann sich die oben schon erwähnte Aufmerksamkeit (Rapp, 1982) einstellen. Aufmerksamkeit als Zustand gerichteter Wachheit oder Vigilanz ist eine unverzichtbare Basis für gelingende Kommunikation (Storch & Tschacher, 2014) und der beste Prädiktor für Schulerfolg und damit für die Ausbildung der von den Nationalen Bildungsstandards geforderten Kompetenzen⁹⁰.

Carter et al. (2009) unterscheiden sechs Arten von Aufmerksamkeit⁹¹:

- fokussierte (Sprinter vor dem Startschuss),
 - längerfristige (Bedienen einer Maschine),
 - selektive (Golfer beim Putten),
 - wechselnde (Kunstmaler zwischen Modell und Leinwand),
 - geteilte („Multi-Tasking“) und
 - verdeckte (Reizwahrnehmung, ohne die Sinnesorgane darauf zu richten)
- Aufmerksamkeit (S. 180).

Aufmerksamkeitshaltung bedeutet spezifische Partizipation an den Mitwelten und damit Reizauswahl⁹². Dies wirkt sich bereits dann aus, wenn eine Informationseinheit als Text *und* Bild angeboten wird⁹³. Jedoch auch der auditive Lerntyp, wie auch der haptische (insbesondere im naturwissenschaftlichen Bereich bei der ersten Stofferkennung und – unterscheidung) müssen hier eine deutliche Berücksichtigung erfahren können⁹⁴. „Mangelnde Aufmerksamkeitshaltung“ ist die Eigenschaft, die am stärksten zwischen leistungsversagenden und leistungsbesten Schülern differenziert (Löwe, 1963 in Rapp, 1982; Meyer, 1987)⁹⁵. Ewert und Henneberger (1995) entwickelten vor dem Hintergrund

⁹⁰Nach Weinert (2001) sind Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“.

Ein „Problem“ liegt dann vor, wenn die Transformation von einem unbefriedigenden Ausgangszustand in einen erwünschten Endzustand durch eine oder mehrere Barrieren behindert wird. Im Gegensatz zur „Aufgabe“, zu deren Lösung bekannte Operationen vorliegen, muss zur Problemlösung kreativ vorgegangen werden, müssen demnach neue Verhaltensweisen eingesetzt werden (Schmidkunz, 2005)

⁹¹ Nach W. James (Psychologe, USA, 1890) ist A. wie folgt definierbar: „Es ist die Besitzergreifung des Geistes in klarer und lebendiger Form durch eines oder einen von vielen scheinbar gleichzeitig möglichen Objekten oder Gedankengängen. Fokussierung, Konzentration des Bewusstseins sind seine Essenz. Aufmerksamkeit impliziert die Abwendung von einigen Dingen, um mit anderen effektiver umgehen zu können“ (zit. nach Madeja & Müller-Jung, 2016, S. 74).

⁹² Die Fähigkeit zur aktiven Reizauswahl, zur „fokussierten Wahrnehmung“ wird auch als „Achtsamkeit“ bezeichnet, mit deren Hilfe wir uns „ausschließlich auf eine bestimmte Sinneswahrnehmung konzentrieren“ (Jha, 2013, S. 42)

⁹³Hierbei ist es nachweislich effizienter, wenn der Text auditiv und das Bildmaterial visuell präsentiert werden (Ginns, 2005), was in Unterrichtssituationen im Sinne einer „doppelten Codierung“ (Paivio, 1986) zu einem sinnvollen und Zeit beanspruchenden Hintereinander von laut *gelesenem* Text sowie betrachteter *und* kommentierter Abbildungen führen sollte.

⁹⁴ Die Chemiedidaktik arbeitet im Rahmen von Zulassungsarbeiten (1. Staatsexamen) an der Entwicklung von ‚podcasts‘ für die akustische Wiederholung und Festigung von elementaren Chemieinhalten

⁹⁵Aufmerksamkeitsstörungen* verringern alle nachgeordneten Leistungen. In erster Linie ist das Arbeitsgedächtnis (WM) betroffen und damit die Ausbildung von Intelligenz! (Neubauer & Stern, 2007); „Maße für die Effizienz (=“Dinge richtig tun“) der Aufmerksamkeitssteuerung sagen die Leistungsfähigkeit von Fluglotsen und Piloten der israelischen Luftwaffe mit größerer Zuverlässigkeit vorher als der IQ“ (Kahneman, 2012, S. 53)

eines historischen Abrisses des Begriffes „Aufmerksamkeit“⁹⁶ einen „Beurteilungsbogen zur schulischen Aufmerksamkeit“, bei dessen Einsatz sich u.a. herausstellte, dass hohe Aufmerksamkeit mit den Schulfachnoten deutlich korreliert. „Durch Aufmerksamkeit werden Informationen detailreicher verarbeitet, und zwar umso mehr, je stärker man sich konzentriert, und dies fördert die Verankerung im Gedächtnis“ (Roth, 2017, S. 327)⁹⁷.

Der Aufmerksamkeitsgrad, beeinflusst von Attraktivität des Objekts sowie von Zuwendungsbereitschaft des Subjekts, wirkt sich aus auf Konzentrationsfähigkeit, Beobachtungsfähigkeit und Informationsaufnahme durch das `Working Memory` und damit Gedächtnisleistung, Lernbereitschaft und Motivation (vgl. auch: Keller, 1995). Jean Paul (1806) spricht von einer „tätigen Aufmerksamkeit“, wenn sie von selbsttätiger Auseinandersetzung getragen wird (zit. aus Heimlich, 2017).

Die Aufmerksamkeitsdauer übt einen wesentlichen Einfluss aus auf die Behaltensleistung, vornehmlich im Primarbereich. Hierbei muss davon ausgegangen werden, dass die optimale Aufmerksamkeitsleistung nicht von Anfang an gegeben ist.

- „Im Lebensalter von eins bis vier entwickelt das Kind die Fähigkeit, ein Merkmal im Auge zu behalten. Damit wächst die Abstraktionsfähigkeit“ (Müller, 2013, S. 262).
- „Im Lebensalter von vier bis sieben können durch die zunehmende Steuerungsfähigkeit der Aufmerksamkeit [auch hinsichtlich der Dauer] einzelne Merkmale gezielt verfolgt werden“ (S. 262).
- „Ab dem achten Lebensjahr führt die gewachsene Steuerungsfähigkeit der Aufmerksamkeit, verbunden mit der ausgebauten Fähigkeit, logische Kategorisierungen vorzunehmen, zur Weiterentwicklung des schlussfolgernden Denkens“ ... „Dadurch werden Ordnungssysteme mit mehreren Ebenen möglich“ (S. 263).

Solche Abstufungen zeigen sich beispielhaft bei der Protokollierung von selbst durchgeführten chemischen Experimenten. Bereits in der Grundschule führt die Anfertigung von Protokollen zu einer vermehrten Faktenanalyse, wie das in eigenen Untersuchungen mehrfach empirisch festgestellt werden konnte (Gerrer, 2014). So wird nach dem Experiment in der Konservierungsphase nach den Namen der Gerätschaften gefragt (→Fachbegriffe) und es wird das Hintereinander der Arbeitsschritte nachvollzogen (→Prozess; „Prozessketten-Methode“: Maier, 2012). Beides festigt das phänomenologisch Erlebte und bereitet den Boden für Gespräche (→Kommunikation). Das Gehirn profitiert dabei durch die erleichterte Kombination von Bildern und Texten (`Visual-Transfer-Effekt`; Paivios, 1986; Groß, 2013), wodurch maximale Erinnerungsleistungen ermöglicht werden. In Fällen, in denen von einer Fixierung der Ergebnisse abgesehen wird, erfolgt nur ein rasches reflexionsfreies Hantieren ohne tieferes Verständnis und mit geringer Merkleistung. „Schüler führen gerne Experimente durch, sind aber nicht motiviert oder aber nicht fähig, diese zu dokumentieren“ (Groß & Reiners, 2012). Hier stellt sich aufgrund des hohen arbeitstechnischen Aufwands zudem die Frage nach der Rentabilität! Wie wichtig die reflexive Nachbereitung einer Experimentdurchführung ist, lässt sich auch feststellen, wenn Schüler (im konkreten Fall

⁹⁶ Strittig ist, ob hinter „Aufmerksamkeit“ nicht ein hierarchisches System aus einer Vielzahl von Prozessen der Informationsverarbeitung steht (Ewert & Henneberger, 1995, S. 320). Bei Ortega y Gasset (Psychologe, Philosoph und Schriftsteller, 1883-1955) heißt es: „Die Aufmerksamkeit ist das vornehmste Werkzeug der Persönlichkeit; sie ist die Vorrichtung, welche unser geistiges Leben reguliert“ (o. J. nach 1940, S. 90)

⁹⁷ `Schenken Affen einem bestimmten Reiz ihre Aufmerksamkeit, steigt die Anzahl der Hirnrindenzellen, der synchronisierten Spikes (Aktionspotentiale; „Spike-Timing“) im EEG produzieren sowie auch ihre Feuerrate` (Sejnowski & Delbrück, 2013)

Schüler einer Jgst. 7 am Ende eines halbtägigen Schülerlaborbesuchs an der Universität zu Köln im Mai 2013) in der Besprechung aufgefordert werden, den Ablauf zweier Versuche (hier: Knallgasprobe und Glimmspanprobe bzw. die Vorgehensweise bei der Kochsalzgewinnung aus einem 'Leckstein', Steinsalz) vergleichend zu wiederholen. Geräte, Substanzen und Treatments werden verwechselt und unbrauchbar zusammengestellt. Erst eine anschließende Protokollierungsanleitung kann wieder Ordnung herstellen.

Zielführende proaktive Veränderungen der Aufmerksamkeitsrichtung bei SchülerInnen zur Aufrechterhaltung von 'kognitiver Wachheit („epistemische Neugier“)' (Weiß, 2012, S. 115) oder von Neugier als „Erkenntnislust“ (Kreutzberg, 2013) bzw. „Entdeckungsinteresse“ (Reitinger, 2013) können durch mathetische Variation der Methoden⁹⁸ und durch vielfach mögliche didaktische Strukturierungsvarianten der Inhalte induziert werden. Sie können den „flow“ (Csikszentmihalyi, 1975) bzw. eine „inattentional blindness“ (Unaufmerksamkeitsblindheit⁹⁹; vgl. Mack & Rock, 1998) gegenüber irrelevanten Reizen herstellen. Es steht zu vermuten, dass sich zusammen mit einer verstärkten Konzentrationsfähigkeit auch die Auffassungsgabe und das Verstehen Können erhöhen¹⁰⁰. Die unterrichtsrelevante Erzeugung und Aufrechterhaltung von Aufmerksamkeit sind eng gekoppelt an das methodische Vorgehen der Lehrkraft. Mit dem immer wieder beschworenen „Methodenwechsel“ werden letztlich Aufmerksamkeitsimpulse gesetzt und neue Aufmerksamkeitsziele vorgegeben. Dabei geht es vornehmlich nicht um die traditionelle Aufeinanderfolge von Makromethoden, die sich genau definieren lassen¹⁰¹ (Lernen an Stationen, Expertenpuzzle etc.; Peterßen, 1999), oftmals differenzierter Instrumentarien bedürfen und auf festen Regeln basieren (Klippert, 1994), sondern vielmehr um kontinuierliche, flache Wechsel auf mikromethodischer Ebene.

Mikromethoden gehen fließend ineinander über, beruhen auf Wechsel in Aktions- und Sozialformen, äußern sich in der Körpersprache (Heidemann, 2007, Pease, 2020), in Änderungen von Positionen im Raum (Proxemik) sowie in den Präsentationsformen und Arten der Wortwahl und Stimmführung (Tab. A3)¹⁰² sowie in der Mimik, in der 'Frequenz und Amplitude der Bewegungen' wie auch im 'Grad der Offenheit von Augen, Mund und Händen' (Verra, 2018, S. 9).

In Analogie zur Diagnosekompetenz einer Lehrperson, deren Konsequenzen sich in der makromethodischen Variation äußern, ließe sich auch eine „Mikrodiagnostik“

⁹⁸ Der Begriff „Methode“ resultiert aus grch. meta (= nach) und hodos (= Weg): „einen Weg nachgehen“. („Methode“, „Prinzip“, „der rechte Weg“ bedeutet im Japanischen: „tao“.)

⁹⁹ **Unaufmerksamkeitsblindheit** (auch *Blindheit wegen Unaufmerksamkeit*; engl. *inattentional blindness*) ist die Nichtwahrnehmung von Objekten, bedingt durch die eingeschränkte Verarbeitungskapazität des menschlichen [Gehirns](#). Die Nichtwahrnehmung größerer Veränderungen an Objekten in der Umgebung nennt man [Veränderungsblindheit](#) (*change blindness*). Zusammengefasst legen diese Feststellungen den Schluss nahe, dass nur Objekte und Details [wahrgenommen](#) oder bemerkt werden, auf die die [Aufmerksamkeit](#) gerichtet wurde. Das Gehirn muss selektieren, welche Informationen relevant sind und welche weniger. Erst indem sich die Aufmerksamkeit einem [Reiz](#) zuwendet, wird dieser bewusst. Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit beeinflusst die Aktivität bestimmter Gehirnstrukturen. Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Unaufmerksamkeitsblindheit> (Zugriff: 30.7.13)

¹⁰⁰ Nach von Hippel (2015) wäre eine rasche Auffassungsgabe, gepaart mit der Entscheidung für richtiges Handeln und daran anschließend dessen schnelles Umsetzen, wiederum als Ausdruck sozialer Intelligenz, Grundlage für eine charismatische Wirkung auf die Umgebung (Notiz aus: Psychological Science, in der SZ vom 4.12.2015, S. 16).

¹⁰¹ Eine sehr qualifizierte und an den kompetenzorientierten Chemieunterricht angepasste Darstellung zahlreicher Methoden findet sich bei Kranz & Schorn, 2012

¹⁰² Die Kommunikationstrainerin Eva Heymann erläutert in einem Interview, dass der Effekt eines Vortrags zu 7 % dem Inhalt zuzuschreiben ist, dagegen 55 % der Körpersprache und 38 % der Stimme (www.didacta-magazin.de 2/2014)

anführen. Sie ist verantwortlich für rasche Entscheidungen auf der mikromethodischen Ebene¹⁰³.

Makromethodik	Mikromethodik	Methodenbausteine
z.B.: Vortragend-darstellendes/-fragendes L.; Forschend-entwickelndes L.; Präkonzeptgeleitetes L.; Historisch-genetisches L.; Historisch-problemorientiertes L.; Problembasiertes L. (PBL); Entdeckendes L. (EL); Projektorientiertes L.; Spielerisches (inzidentelles) L.; Technisch-optimierendes L.; ...	z.B.: Präsentationswechsel; Strukturierungshilfen; Kommentatorenwechsel; Positionswechsel (Poxemik); Stimmführungs-, tönungswechsel (Prosodie); Erscheinungsbildwechsel; ...	z.B.: LV; UG; L-/S-Exp.; Demo; Referat; Stationenarbeit; Lernzirkel; Expertenpuzzle; Forschungszyklus etc.

Tab. A3: Methodikunterscheidungen in Beispielen

Hinsichtlich eines Methodenspektrums, welches zwar als Angebot ausreichend vielfältig beschrieben (Peterßen, 1999), jedoch nur sehr ungenügend implementiert wird, da diesem Import in das eigene Methodenrepertoire kaum „Erfahrungslernen“ vorausgeht bzw. zugrunde liegt, stellt Klippert eine Übersicht zur Verfügung, die wiederum das Ausprobieren erleichtern kann (Klippert, 2015, S. 302)

In diesem Kontext soll der Hinweis erfolgen, dass sich gängige methodische Entscheidungen sowie Methodenerprobungen aufeinander beziehen bzw. auseinander heraus entwickeln lassen, etwa von der typischen Einzelarbeit über „Think-Pair-Share“¹⁰⁴ zum Gruppenpuzzle (Tab. A4). Eine vergleichbare Darstellung „ausgewählter Methodenwerkzeuge, aufgereiht nach zunehmender Komplexität und Verwendung im Kommunikationsprozess“, findet man bei Sommer et al., 2018, S. 361.

So kann etwa Gruppenarbeit „kooperativ, kompetitiv oder individualistisch ausgerichtet sein“. ... „Damit wird jeweils festgelegt, wie die Ziele einer Gruppe erreicht werden können. *Kooperatives Lernen* (KL, engl. *cooperative learning*) kennzeichnet Gruppen, deren Mitglieder die Lernziele nur gemeinsam (*interdependent*) erreichen. Um erfolgreich zu sein sind sie darauf angewiesen, intensiv zu interagieren und sich gegenseitig zu unterstützen. ... *Kompetitives Lernen* kennzeichnet dagegen Gruppen, deren Mitglieder die Lernziele nur im Wettbewerb untereinander, d.h. konkurrierend erreichen können. Mitglieder solcher Gruppen rivalisieren um die Zielerreichung, unterstützen sich dabei nicht und interagieren insgesamt weniger intensiv als in kooperativen Gruppen (...). ... *Individualistisch* bedeutet, dass der Lernerfolg eines Mitglieds weder positiv noch negativ mit der Zielerreichung und dem Lernerfolg anderer korreliert (Neber, 2018).

¹⁰³ Will die Lehrkraft mit Hilfe methodischer Variationen zudem auch Anforderungen an die Inklusion im laufenden Unterricht erfüllen, etwa indem unterschiedliche Reaktionen auf individuelle Verstehensleistungen gesetzt werden, so fände hier der Ausdruck „inklusive Momente“ (Heimlich, 2017) Anwendung. Und der erinnert wieder an das Werk von Friedrich Copei: „Der fruchtbare Moment im Bildungsprozess“ (1962) bzw. von Friedrich Winnefeld: „Pädagogischer Kontakt und pädagogisches Feld“ (1971) → 'Der fruchtbare Moment ist das Ergebnis eines wohlverstandenen pädagogischen Kontakts im pädagogischen Feld'

¹⁰⁴ Think = Einzelarbeit, Pair = Gruppenarbeit (meist Dyaden), Share = Zusammenkunft im Plenum

Auftrags- erstellung durch L.	Methodische Formate								
	Bezeichnung	SuS/Auf- gabe-Be- ziehung S/A	Bearbeitungsstufen			Ergebnisbehandlung			
Aufgabe			1	2	3	Ergebnis- präsen- tation	Sy- nop- se	Aus- spra- che	Korrektur
def.	EA Einzelarbeit	1S 1A	Bearbeitung			EA			+
def.	GA Gruppenarbeit TPS Think Pair Share	1S 1A	Brain- storming	2S 1A	Bear- beitung	xGA	+	(+)	+
X def.	GA TPS	x2S yA	Bearbeitung -Stationen -Lernzettel			xGA (Laufzettel)	+	(+)	(+)
def.	GA koPIS Kollaboratives Peer-Interaction- setting	1S 1A	Bearbeitung	4S 1A	1 gemein- same Lösung	xGA	+	+	+
def. mit 4 Teilauf- gaben	GA EP Experten Puzzle	4S 4A	4S 1TA	Bear- beitung	4S 4S Expertise- lösung	xGA	+	+	-
offen, komplex	GA PU Projekt-U.	xS yA Arbeits- teilung	diff. xS yA- Konzept	Bear- beitung	Projekt- aus- führung	Produkt- präsentation	-	-	-

Tab. A4: Im obigen Schema werden gängige Methoden zur Bearbeitung von Aufgaben aufeinander bezogen. Damit werden ihre Verwandtschaft und die fließenden Übergänge zwischen ihnen erkennbar.

Von oben nach unten gelesen, zeigt sich eine Zunahme an Komplexität, an lehrerorientierter Vorbereitung sowie an zeitlichem Aufwand. Die Übergänge sind fließend und innerhalb der definierten Methodenbezeichnung kann mit Blick auf die SchülerInnenzahl variiert werden.

Hinsichtlich der Rolle der Lehrkraft, erkennt man nach unten hin die zunehmende Öffnung des Unterrichts. Handelt es sich oben um ein sehr geschlossenes Format, das sich auf die Einzelleistung des Individuums bezieht, so findet beim Experten-Puzzle und dann beim Projekt- oder projektorientierten Unterricht eine deutliche Ausweitung der Gruppenleistung und der Verantwortlichkeit jedes einzelnen Lernalters für den eigenen Lernerfolg statt.

Im konkreten Unterrichtsgeschehen sollte es zu einem variantenreichen Einsatz dieses methodischen Musters kommen. Diese Makromethodik wird dann mit mikromethodischer Verhaltensvielfalt durchsetzt. Beides zusammen beschreibt den so intensiv beschworenen „Methodenwechsel“ und damit die Maßnahmen, welche in erster Linie dazu dienen, die Aufmerksamkeit sicher zu stellen und damit die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses auszunutzen bzw. zu fördern.

Eine, wenn auch wichtige Methodenvarianz kann in ihrer Wirkung auf die fortgesetzte Sicherstellung der Aufmerksamkeit unterstützt werden durch didaktische makro- und mikrostrukturelle Aufbereitungen der Inhalte (Tab. A5).

Makrostrukturen sind meist vorgegeben und dienen der Systematisierung und Generalisierung von Vorschriften und Planungen, etwa in Form von Lehrplänen und Bildungsstandards. Mikrostrukturen ergeben sich aus den Anordnungen inhaltlicher Details zu übersichtlichen Verstehens- oder Sinneinheiten, welche in ihrer jeweils erweiterbaren Gesamtheit und Komplexität dem kreativen Denken und zielführenden Handeln zur Verfügung stehen.

Makrostrukturierung	Mikrostrukturierung	Strukturierungsbausteine
Unterrichtsfelder Kompetenzbereiche der Bildungsstandards; Basiskonzepte; Lehrplan; Halbjahresplanung; Lehrgang; Unterrichtseinheit; Stundenbild → Artikulation	Trennung von Lern- & Leistungssituation; Reflexion von Lernergebnissen (creative stopp points; CSP, ...); Genussphasen zur Motivationssteigerung; Gesprächsführung; Interventionen	Repräsentations- formen (Tab., Abb., Diagramme etc.)

Tab. A5: Strukturierungsunterscheidungen in Beispielen

Makromethoden und –strukturen beschreiben die planbaren, klar erkennbaren Elemente des Unterrichts. Sie können von außen beschrieben und aufeinander bezogen werden. Ihre Organisation folgt dem konzipierten Lehrernweg, hin zu den Lehr- und Lernzielen einer Unterrichtsstunde oder –einheit. Damit entsprechen sie in einem sehr weiten Sinn der „Sichtstruktur“ („sight structure“; visible structure“; Oser & Baeriswyl, 2001) als „eine für Planung oder Durchführung brauchbare Beschreibung des Unterrichtsgeschehens in ausgewählten Aspekten“ (Reyer, 2003, S. 50) bzw. der „Oberflächenstruktur“ („surface structure“; Chomsky, 1965) als „alles, was direkt beobachtbar ist“ (Reyer, 2003, S. 56) oder als alles, was sich aus den professionellen Entscheidungen der Lehrperson konkret, „phänotypisch“ ergibt (Schmit & Kizil, 2014).

Die als Mikromethoden und –strukturen zu bezeichnenden Unterrichtselemente können sodann den „Basisstrukturen“ (Oser & Patry, 1990) und deren „Sequenzierung“ als eine „Verbindung pädagogischer Leitgedanken ... mit psychologischen Gesetzmäßigkeiten des Lernens“ (Oser & Sarasin, 1995, S. 17) zugeordnet werden, jedoch eher im Sinne von Äußerungen spontaner, reaktiver und zielorientierter innerer Absichten des Lehrenden auf der Grundlage seiner Expertise. Sie lassen sich in gewisser Weise analogisieren mit den „Tiefenstrukturen“, welche als ‚latente Strukturen oder theoretische Begründungen (Regelhaftigkeiten, Gesetze etc.) mit Merkmalen der Oberflächenstruktur verknüpft sind‘ (Reyer, 2003, S. 57)¹⁰⁵.

¹⁰⁵ Vgl. auch: Klingberg (1975): „Äußere und innere Seite der Unterrichtsmethode“.

Zusammenspiel von Strukturierung & Methodik



Abb. A20: Beispiele für die Zusammenwirkung aller vier Varianten im Bereich von Methodik und Strukturierung.

Wollte man beide Makro- und Mikroebenen aufeinander beziehen, so ließe sich der Oser'sche Begriff der „Unterrichtschoreographie“ einsetzen. Sie bezeichnet „den Entscheidungsspielraum einer Lehrkraft und gleichermaßen die Entscheidungsanforderungen an sie, Unterricht konkret vor dem Hintergrund theoretischer Vorgaben und allgemeiner Zielsetzungen so zu gestalten und durchzuführen“, dass er sich als Synopse aus „Freiheit und Strenge“ (Reyer, 2003, S. 52) manifestiert (Abb. A20). Als konkretes Ziel für die systematische Abwechslung und Weiterführung der genannten Ebenen weist Klippert (2000) die Entwicklung des „Eigenverantwortlichen Arbeitens“ (EVA) aus. Kleinschrittig beginnend in Form von mikromethodischen „Arbeitsinseln“ (S. 179), kann dann über die Ebenen „erschließend, produktiv, kommunikativ und explorativ“ zunehmend Verantwortung für die eigene Lerntätigkeit übernommen werden. (vgl. hierzu auch: Schuster, 2021). Auf der Basis von unterrichtlichen Maßnahmen zur Aufmerksamkeitsförderung können die Leistungen des Arbeitsgedächtnisses (Chunking) unterstützt werden.

A 5.3 „Chunking“

Die Arbeitskapazität des „Working Memory“ (WM) ist nach Erkenntnissen der Instruktionspsychologie begrenzt. Das Ausmaß der Begrenzung ist in der Diskussion¹⁰⁶. Von höchstens neun bis höchstens fünf reichen die Angaben von gleichzeitig verarbeitbaren Sinneinheiten („chunks“¹⁰⁷; Miller, 1956; Simon, 1974; Case, 1999). Die ‚Cognitive Load Theory‘ (CLT) ist eine der Theorien zum Lehren und Lernen, welche sich diesem Sachverhalt anzupassen versucht. Dabei differenziert sie zwischen folgenden unterschiedlichen Belastungen des WM beim Erkennen der Aufgabenstellung:

- intrinsic load aus zusätzlichen, nicht erforderlichen (redundancy effect: Unnötige Infos identifizieren und eliminieren) bzw. erleichternden, jedoch fehlenden Angaben (split-attention effect: Beziehungen zwischen Fakten herstellen) bilden zusammen die
- „extraneous load“, welche die
- „germane load“, also die für die Aufgabenverarbeitung tatsächliche Netto-Kapazität des WM einschränkt.

Lehrlernsituationen sollten demnach so gestaltet werden, dass diese Netto-Kapazität möglichst maximiert ist¹⁰⁸, wobei gilt: „Je wichtiger und neuer Dinge sind, desto weniger können wir pro Zeiteinheit aufnehmen“ (Roth, 2012¹⁰⁹). In der Regel umfasst die zeitliche Kapazität des Working Memory 2 bis 30 Sekunden.

In den ersten 0.5 Sekunden wirken Aufmerksamkeit und Emotionen zusammen. Positive Emotionen erhöhen die Aufmerksamkeit und erleichtern in Kombination mit intensiver Wahrnehmung (Geräusche, Farben, Gerüche ...) das Erinnern.

Hierzu lassen sich zwei Erinnerungsfehleleistungen unterscheiden: Der „Déjà-vu-Effekt“ tritt auf, wenn eine unbekannte Situation aufgrund von Ähnlichkeiten mit einer tatsächlich erlebten als bekannt markiert wird. Der gegenteilige „Jamais-vu-Effekt“, bei dem man das Vorgestellte als bekannt identifizieren sollte, man es jedoch als fremd empfindet, beruht auf dem Fehlen des (positiven) emotionalen Inputs, der mit vertrauten Erlebnissen einhergeht. Hierin könnte eine Ursache für die verringerte Merkleistung von chemischen Lerninhalten bestehen, welche unter aversiven Lehrlernbedingungen (zu schnell, zu unverbunden, lieblos, mit fachlicher Unsicherheit der Lehrkraft) vermittelt worden waren! Analog gilt, „dass wir verschiedene Elemente um so besser für kurze Zeit in unserem Gedächtnis behalten können, je *unähnlicher* sie in ihren ... Inhalten sind“ (Roth, 2001, S. 156): ‚Nur was sich unterscheidet, kann sich ergänzen‘.

¹⁰⁶Case (1999) spricht von „executive processing space (EPS). Dieser exekutive Verarbeitungsspeicher „ist als die maximale Anzahl unabhängiger Schemata definiert, die eine Person im Zustand höchster Aktivität aufrechterhalten kann, während sie einem Ziel zustrebt, über das eine exekutive Entscheidung getroffen werden muß“

¹⁰⁷Unter „Chunk“ versteht man in der Hirnforschung kleinste „Sinneinheiten“ („units of sense“), die als Fakten, Konditionen oder Funktionen zur gleichzeitigen Bearbeitung von Problemstellungen im Arbeitsgedächtnis herangezogen werden können. Ihr themenorientierter Umfang und ihre Komplexität nehmen im Verlaufe von Lernvorgängen zu, nicht hingegen die Anzahl bei synchronem Einsatz. „Chunks“ lassen sich sinngemäß auch vergleichen mit den „Assimilationsschemata“ von Aebli (1976; S. 86) bzw. mit den „Schemata“ von Sweller (1994) oder mit der „inhaltlichen Breite des Verständnisses“ im „Modell der Dynamik von Lern-Prozessen“ aus von *Aufschneider* (2003), zit. aus Schecker & Parchmann (2006, S. 57)

¹⁰⁸Was diese Optimierung angeht, so gilt: „Das beste Training für unsere Intelligenz ist und bleibt ...- sie einzusetzen“ (Gehirn & Geist 4 (2013) 37)

¹⁰⁹Gerhard Roth in einem Interview mit Fritz Schäffer (BLLV): „Je mehr Stoff, desto schneller versagt das Gehirn“ (Bayerische Schule (2012)5, 24-25)

Da die Kapazität des „Working Memory“¹¹⁰ ab dem 16. Lebensjahr mit der synchronen Verarbeitung von etwa sechs Sinn- oder Bedeutungseinheiten ihr durchschnittliches Maximum erreicht hat, heißt das grundsätzliche Ziel für den Unterrichtenden, den jeweiligen Umfang der Chunks sukzessive zu vergrößern („Chunking“¹¹¹) und nicht -wenn eigentlich unnötig- deren Anzahl.

Im folgenden Beispiel (Abb. A21) soll verdeutlicht werden, wie eine „Chunkvergrößerung“ praktisch erfolgen bzw. ausgelöst werden kann. Im Rahmen der Besprechung der „Energetik chemischer Reaktionen“ wird meist zuerst das Merkmal „exotherm“ und als eine Erweiterung das Merkmal „Aktivierungsenergie“ eingeführt. Dies gelingt besonders eindrucksvoll anhand der Abfolge zweier Experimente:

1. Kupferchlorid (kristallin, Kristallwasser) wird in einem weiten trockenen (!) Becherglas an einer Seite deponiert. Gegenüber wird etwa dieselbe Menge Zinkpulver eingefüllt. Mit einem Messfühler wird die Raumtemperatur gemessen. Anschließend wird das Becherglas hin und her bewegt, sodass sich die Substanzen mischen. Augenblicklich setzt eine sehr heftige Reaktion ein. Die Temperatur steigt auf über 100 Grad und der entstehende Kristallwasserdampf kondensiert an der Innenseite des Becherglases. Bei absoluter Ruhe im Raum kann man auch ein deutliches Zischen vernehmen. Nach Abflauen der Reaktion erkennt man einen dunkelroten Feststoff (Cu) und die türkise Farbe des Kupferchlorids ist verschwunden.
2. Man mischt Schwefelpulver (1 g) und frisches Kupferpulver (4 g) in einer reibschale. Es passiert nichts. Jetzt nimmt man das Pistill und reibt sehr kräftig mit großem Druck über das Pulvergemisch. Plötzlich entsteht eine Stichflamme und der Inhalt der Reibschale wird stahlblau (Kupfer(I)sulfid).
3. Man kann nun weiterfahren mit Fe/S-, dann Zn/S-Gemengen. Hierbei muss im ersten Fall das Gemisch auf einem Porzellannetz an einer Stelle angezündet werden, im zweiten Fall bedarf es eines längeren Erhitzens auf einem Dreifuß, wobei man allerdings damit rechnen muss, dass die explosionsartig einsetzende Reaktion zu einem sehr verschmutzten Abzug führt!!!

Mit dieser Vorgehensweise wird einmal die Besprechung von „exotherm“ von der Besprechung „Aktivierungsenergie“ abgetrennt, sodass nicht gleichzeitig zwei Merkmale verarbeitet werden müssen. Erst nach dem jetzt Verstandenen werden die beiden Phänomene logisch miteinander verbunden. Im Kontext der weiteren Reaktionen zeigt sich, dass alle Reaktionen durch eine E_A gekennzeichnet sind, dass die E_A der ersten Reaktion jedoch offenbar unterhalb der Zimmertemperatur liegt und die der anderen Reaktionen deutlich darüber.

¹¹⁰Arbeitsgedächtniskapazität (aus Speicherung von und mentale Operationen mit Chunks: „germane load“) = Aufmerksamkeitskontrollmechanismus (=Zentrale Exekutive) + Kurzzeitgedächtnisspeicherkapazität

¹¹¹Im lehrernwissenschaftlichen Kontext kann „**Chunking**“ das Größerwerden der jeweils vermittelten „Sinneinheiten“ bedeuten, die in einer auf 6 (aus: 7 ± 2) limitierten Anzahl im „working memory“ (WM) verarbeitet werden können (Miller, 1956).

Im Chemieunterricht gibt es zahlreiche Möglichkeiten (besser: Notwendigkeiten), solche „Units of sense“ abzugrenzen und dann auch explizit miteinander zu verbinden → „Nur, was sich unterscheidet, kann sich ergänzen!“

Dies wiederum entspricht aktuellen Forderungen aus der Hirnforschung: Mit Martin Korte stellt man fest, „es sei eine Illusion zu glauben, dass wir durch die Omnipräsenz von Information im ‚Paradies des Wissens‘ angekommen sind: Ungefilterte Information ist kein Wissen und schon gar keine Bildung. Stattdessen müsse künftig an Schulen und Universitäten viel stärker als bisher vermittelt werden, ‚wie man Informationen bündelt, vernetzt und kritisch in sein Weltbild einbaut‘ (aus einer Buchbesprechung von Korte, M. (2017). Wir sind Gedächtnis. München: DVA durch Elke Maier in MaxPlanckForschung (2018) 2, 85.

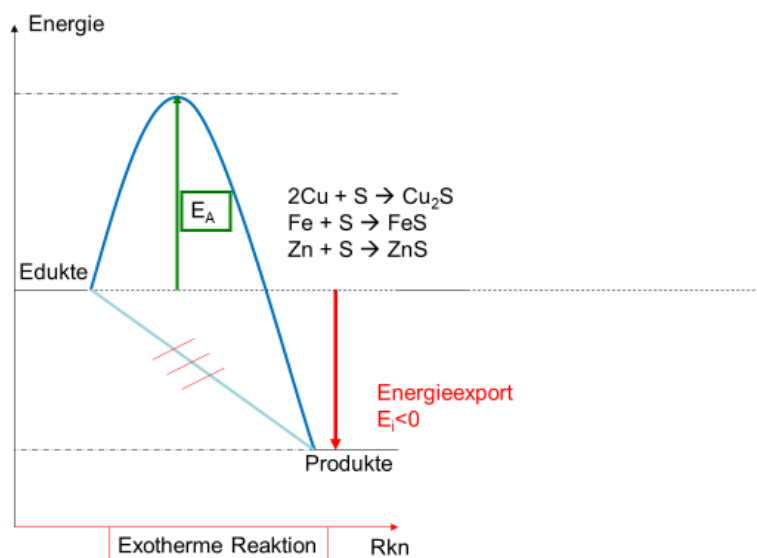
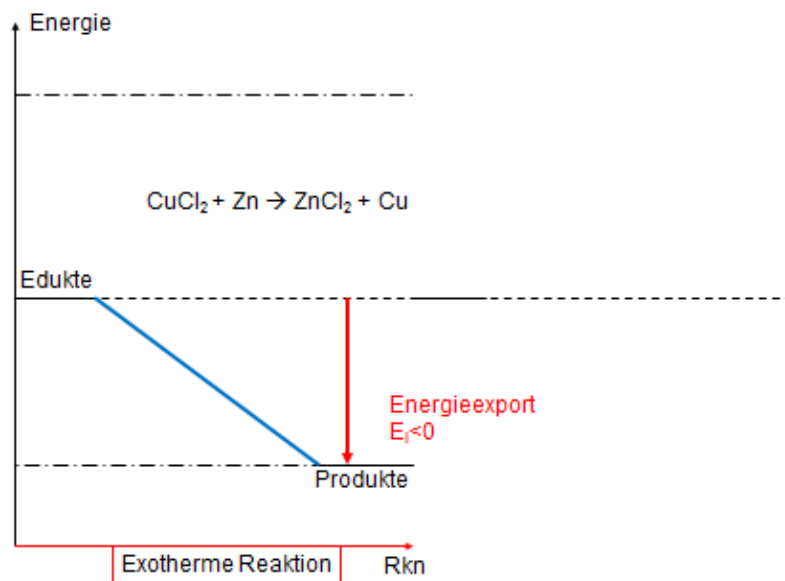


Abb. A21: Die Herleitung einer Aktivierungsenergie E_A im Zuge der Behandlung einer exothermen Reaktion innerhalb des Themenbereichs „Chemische Energetik“ kann sehr leicht über die Erstbehandlung einer exothermen Reaktion, welche spontan bei Raumtemperatur abläuft, erfolgen. Erst danach wird eine Reaktion besprochen, die diese Spontaneität nicht besitzt, sondern erst nach Zufuhr von Wärmeenergie freiwillig bis zum Ende abläuft (Cu/S, Fe/S bzw. Zn/S). Damit wird der Chunk „exotherm“ mit dem Chunk „Aktivierungsenergie“ zum neuen Chunk „Energetik chemischer Reaktionen“ erweitert¹¹². Das geschieht explizit und damit bewusst!

¹¹² Ein weiteres Beispiel wäre die Einfügung des „kontinuierlichen Zerteilens eines Feststoffkörpers“ zur Vergrößerung der Oberfläche, und zwar bevor man einen Stoff ganz einfach zu lösen versucht. Lösen wäre dann die Zuhilfenahme eines Mittels, um einen Feststoff in seinen größtmöglichen Verteilungsgrad zu überführen. Aus dem Zweischnitt Feststoffkörperlösen wird dann ein Dreischnitt: Feststoffkörper mit kleiner Oberfläche, mechanische Zerteilung bis zum Pulver, maximale Zerteilung durch Zuhilfenahme eines geeigneten Lösemittels! Diese explizite Argumentationsgliederung erscheint nur vordergründig als trivial; es handelt sich aber um eine klare didaktische Verstehenshilfe.

Anschließend gilt es, diese Sinneinheiten in ihrer Anwendung von den konkreten Lernsituationen unabhängig zu machen, sie zu emanzipieren oder zu „entkapseln“ (Abb. A22). Dieses *Knowledge-mapping* steht für das Verorten von domänenspezifischen Kenntnissen (Fakten, Beziehungen) innerhalb einer inhaltlichen Systematik mit der Option hochflexibler Anwendbarkeit. Der damit verbundene Gewinn an Unabhängigkeit von der Chronologie des Lernprozesses führt nicht nur zur Bildung neuer Wissensnetze, er fördert auch die Denklust. Sie wird gefördert durch ein umfangreiches und kombinierbares Wissen. Damit können Probleme nicht nur leichter entdeckt, sondern es können durch kreative Neukombinationen auch mehrere Lösungsvorschläge leichter zur Verfügung gestellt werden und Kreativitätsfreude erzeugen. Nach Precht (2018) ist „Kreativität in den meisten Fällen des Lebens das, was man einsetzt, wenn man eben nicht genau weiß, was dabei herauskommen soll“ (S. 181). „Was man sich selbst erfinden muss, lässt im Verstand die Bahn zurück, die auch bei einer anderen Gelegenheit gebraucht werden kann“ (Georg Christoph Lichtenberg 1742-1799).

Ein Problemlöseauftrag wird u. a. durch einen milden Eustress („Lampenfieber“) unterstützt, welcher das „Stressverarbeitungssystem“ und damit die Intelligenzfunktion des Gehirns zur Problemlösung antreibt. Das Gewährwerden der eigenen Problemlöseleistung („AHA-Erlebnis“; „One-shot-Learning“), etwa als Synopse von bislang unverbundenen Details ließe sich mit Copei (1962) auch als „fruchtbarer Moment“ im Lern- und Bildungsprozess bezeichnen¹¹³, wobei es sich hier um das handelt, was Klafki als „Kategoriale Bildung“ bezeichnet, nämlich das Zusammenspiel von „formaler Bildung“ (überfachlich) und „materialer Bildung“ (fachlich), aufgrund dessen der Mensch „nicht nur den ... Anforderungen der modernen Zeit entsprechen kann“ ..., sondern auch bereit ist, „an ihrer ... Weiterentwicklung mitzuwirken und sich mitverantwortlich zu wissen“ (Drechler, 1967, S. 52), weil er „sich etwas einleuchten“ ließ, „aufgeklärt“ wurde (Ross, 1991), `Ein- und Durchblick´ erlangt¹¹⁴.

„Entkapseln“ ist eine Leistung des Arbeitsgedächtnisses und des „Zwischengedächtnisses“ (intermediäres Gedächtnis), welches eine Zeitkapazität von 30 Sekunden bis 30 Minuten aufweist. Beide Vorstufen des für das schulische Lernen so wichtigen deklarativen oder expliziten Gedächtnisses bearbeiten sogenannte episodische Gedächtnisinhalte (konkrete und individuelle Erlebnisse) sowie semantische Inhalte (erlebnisunabhängige Fakten, etwa die Summenformel von CO₂). Dabei geht es im Chemieunterricht vor allem darum, episodische Inhalte durch Wiederholung, Clusterung und Anwendung in multiplen Kontexten in semantisches Wissen umzuwandeln. Dieses findet dann Eingang in das Langzeitgedächtnis, welches in seiner Aufnahmekapazität unbegrenzt ist. Auch Klauer & Leutner (2007) fordern in ihrem „Lehralgorithmus“ unter „Sorge [des Lehrenden] für reduktive Prozesse“ das „Zusammenfassen zu größeren Einheiten“ und das Ausbilden von Netzwerken (S. 68).

Weil diese Einheiten durch didaktische Arbeit portioniert und damit „arbeitsgedächtnisfreundlich“ (Roth, 2013, S. 127) angeboten und mit Adaptionen (Assoziationshilfen) versehen werden müssen, ist `schnelles Denken eben nur langsam zu lernen´ (Anton, 2013a; vgl. auch Kahneman, 2012) (Abb. A22).

¹¹³ „Denn die Erkenntnis, die im fruchtbaren Momente aufleuchtet, ist nur wie das Aufleuchten einer Leuchtrakete über einem dunklen Gelände, das für einen Augenblick das ganze Feld in allen Einzelheiten und deren Zusammenhang sich überblicken lässt und dann verlöscht, alles wieder in Dunkel hüllend. Wird der Überblick nicht festgehalten, so vermag nichts das Bild zurückzurufen und in der Seele bleibt nur ein verschwommener Eindruck“ (S. 68).

¹¹⁴ ... so wie Licht ins Dunkel gelangt, „helle Köpfe“ entstehen! Es handelt sich um Lichtmetaphern!



Abb. A22: In einer Unterrichtsstunde lernen SuS nicht nur den von der Lehrkraft ausgesuchten Inhalt, sondern zusätzlich noch eine gewaltige Fülle an Begleiteffekten, die mit dem Prozess der Stoffdurchnahme verbunden sind. Neben dem expliziten Wissen, das von Lehrern in der Planung einer Stunde den höchsten Bewusstseinsgrad erlangt, wird auch implizites Wissen erlangt. Nach Weinert handelt es sich dabei um etwa 50% des insgesamt Gelernten. Neben dem impliziten Fachwissen gibt es aber auch das fachunabhängige Wissen, welches wir in die Verarbeitung einer komplexen Unterrichtsstunde integrieren. Dies kann oftmals so intensiv geschehen, dass das Fachwissen an die Charakteristik der Lernsituation so eng gekoppelt wird, dass es für den Schüler und die Schülerin kaum mehr möglich wird, das hervorzuhebende Fachwissen aus diesem Verbund zu lösen und in einer anderen als der Lernsituation anzuwenden. Damit bleibt dieses Wissen an die Ursprungssituation gebunden und kann nicht mehr flexibel und unabhängig von seiner Genese zur Problembewältigung herangezogen werden. Auf diese Weise gerät es zum „trägen Wissen“! Als besonders tragisch erweist sich diese Entwicklung dann, wenn das emotionale Lernumfeld negativ aufgeladen ist. „Lerninhalte, die in schäbigen Klassenzimmern, in einer konflikträchtigen und furchteinflößenden Lernumgebung von lustlosen Lehrern vermittelt werden, haben ... eine geringe Chance, dauerhaft im Gedächtnis verankert zu werden“ (Roth, 2003, S. 27).

Diese „Einkapselung des Wissens“ in eine meist chronologische und lineare Struktur sowie in ein Umfeld von eher unwichtigen Bedingungsfaktoren des Lernens muss rechtzeitig aufgebrochen werden. Aus diesem Muss erwächst eine didaktische wie mathetische Aufgabe an die LehrerInnen. Sie besteht in der Hervorhebung der bedeutsamen Inhaltsbereiche einer Stunde und in deren Verknüpfung sowie in der Herstellung von Beziehungen zwischen diesen dann aus mehreren Stunden einer Einheit heraus gelösten Stoffinhalten. Hierbei verringert sich die Detaillast und es lassen sich so genannte Heuristiken („Faustregeln“) entdecken, die das jeweilige Stoffgebiet als anwendbar und auch außerhalb des Faches brauchbar und notwendig erscheinen lassen.

Meist kann das gelingen durch die Anfertigung von Schemata, Tabellen, Fließbildern in Form von Übersichten, Postern, advance organizer etc. Diese Verfahren schaffen eine gut anwendbare Basis von flexiblen und lernemanzipten Wissensinhalten, die beliebigen Aufgabenstellungen zur Verfügung gestellt werden können. Dieses hochflexible und stets neu kombinierbare Expertenwissen wäre dann das erklärte Ziel von modernem Unterricht. (Vgl. Kap. D). Die eindrucksvollen Leistungen der Gedächtnisbildung und der damit verbundene hohe Anspruch an das Lernen erfordert „eine radikale Reduktion der Unterrichtsinhalte auf einen absolut notwendigen Kernbestand an Wissen“ (Roth, 2013, S. 127) sowie eine „stark veränderte Unterrichtsstruktur“ (S. 131). Damit kann primär denen geholfen werden, deren Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit niedrig ist, deren Intelligenz es zu fördern gilt und denen das Lernen durch vielerlei Erfolgserlebnisse (nicht nur durch Noten, sondern durch ein differenziertes und, neue Optionen eröffnendes „Feedback“) schmackhaft gemacht werden soll. Die Rede ist hier von etwa zwei Drittel der SchülerInnenenschaft. Solches „compacting“ (Huser, 2008) entspricht dem Überspringen von mehreren verinnerlichten Denk- und Arbeitsschritten, beschleunigt also das Denken und bildet die Grundlage für das „enrichment“ als verstärkte Nutzung und Erweiterung von selbstgesteuerten Lernphasen. Vor diesem Hintergrund lassen sich zwar nicht alle, aber dennoch ein Teil der bisher als eher fachimmanent gesehenen Schwierigkeiten beim schulischen Lernen im Fach Chemie begründen. Um den Konnex zwischen Lehrleistung und Lernbereitschaft aktiv zu gestalten, bedarf es vornehmlich intrinsischer („Drang von innen“), jedoch auch extrinsischer („Drang von außen“) Motivation und somit u.a. der Freilegung von Nutzen und Bedeutungen der angestrebten Verhaltensänderung (Lerneffekt) für die jeweils betroffenen LernerInnen (Anton, 2008, S. 134).

Auf den Punkt bringt es der Satz: „Wer Leistung fordert, muss Sinn bieten!“ (Prof. Dieter Frey, *Leiter des LMU Centre for Leadership and People Management*). Kröll (2002) ergänzt: „Die Handlungsgrenzen, die durch das individuelle subjektive Wissen gegeben sind, zu verschieben, indem z.B. das subjektive Wissen zunächst aufgedeckt und anschließend modifiziert oder erweitert wird, könnte ein Ziel jeder Lehr-Lernplanung sein“ (Kröll, 2002, S. 101).

A 5.4 Lerntaktung

Die Beachtung der lernrelevanten Faktoren `Kapazität` `Zeit` und „Entkapselung“ wird noch unterstützt durch die Forschungsergebnisse aus der Neurophysiologie. Nervenzellen bilden Netzwerkeile als kleinere Untereinheiten, innerhalb derer 1 Nervenzelle mit ca. 10 000 anderen erregend oder hemmend verbunden ist. Diese kommunizieren im Rhythmus von 30ms-Oszillationen miteinander (Singer, 2002). Solche Zeitrhythmen bilden die Basis für „Aufmerksamkeitseinheiten“ von 3 Sekunden. Zum Selbsterleben betrachte man den Würfelumriss und warte auf das, was passiert! (Abb. A23)

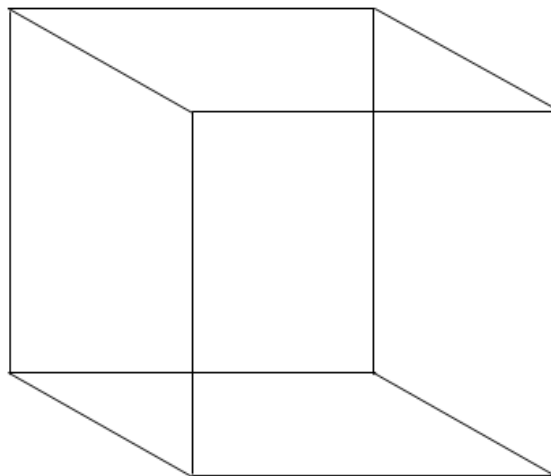


Abb. A23: Nach ca. 3 (max. 9) Sekunden sieht man den sogenannten „Necker-Würfel“ von unten, wenn man ihn vorher von oben gesehen hat!

Pöppel (2000: Vortragsmanuskript; Rötger, 2004) definiert so die `Gegenwart`. Bei 86.400 Sekunden, die einen 24-Stunden-Tag ausmachen, registriert das Gehirn die Gegenwart bis zu 28.800mal.

Denkleistung & Lerntaktung

Aufgabenbearbeitung	Taktung innerhalb 20 Min (Beschäftigungseinheit)	Konsequenz
Aufgabe in Teilaufgaben zerlegt	5 Min mit Erfolg / Misserfolgsäußerung Motivationsrhythmus (Entwicklung einer Lösungsstrategie)	Lehrernwege strukturieren Für leistungsschwache SuS sind offene Unterrichtssituationen weniger geeignet
Teilaufgabe in Problem- einheiten zerlegt	30 Sec Konzentrationsrhythmus (Entwicklung eines Gedankengangs)	Übungsaufgaben mit Ähnlichkeiten bezüglich der Lösungswege In Prüfungen nichts gänzlich Anderes
Problemeinheiten in Aufmerksamkeits- einheiten zerlegt	3 Sec Wahrnehmungsrhythmus (Faktenbewertung)	Zusammengehörigkeiten betonen, Übersichten, Schemata „Knowledge-Mapping“

Tab. A6: Die Tabelle zeigt von unten nach oben gelesen die Zusammenhänge zwischen Aufgabenbearbeitung, zeitlicher Rhythmisierung der Denkleistungen und den Konsequenzen für die didaktischen Entscheidungen bei der Gestaltung von Lern- und Prüfungsleistungen

Alle 3 Sekunden kann eine maximale Anzahl von Chunks durch das Arbeitsgedächtnis bewertet werden. Etwa zehn 3-Sekunden-Einheiten bilden eine übergeordnete Konzentrationseinheit von 30 Sekunden, die wiederum einen Motivationsrhythmus von 5 Minuten und letztlich eine Beschäftigungseinheit (Konzentration auf ein definierbares Problem) von 20 Minuten ermöglichen (v. Aufschnaiter, 2000) (Tab. A6).

Eine Folgerung aus solchen Messwerten ist die Empfehlung, unterrichtsrelevante Inhalte nach ihrer Erstdurchnahme nach 3 Minuten, 3 Stunden und 3 Tagen wieder anzusprechen, zu wiederholen, um sie so in das Wissensnetz nachhaltig einzugliedern und leichter abrufbar zu erhalten (vgl. auch Frick, 1999).

Denken ist allerdings kein einheitlicher Prozess. Ayan (2014) unterscheidet zwischen

- „Ereignissen wie Ideen und Eingebungen“, der
- „Fähigkeit, Zusammenhänge zu erkennen und weitere Schlüsse daraus zu ziehen“ und einer
- „regelgeleiteten Tätigkeit“ (S. 36).

Hieraus lässt sich die Frage herleiten, ob es hinsichtlich solcher Leistungen fachspezifische Unterschiede geben kann. Zu vermuten ist, dass es im Fachbereich Chemie mit größerer Wahrscheinlichkeit für alle drei Prozessschwerpunkte die jeweils geeigneten Herausforderungen gibt:

→ Experimente phänotypisch zu erleben, Theorielegungen zu entwickeln bzw. anzuwenden bzw. Beziehungen zwischen ihnen herzustellen und Definitionen wie Arbeitsregeln zu beherrschen und zielgenau einzusetzen.

A 5.5 Lernstrategien

Sowohl die Argumentation als flexible Beweglichkeit in den fachlichen Begrifflichkeiten (Theorieunterricht: ThU) als auch die sichere und anspruchsbabhängige Handhabung von chemischen Gerätschaften und Chemikalien (Praxisunterricht: PrU) sowie die Routinen in der naturwissenschaftlichen Arbeits- und Denkweise sind die Folgen der Entwicklung von Strategien (Lernverhaltensweisen) und gelten damit als wichtige Unterrichtsziele. Die Ausbildung von kognitiven und von metakognitiven Lernstrategien erfolgt bei Kindern und Jugendlichen in Stufen (Seufert et al., 2007). Sie ist abhängig von der Entwicklung der Fähigkeit, den eigenen Lernprozess zu reflektieren, also von metakognitiven Kompetenzen (Tab. A7). Die Ausbildung effizienter Lernstrategien wird unterstützt durch eine möglichst selbstbestimmte Lernmotivation bzw. ein hohes Interesse (Wild, 2003).

In diesem Zusammenhang muss nach heutigen Erkenntnissen die Lernstrategie vom Lerntyp unterschieden werden. Den reinen Lerntyp, den auditiven, visuellen, haptischen Typ gibt es nicht, vielmehr bewegt sich jeder Mensch in einem Mittelfeld, in dem alle Aufnahmekanäle in einem ausgewogenen Mittelmaß an der Informationsaufnahme und –bewertung beteiligt sind. Nach Spinath (2016) sind die beiden Lernstrategien: Lernen „in kleineren Etappen“¹¹⁵ und „Abfragen mit Quizkärtchen“ bei den meisten Menschen effektiv und vom „Lerntyp“ unabhängig (S. 37).

Entwicklung von Lernstrategien

Phase	Bezeichnung	Merkmale
1	Mediationsdefizit	Ausbildung kognitiver Fähigkeiten für die Strategieweiseausführung zu gering → kein Strategieweiseinsatz → kein Training, keine erfolgreiche Instruktion (Theorie fehlt)
2	Produktionsdefizit	Kognitive Voraussetzungen vorhanden → Einsatz nur nach Aufforderung und/oder Training → Nutzung vorhandener Fähigkeiten durch Anleitung (Instruktion) (Praxis fehlt)
3	Nutzungsdefizit	Spontane Nutzung der Fähigkeit möglich, allerdings nur suboptimal → bei zu hoher und ungewohnter kognitiver Belastung (Routinen und positive Rückmeldungen fehlen)
4	Strategiekompetenz	Steigende Automatisierung und Wissensintegration führen zu funktionalem und situationsgerechtem Gebrauch (Theorie und Praxis werden verknüpft)

Tab. A7: Stufen in der Entwicklung von Strategien zur metakognitiven Kontrolle des Wissenserwerbs.

¹¹⁵ „Eine Lernperiode zwischen 10 und 40 Minuten erbringt das beste Verhältnis zwischen Verständnis und Erinnerung“ (Buzan, 1984; zit. aus Frick, 1999, 11).

Den SchülerInnen ist bei der Entwicklung solcher Strategien zu helfen. Die Hilfe kann darin bestehen, dass bei der Instruktion mit Erklärungen und Mitteilungen, die jeweiligen Denkschritte verdeutlicht, also vom Lehrer bewusst gekennzeichnet werden (→ Metakognition: Vgl. „Reflexionsfeld“). Damit wird sichergestellt, dass der Weg zurück zu den Verstehensanfängen immer wieder reflektiert werden kann („Auffassungstätigkeit“; Aebli, 1968). Für die einzelnen Lernenden können dann Verallgemeinerungen entstehen, welche die Lernwege in der Zukunft immer erfolgversprechender werden lassen, sodass Routinen entstehen. Das bedeutet wiederum, dass die Lehrperson aus einem möglichst großen Repertoire an Lernstrategien schöpfen können muss (Ruffo, 2013). Analoges gilt für die Routinisierung von Handlungsketten, wie sie etwa beim Experimentieren auftreten.

Es sei hierzu besonders betont, dass diese Lehrleistung als Hilfe zur Entwicklung und Elaborierung von individuellen Lernstrategien bei den SchülerInnen eine umfassende Lern(!)kompetenz bei der Lehrperson voraussetzt.

Gerade die ist aber bei Lehramtsstudierenden nicht ohne weiteres voraussetzbar (Ruffo, 2010): „Angehende Lehrpersonen brauchen deshalb eine Übersicht über das Spektrum von Lernstrategien, die zur Lösung von Problemen unterschiedlichster Art zur Verfügung stehen“ (S. 49) und „Nur wer sein eigenes Lernen aus Distanz betrachtend planen und regulieren kann, ist fähig, Lernprozesse anderer zu analysieren, zu begleiten und teilweise zu steuern“ (S. 48).

In diesem Zusammenhang muss auch der Begriff „Lernstil“ Erwähnung finden. Nach Coffield et al. (2004) lassen sich Lernstile auf einem „Lernstilkontinuum“ anordnen. Dieses geht „von Lernstilen als eine (relativ) stabile Persönlichkeitseigenschaft (Lerntyp) bis hin zu einer flexiblen, situationsgebundenen Auffassung von Lernverhalten (Lernpräferenz)“ (Coffield et al., 2004; zit. aus Groß (2018)). Dabei wird der aktuelle, bevorzugte Lernstil nach Keefe & Ferrell (1990) von beiden Seiten des Kontinuums beeinflusst. Nach Metaanalysen von Gregory (2005) lässt sich ein Lernstilkonzept herleiten, nach dem sich vier Typen unterscheiden lassen (Tab. A8).

	Clipboards	Puppies	Beach Balls	Microscopes
Fähigkeiten	präzise, strukturiert, sachlich, detailliert, produktorientiert	sensibel, einfühlsam, personalisierend, anschaulich denkend, intuitiv vorgehend, zugänglich	Experimentierfreudig, kreativ, unabhängig, spontan, neugierig, prozessorientiert	kritisch, fokussiert auf Lösungen, gründlich, analytisch, abstrakt denkend, eigenständig recherchierend
Bevorzugte Arbeits-situation (U-form)	konkrete Beispiele, strukturierte Umgebung, vorhersehbare Situation, Verfahrensanleitung	kooperatives Lernen, konkurrenzlose Atmosphäre, visualisierende Medien, kommunikative Situationen	Selbstbestimmt, problemorientiert, gerne offene Aufgaben, praktisches Arbeiten, Wahlmöglichkeit	Sich sicher fühlend, sachkundige Quellen nutzend, sorgfältig untersuchend, durch Vortrag lernend, überprüfend
Herausforderungen	Eigene Ideen umsetzen, sich auf neue Situationen einlassend, Widersprüche wahrnehmen, das große Bild sehend, ohne Anweisungen arbeiten	Fristen einhalten, detailliert arbeiten, Emotionen kontrollieren, Sachtexte einbeziehen, Einzelarbeit	Zeitmanagement, Arbeiten vollenden, Ideen anderer akzeptierend, Dokumentation, Anweisungen einhaltend	Hypothetische Situationen, Gruppendiskussionen, kreative Aufgaben, Ideen anderer aufnehmend

Tab. A8: Schematische Darstellung der Lernstile unter Hervorhebung der jeweiligen Tendenzen, sich mit Inhalten selbstständig zu beschäftigen und eigenverantwortlich zu lernen Lernstile im Überblick (Giffhorn, 2015, S. 218, nach Gregory, 2005, verändert)

Die Differenzierung zwischen Lernstilen eröffnet zugleich eine Möglichkeit, individuell zu fördern und damit inklusiv, also adaptiv zu unterrichten. Groß spricht davon, „den Schüler*innen mögliche (Aneignungs-)Wege aufzuzeigen und ihnen somit überhaupt erst einen Zugang zum Lerninhalt zu ermöglichen“ (Groß, 2018).

A 6 Lernfähigkeit und Lernwille

Eine weitere wichtige Aufgabe des Chemieunterrichts besteht darin, vorhandene Intelligenz fachspezifisch zu nutzen und zu fördern, indem die fachbezogenen Chunks als Keime ausgebildet, komplexiert und flexibel einsetzbar gemacht werden. Ziel ist es, den SchülerInnen erfahrbar zu machen, „wie die Welt funktioniert, wo Erkenntnisgrenzen sind und ... was Wissenschaft bedeutet: skeptisch zu sein, kritische Fragen zu stellen, Autoritäten nicht blind zu vertrauen“ (Ebert, 2008). Durch ein solches „*Teaching for Chunking!*“ gerät das `Gehirn des Schülers und der Schülerin zum Arbeitsplatz des Lehrers´. Mit solcher Hilfe geschieht die Vergrößerung der Chunks („Chunking“). Sie bewirkt nicht nur die zeitgleiche Nutzung von mehreren hochkomplexen Sinneinheiten, also Denkbausteinen, sondern schafft auch mehr Freiraum für deren mentale Repräsentationen¹¹⁶. So kann nicht nur immer komplexeres Domänenwissen konstruiert werden, sondern es werden auch größere Freiräume für dessen kreative Kombination geschaffen, was der Förderung von fachspezifischen Begabungen sehr zugute kommen kann. Es entsteht also auch ein „Spielfeld“ für neue Ideen. Damit wird Strukturiertheit die Basis für freies Denken und zugleich für das Vermeiden von Vergessen, auch wenn es glücklicherweise `keinen Mechanismus für aktives Vergessen gibt´¹¹⁷ (Moritz Helmstaedter, MPI f. Neurobiologie, 10.11.12).

Dennoch muss es ein `sinnvolles Vergessen´ geben, etwa beim Neulernen eines Namens nach der Eheschließung. Hier spricht man vom „Extinktionslernen“ (DFG-Forschergruppe: „Extinction Learning: Behavioural, Neural and Clinical Mechanisms“; Güntürkün, 2014). Der Mädchenname der Frau wird dabei bei der außenstehenden Person nicht ausgelöscht, sondern unterdrückt, der neue Name wird aktiviert. Dieser Vorgang ist allerdings kontextabhängig. In einem alten Kontext ist es also möglich, dass der neue Name unterdrückt und der alte Name reaktiviert wird (Renewal learning). Die Ausbildung von Domänenkompetenz und Kreativfreiräumen¹¹⁸ sind Ziele eines modernen und präventiven Unterrichts. In ihm kommt die adaptive Kompetenz der Lehrkraft zum Tragen. Mit ihr gelingt der situativ und an die Lernenden angepasste Wechsel zwischen direkter Unterweisung (vgl. `direct instruction´ mit  $d=0.59$  nach Hattie, 2012) und offenem Unterrichten (vgl. `progressiv education´ mit $d=0.14$ nach Hattie, 2009; Rogalle & Vogt, 2008; Fthenakis, 2009). Im Zuge dieser Gleichgewichtseinstellung gilt es, die unterschiedlichen Ausbildungsgrade des Abstraktionsvermögens (Piaget, 1992), die Tendenzen, um Erwachsenenkompetenz zu erreichen (Erikson, 2003) sowie

¹¹⁶Arbeitsgedächtniskapazität (aus Speicherung von und mentale Operationen mit Chunks: „germane load“) = Aufmerksamkeitskontrollmechanismus (=Zentrale Exekutive) + Kurzzeitgedächtnisspeicherkapazität

¹¹⁷Dennoch ist man seit Jahrzehnten auf der Suche nach aktiven Vergessensmechanismen im Gehirn. Seit Hermann Ebbinghaus (1850-1909), der die Merkleistung und damit auch die Vergessenswahrscheinlichkeit u. a. aber besonders von der Intensität der persönlichen Bezüge des Gelernten abhängig machte, versucht man, der „Long-term-Potentiation“ (LTP), die die Lern- und Merkleistung begründen soll, eine „Long-term-Depression“ (LTD) entgegenzustellen, was sich aber nicht als der Weisheit letzter Schluss oder „ultima ratio“ herausstellte. Vermutlich handelt es sich beim Vergessen lediglich um ein „Nicht-mehr-Auffinden“ vorhandener und weiter bestehender Gedächtnisinhalte durch Frequenzungleichgewichte beim gezielten Abrufen zusammengehörender Wissensfragmente (Czaja, 2010; Selnowski & Delbrück, 2013); denn eine „Faustregel“¹¹⁷, wonach gilt: `neue Dornen=lernen, Abbau von Dornen=vergessen´ wäre ... zu simpel“ (Rösch, 2013, S. 24). Neuere Untersuchungen an Mäusen zeigen allerdings, dass beim Vorhandensein definierter Phosphatasen (Calineurin, Phosphatase-1 (PP1)) durch deren Stören der synaptischen Signalübertragung das Vergessen direkt auslösbar ist (Wolf, 2013).

¹¹⁸ Vgl. hierzu den Akademiebericht Nr. 498 „Förderung von Kreativität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht“ von 2014 der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) in Dillingen

das Anstreben der jeweils nächsthöheren Anspruchsstufe (Vygotskij, 2002) situations- und individuumsgerecht auszubalancieren.

All diese Maßnahmen beanspruchen Zeit und Übung¹¹⁹, wobei diese nur dann effektiv ist, wenn sie mit relevanten, anwendungsorientierten Beispielen vertieft werden kann ($d=0.72$). Weil man nur *übt*, um in dem besser zu werden, was man a) schon gut kann und b) für das man sich besonders geeignet fühlt, muss dieser Könnensentwicklung, dem Ausbau einer Begabung besonders deutlich Zeit eingeräumt werden. Dann kann sich der notwendige Fleiß entfalten, und zwar gerade bei den Hochbegabten und bei besonders interessierten LernerInnen (Anton, 1998). Es steht zu vermuten, dass mit dem Herausnehmen des Tempos aus Instruktion und Wissensgenese ein immanentes Ziel von Unterricht, nämlich sich selbst überflüssig zu machen, besser erreicht werden kann: „Jeder Lehrer muss lernen, mit dem Lehren aufzuhören, wenn es Zeit ist. Das ist eine schwere Kunst“ (Bertolt Brecht, 1898-1956); denn „Schulisches Lernen gilt dann als besonders erfolgreich, wenn möglichst viele Schülerinnen und Schüler im Verlauf ihrer Schulzeit zu immer eigenständigeren Lernern werden, und zwar so, daß auch nach der Schule gewährleistet ist, daß sie weiterlernen werden“ (Beck et al., 1996, S. 19). Nach Polák (1996) zeigen sie dann ‚kognitive, kommunikative, soziale, motivationale und metakognitive Kompetenzen‘ (S. 7-8). „Keine zweite Herausforderung dürfte unsere Schulen und Universitäten so sehr zum Umdenken zwingen, wie die intrinsische Motivation unserer Kinder zu bewahren und zu pflegen“ (Precht, 2018, S. 169)¹²⁰. Schnelles und flexibles Denken muss also langsam generiert werden, um es fruchtbar anwenden zu können, insbesondere bei so häufig geforderten Formen des Wissenserwerbs (Vgl. Abb. A24) wie

- „problembasiertes Lernen“ (PBL; Ram, 1999) bzw.
- „Komplexes Problemlösen“¹²¹ (KPL; Fischer et al., 2012 in Greiff & Fischer, 2013; Scherer, 2014¹²²) oder

¹¹⁹ Die Tatsache, dass in der Regel gut und sicher Gekonntes langsam erworben wurde, gilt allerdings nicht nur für die Prozesse im Schulunterricht! So lautet eine Forderung aus der Festrede des damals neuen DFG-Präsidenten Prof. Dr.-Ing. Matthias Kleiner vom 4.7.2012 in Dortmund „Heute braucht Wissenschaft nichts so sehr wie Entschleunigung, Muße und Ruhe“ (Dokumentation zur Festveranstaltung im Rahmen der DFG-Jahresversammlung 2012 in: forschung (2012) 3, S. XIII). In diesem Zusammenhang ist auch interessant, dass längere Lernpausen („spacing“) die Merkleistung langfristig erhöhen. Dies scheint darauf zu beruhen, dass Lernen auf die Bildung von neuen synaptischen Verbindungen zwischen ausgesuchten Zellen beruht, dies Zeit braucht und beim Weiterlernen a) nicht überfordert wird und b) immer wieder auf dieselben Zellen zurückgegriffen werden kann. Vgl. auch: <http://www.neuro.mpg.de/audio/de>

Der Physiker und Philosoph Harald Lesch (LMU) prangert die Beschleunigung der Ausbildung im G8 an und spricht von „Neugiervernichtung durch Zeitkompression“, sodass „viel angedacht, aber wenig nachgedacht“ wird (Aus einem SZ-Bericht vom 20.6.2014 über eine Veranstaltung der Münchner Hochschule für angewandte Wissenschaften, an der H. Lesch einen Vortrag vor Studierenden hielt). Wenn man die Stundentafel und die Lehrpläne zum neuen bayerischen G9 betrachtet, hat dieser Vorwurf weiterhin Gültigkeit.

¹²⁰ „Besonders beunruhigend ist es auch, wenn Kinder, die bis zum Schulalter voller Fragen waren, plötzlich jegliche Neugierde verlieren. Ist es möglich, daß sie überwältigt sind von der Menge des zu erlernenden Stoffes? Oder sind es die Unterrichtsmethoden, die der Erkenntnis durch Forschen und Experimentieren im Wege stehen?“ (Salzberger-Wittenberg et al., 1997, S. 91)

¹²¹ KPL = Lösung von Problemen als dynamische Systeme aus hochgradig vernetzten Variablen bedingt: systematische Informationsgenerierung, mentale Modellbildung, zielführende Steuerung des Systems (Greiff & Fischer, 2013)

¹²² Bei genauer Hinsicht entdeckt man, dass sich in dieser Arbeit hinter dem „Modell domänenspezifischen, komplexen Problemlösens“ (S. 183) nichts anderes als der Forschungszyklus verbirgt und die folgende Behauptung sehr zu bezweifeln ist: „Die Frage nach der Bedeutung domänenspezifischer, komplexer Problemlösekompetenz ist jedoch für die Naturwissenschaften ungeklärt“ (S. 182).

- „entdeckendes Lernen“ (EL; Neber, 2010; Riedel, 1973; inquiry learning; Krajcik, 1991, 1999) bzw.
- „selbstgesteuerte Lernprozesse“ (SegeL) („Selbstregulation“; Labuhn et al., 2008; Eigenverantwortliches Arbeiten = EVA)¹²³.

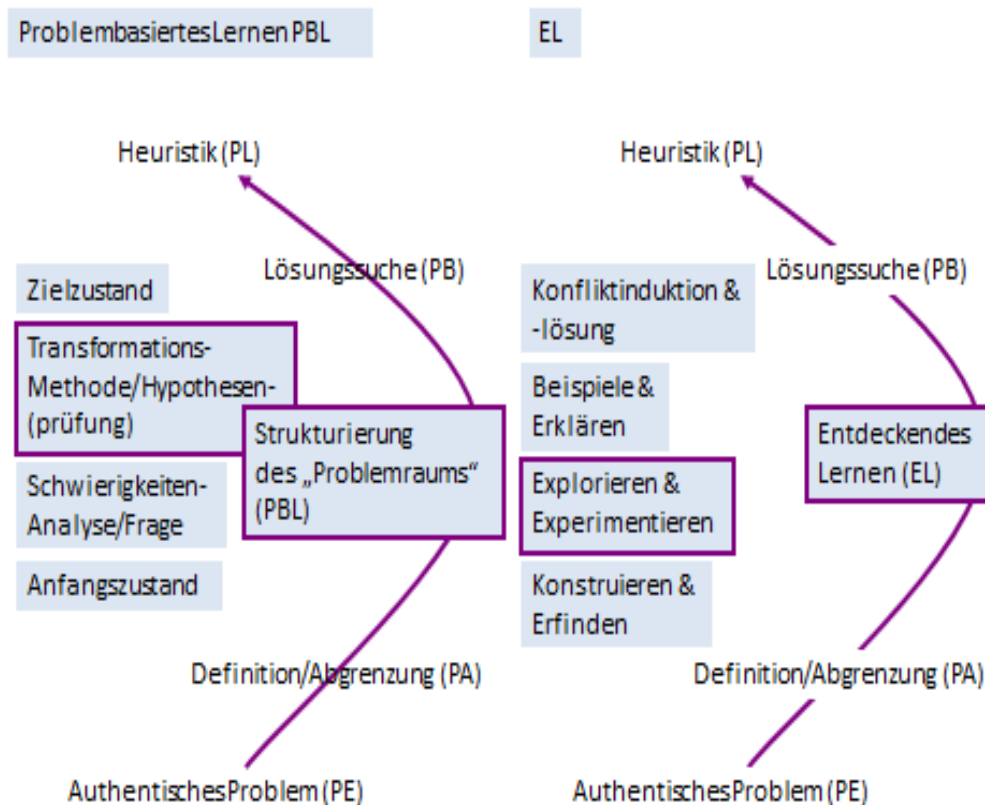


Abb A24: Gegenüberstellung der Arbeitsschritte beim problemlösenden und entdeckenden Lernen.

In einer Dokumentation des PISA-Konsortiums Deutschland zur „Erfassung fächerübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA (Baumert et al., ?1998?)“ wird „Problemlösen“ wie folgt definiert: „Problemlösen ist zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine Routinen verfügbar sind. Der Problemlöser hat ein mehr oder weniger gut definiertes Ziel, weiß aber nicht unmittelbar, wie es zu erreichen ist. Die Inkongruenz von Zielen und verfügbaren Mitteln ist konstitutiv für ein Problem. Das Verstehen der Problemsituation und deren schrittweise Veränderung, gestützt auf planendes und schlussfolgerndes Denken, sind konstitutiv für den Prozess des Problemlösens“ (S. 3). Nach Tippelt (2002) geht es beim PL um die Nutzung „problemorientierter Lernumgebungen“ (S. 56). Diese „sind situiert und man lernt an authentischen Problemen, man lernt in multiplen Kontexten, um Inhalte in verschiedenen Zusammenhängen anwenden zu können, man lernt im sozialen Kontext, damit problemlösendes Denken und Handeln gefördert werden, man lernt mit instruktionaler

¹²³ Nicht nur „Schule im Aufbruch“ bemüht sich intensiv um eine publikumswirksame Verbreitung und Testung von selbstgesteuerten Lernprozessen, sondern auch administrative Pilotprojekte des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht, Kultus, Wissenschaft und Kunst an ausgesuchten Schulen (z.B. Ludwig-Thoma-Gymnasium, Prien) erproben die sehr frühe Selbstständigkeit des Lernens in unteren Jgst. und in unterschiedlichen Fächern

Unterstützung, damit mit Hilfe gezielter Anleitung effektives Bearbeiten von Problemen und Erarbeitung von Wissen möglich sind, man lernt mit neuen Medien, um auch alle Formen der Selbststeuerungsstrategien zu nutzen“ (S. 56). Solche `Strategien konstruktivistischen Lernens sind Grundlagen der Kompetenzentwicklung`.

Nach Pólya (1945) können die folgenden Phasen des Problemlöseprozesses unterschieden werden:

- Bestimmung des Ziels
- Analyse der Ausgangssituation und Aufbau einer mentalen Repräsentation, eines Situationsmodells
- Bestimmung der Lösungsstrategie und Planung von Lösungsschritten
- Ausführen des Lösungsplans, begleitende Kontrolle und ggfs. Modifizierung der Lösung
- Evaluation der Lösung

In Abb. A25 sind zwei weitere wichtige Problemlösekonzeptionen schematisch gegenübergestellt. Darin entspricht die Interaktivität mehr einer Methodenorientierung, ist also mathematisch ausgerichtet, die Domänenspezifität lässt mehr an eine inhaltsorientierte, didaktische Schwerpunktsetzung denken.

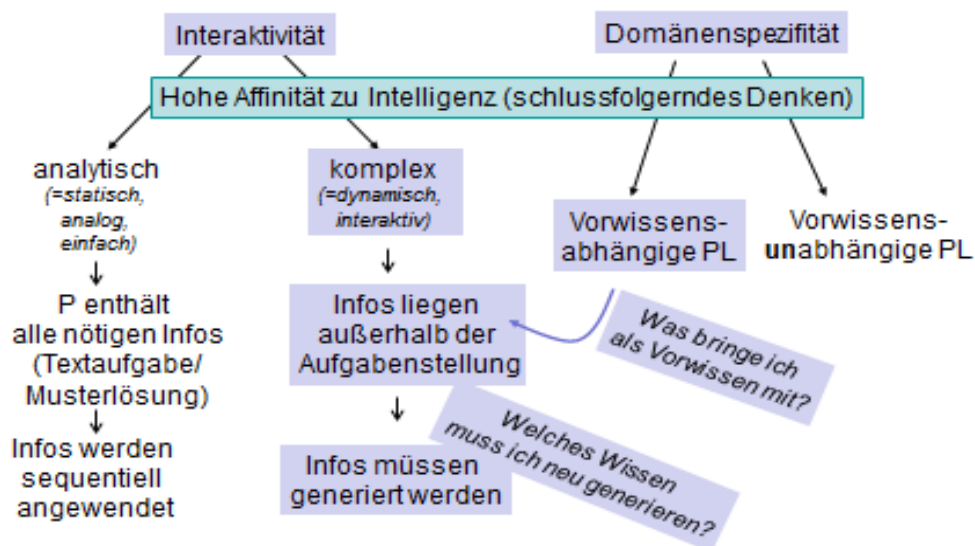


Abb. A25: Übersicht zu den Problemlösekonzeptionen (Vgl. auch Greiff et al., 2014).

Zusätzlich schlussfolgern Mayer & Wittrock (2006, zitiert aus Greiff et al, 2014, S. 162), dass „es eine der größten Herausforderungen der Pädagogischen Psychologie sei, Schülerinnen und Schüler nachhaltig zu besseren Problemlösern zu machen“¹²⁴. „Darüber hinaus ergibt sich aber auch eine gesellschaftliche Verantwortung, Wege aufzuzeigen, wie Problemlösekompetenz in formalen und informalen Lernbereichen gefördert werden kann“ (Greiff et al., 2014, S. 162).

¹²⁴ Leider wird im Zuge der Definitionen versäumt, den Begriff **Problem** klar abzugrenzen, etwa so: „Probleme stellen Hindernisse dar, die überwunden oder umgangen werden müssen, um von einer unbefriedigenden Ausgangssituation in eine befriedigendere Zielsituation zu gelangen“ (<http://de.wikipedia.org/wiki/Problem>; Zugriff: 19.10.2014)

Insbesondere bei der Überprüfung von höheren Lernleistungen, wie sie beim oben genannten „komplexen Problemlösen“ vorliegen, wird viel zu wenig bzw. überhaupt nicht auf die Voraussetzungen, also die Unterrichtsleistung v o r dem Zustandekommen der testbaren Problemlösekompetenz Bezug genommen. So wurden in der Untersuchung von Scherer (2014) zum domänenspezifischen komplexen Problemlösen die „Testinstrumente computerbasiert administriert“ (S. 184), also in ihrer Ausprägung objektiviert. Handfeste Ursachenzuschreibungen aus dem erfolgten Unterricht für die Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen für einen Chemieunterricht, der solches Können zur Folge hat und als Grundlage dient für das komplexe Problemlösen, finden sich auch hier nicht. Es sollte überlegt werden, ob nicht die Aufhebung genau dieses Mankos (nicht nur hier) einen wesentlichen Beitrag zur Praxisorientierung und Akzeptanz pädagogisch-psychologischer Forschungsergebnisse liefern würde. Es reicht eben nicht, dies nur als wünschenswert zu deklarieren.

Nach allem didaktischen und mathetischen Aufwand des Lehrens und Lernens im Chemieunterricht müssen SchülerInnen in die Lage versetzt werden, sich kraft ihrer entwickelten Selbststeuerung des Lernens neue Informationen zu verschaffen, sie zu bewerten und in seinen Wissensfundus zu integrieren. Mehrfache Codierung und oftmalige Nutzung erhöhen die Flexibilität sowohl bei konvergenten Problemlösungen wie auch bei kreativen Neuschaffungen. Und sie erleichtern das Weiterlernen, da wir immer mit dem lernen, was wir wissen. Nach dem „moderaten Konstruktivismus“ (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 1996) ist der Schüler dann sein ureigener `Wissensarchitekt`! Man spricht bei dieser eigentätigen „feinfühlig“, „wohlüberlegten“ Lernleistung von „deliberate practice“ (Eriksson et al., 1993). Die SchülerInnen hierzu anzuleiten, die Lernzeit zu nutzen, bedeutet nach Renkl (2011) „denjenigen Aktivitäten besondere Bedeutung zu[zuschreiben], die mit den angestrebten Lernzielen in engem und explizierbaren Bezug stehen“ (S. 196). Diese Bedeutungszuweisung ist eng verbunden mit der zu investierende Ausdauer beim Lernen, den einhergehenden Anstrengungsbereitschaften sowie mit den damit zu erreichenden Zielen. Untersuchungen mit Daten aus den PISA-Studien zeigen, dass relativ ferne Laufbahnziele (Studium, Beruf) und eine ausgeprägte Fähigkeit zur Geduld [als „kulturellen Faktor“] dort zu finden sind, wo die PISA-Ergebnisse hinsichtlich Mathematik-, Naturwissenschafts- und Lesekompetenz sehr gut ausfallen. „Um gut zu lernen, ist es hilfreich, langfristig zu denken“ (Kimme, Lergetporer, Wößmann, 2021).

Im Rahmen des fortgesetzten Einübens, der selbstständigen Aufgabensuche und –erledigung, der Verfeinerung von Handlungsabläufen und Strategien kann sich eine domänenspezifische Expertise entwickeln. Ihr dienen beispielsweise auch die aktuell immer deutlicher in den Vordergrund unterrichtlicher Empfehlung tretenden „Lernaufgaben“ (Christiansen, 2007¹²⁵; Ralle et al., 2014; Leisen, 2010). Sie enthalten Arbeitsaufträge und Problemstellungen, zu deren erfolgreicher Bewältigung gestufte Hilfen angeboten werden. Daneben kann Lernerfolg im Fach Chemie auch durch die folgenden Maßnahmen deutlich unterstützt werden:

- Neugier aktivieren und Lernziele transparent machen
- Portionieren von Informationen: „*Kleinschrittigkeit*“, („Sequenzierung multipler Ziele“ (Renkl, 2016, S.249)
- Nutzung unterschiedlicher Repräsentationsformen und –niveaus
- Flexibelhalten des Verfügungswissens: „*Chunking*“
- Hilfen zur Unterscheidungsfähigkeit („*Variationstheorie*“)(Vgl. C 1.3)

¹²⁵Dissertation bei Ilka Parchmann, Uni Kiel, IPN, http://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00002334/Dissertation_Christiansen.pdf

- Hilfen zur Herstellung von Beziehungen: „*Entkapselung*“ und „*Knowledge-Mapping*“
- Prelect/Postlect-Effekte hervorheben (Kognitionen aktivieren / „*Vortraining*“ (Renkl, 2016, S. 248) / Ausblicke geben „*Zeigarnik-Effekt*“, 1927)
- Prelab/Postlab-Effekte deutlich machen (Fertigkeiten aktivieren/ Hypothesenprüfung/ Routinisierungen)
- Kompetenzzugewinn reflektieren: „*Metakognition*“.

Dies alles entspricht einer umsichtigen und vielfältigen Förderung von Talenten unterschiedlichster Art, was wiederum zu einer Konkretisierung der Qualifikationsansprüche führt, welche an eine jede Lehrkraft zu stellen sind.

„Die langfristig effizienteste Begabungsförderung ist eine gute (praxisbezogene) Aus-, Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften. Hier gilt eine einfache Formel: Gute Lehrer halten guten Unterricht. Davon profitieren alle: Unterdurchschnittlich Begabte, durchschnittlich Begabte und Hochbegabte. ... Damit sich höhere Begabung in besseren Leistungen niederschlägt, müssen viele Faktoren zusammenkommen, unter anderem ein anregungsreiches Elternhaus und ein interessanter, fordernder und fördernder Unterricht“ (Rost, 2008, S. 49)¹²⁶.

¹²⁶ „Kollaps-Szenario“ der OECD 2006: Gut ausgebildete Fachkräfte gehen in die Wirtschaft, Ansehen des Lehrerberufs sinkt weiter, Unterrichtsbedingungen in Problembereichen verschlechtern sich, Pädagogisch nicht qualifizierte Personen unterrichten, Halbprofessionelle Kinderbetreuung nimmt zu

A 6.1 Domänenspezifisches Lernen und Verstehen

Lernen ist ein Prozess¹²⁷, eine Abfolge von langfristigen Verhaltensänderungen auf der Basis von genetischen und umweltbedingten Voraussetzungen eines Organismus. Lernaktivität wird im Gegensatz zu Reifevorgängen durch innere Bedarfe und äußere Reize (Signale) ausgelöst und ist individuell geprägt. Lernen beginnt schon vor der Geburt und endet erst mit dem Tod des Individuums. Vom einfachen motorischen Lernen wie etwa dem Schwimmen oder Radfahren bis hin zum 'Lernen durch Einsicht' beim Aneignen von fachlichem Know-how gibt es unterschiedliche Lernansprüche, welche auf ebenso unterschiedliche Lernfähigkeiten (neurobiologische Bedingungen, etwa die Existenz und das Funktionieren von Spiegelneuronen für das Lernen durch Nachahmung oder das Verstehen Anderer; vgl. Iacoboni, 2009) und Lernbereitschaften (Sensible Phasen, Motive, Motivationen, Interessen) treffen.

Die „autarke Lernfähigkeit“ (Lenz & Meretz, 1995, S. 94) zeichnet sich u.a. aus durch das Erfassen von Relationen und das folgerichtige Antizipieren von Ereignissen als Lernleistungserfolge. Auch wenn das Lernen per se an sich „nichts darüber aus[sagt], ob das System, das lernt, sich durch dieses Lernen verbessert oder nicht“ (Hass, 1984), so handelt es sich doch immer um einen Akt der „Wahrheitsklärung“ (Ladenthin, 2006), um einen Erkenntnisakt, über den sich Welt erschließen lässt. Nach der Erkenntnistheorie ist der Bedeutungskern von Wissen „wahre berechnete Überzeugung“; „Einzelne Erkenntnisse werden durch die Einbettung in Zusammenhänge zu Wissen. Unser Wissen baut sich aus Erkenntnissen auf“ (Gabriel, 2013, S. 3, 7). Wissen lässt sich auch als „Fähigkeit zum sozialen Handeln“ (Handlungsvermögen) definieren, als die Möglichkeit, etwas in 'Gang zu setzen'. Wissen bezieht sich somit auf Prozesskenntnisse. Wissen ist ein Modell für die Wirklichkeit. Wissen illuminiert. Wissen ist Entdecken“ (Stehr, 2013, S. 51). Dabei wird Wissen als Lernprodukt stets über eine bestimmte Lehr-/Lernmethode konstituiert, über die unmittelbare Sinneswahrnehmung oder über wissenschaftliche Vorgehensweisen, hermeneutisch (durch folgerichtiges Überlegen) und empirisch (durch reproduzierbare Erfahrung). „Lernen ist Methode“ (Ladenthin, 2006, S. 50) und diese Methode ist primär fachspezifisch und sekundär individuell. Es muss also jeder, der das Vorhandensein von Eisen(III)-Ionen in einer Lösung feststellen möchte, eine der eingeführten Nachweisreaktionen z.B. mit Ammoniumrhodanid (-thiocyanat) durchführen. Dieses gegenstandskonstituierende methodische Welterschließen beruht auf dem Denken als gedankliche Operationen, mit denen wahrgenommen, verglichen, klassifiziert, abstrahiert, konkretisiert, analysiert, synthetisiert, transferiert und geschlussfolgert wird. Diese 'Denkbewegungen' dienen der „Schaffung von Ordnungszusammenhängen“. Sie sind demnach 'beziehungskonstituierend'. Welterschließen und Ordnung schaffen, Überblick gewinnen und behalten sind wesentliche Kriterien für Bildung, für das Ins-Gleichgewicht-Setzen von Anspruch und Sinn um das eigene „Leben gelingen zu lassen“ (Ladenthin, 2006, S. 55)¹²⁸.

Bildung basiert im Kindes- und Jugendalter auf schulischem Lernen. Im Schulunterricht überlagern sich intrinsisch motivierte Lernabsichten und extrinsisch

¹²⁷ „Die Herausbildung des Lernens in der Evolution“ lässt sich beschreiben als ein, im Zuge sich anreichernder Komplexität verschiebender Gleichgewichtszustand zwischen ursprünglicher Dominanz von genetischer „Festgelegtheit“ gegenüber umweltbedingter „Variabilität“ (ausgehend von „Modifikabilität“) hin zur genetisch festgelegten Variabilität. Sie erlaubt es dem Organismus nun einerseits, neu erworbene „Bedeutungs-Bedarfs-Aktivitäts-Kombinationen“ zu generieren und andererseits, diese im sich synchron dazu entwickelten Gedächtnis abzuspeichern (Lenz & Meretz, 1995, S. 90-94).

¹²⁸ „In Wirklichkeit also hängen alle Wesen und Erscheinungen, jedes Atom, jedes Energiequantum voneinander ab und entstehen in gegenseitiger Abhängigkeit. Nicht die Substanz ist der Ursprung der Welt, sondern die Beziehung“ (Daisetz T. Suzuki: Der Buddha der Liebe. o.J.).

motivierende Lernzwänge (vgl. Urhahne, 2002; aber auch: Sprenger, 2005). Die „extrinsischen Anregungen, Anreize und Anerkennungen so zu verwenden, dass sie eine optimale Wirksamkeit entfalten, ohne in Widerspruch zu intrinsischen Motiven zu geraten, sondern zu deren Entwicklung beizutragen – das ist die wichtigste pädagogische Schlussfolgerung aus der psychologischen Motivationsforschung“ (Weinert, 1998). Hinzu kommen die betont gender und n abhängigen Prinzipien der Anerkennung (Anton, 2014b) von erbrachten Lern- und Prüfungsleistungen sowie der Grundsatz eines raschen Feedbacks, das einerseits gezielt auf die Dinge fokussiert und sie betont, welche den Erfolg ausgemacht haben und zum anderen auf das hinzielt, was im konkreten Fall am Weiterkommen hindert¹²⁹. Beides setzt eine ausgeprägte diagnostische und emphatische Kompetenz der Lehrperson voraus.

Auch die Lern- bzw. Leistungszielorientierung sowie die Bewältigungsstrategien und „subjektiven Überzeugungssysteme“ (Weinert, 1998) des Individuums bei Erfolg oder Misserfolg bzw. bei Über- oder Unterforderung spielen entscheidende Rollen für fortgesetztes Lernen. Nach Hoyer et al. (2013) sind „für personalisierte Lern- und Verstehensprozesse in begabungsfördernden Lernarrangements fünf Aspekte von zentraler Bedeutung: `Emotionen`, `Motivation und Volition`, `Kognition`, `Aktion` und `Reflexion` (S.110).

Für das konkrete Lernen definierter Fachinhalte, hier aus dem Bereich Chemie gilt es, frühzeitig bzw. spätestens bei der Erstellung von Lehrplänen, zwischen den richtigen Inhalten und dem richtigen Vermitteln bzw. dem richtigen Aufnehmen zu unterscheiden (Hoyer et al., 2013). Dies gilt für den fachspezifischen Unterricht ebenso wie für den naturwissenschaftlich allgemeinbildenden Unterricht (Messner et al., 1997). Die Auswahl und didaktische Bearbeitung von Lerninhalten folgt der Frage: Aus welchen Informationen sollen Lehrinhalte werden? Die Selektion muss ebenso differenziert geschehen wie die mathetische Gestaltung von Lernsituationen für den Lernenden, entsprechend der Fragestellung: Wie wird aus Lerninhalten Wissen generiert?¹³⁰

Im Lehr- und Lernprozess geht es um „Effektivität“ (Die richtigen Dinge tun) und um „Effizienz“ (Die richtigen Dinge gut machen)¹³¹. Es müssen also die richtigen (effektiven) Fachinhalte verstehbar (effizient) gemacht und die passenden (effektiven) Methoden richtig (effizient) eingesetzt und genutzt¹³² werden (Anton, 2014a). Und es gibt noch ein wichtiges Kriterium für die Schwierigkeiten, die sich beim Lernen von Chemie stellen. Nach den Erkenntnissen der Entwicklungspsychologie ist alles Wissen domänenspezifisch geordnet. Expertisen können nicht einfach von einer Domäne auf eine andere übertragen werden (Lehmann et al., 2002). Es sind zwar so genannte

¹²⁹ Im Rahmen seines Vortrages am 8.7.2013 in der AG Fachdidaktiken der LMU betonte Frank Fischer (Päd. Psychologie der LMU) die Bedeutung des **Feedbacks** (Was und wie gelingt es mir derzeit?) als eines der Kriterien für Unterrichtserfolg mit einer besonders hohen Effektstärke (Hattie, 1999 und Timperley, 2007) und gab an, dass vorangestelltes „Feedup“ (Was will ich erreichen?) sowie nachfolgendes „Feedforward“ (Wie geht es weiter?) bevorzugt von besonders hervorragenden Lehrern genutzt werden (Zur konkreten Vorgehensweise im Unterricht: Hepp & Mieke, 2006)

¹³⁰ `Wissen entsteht erst aus der im eigenen Kontext verstandenen Information` (Mittelstraß, 1992)

¹³¹ Peter Ferdinand Drucker: *Managing for Business Effectiveness*. Mai-Juni 1963, S. 53-60. ...→ Und: Ders. *The Effective Executive*. Heinemann, London 1967, S. 1f. <http://de.wikipedia.org/wiki/Effektivit%C3%A4t> (Zugriff: 9.10.12); Vgl. Hierzu auch: Berck, K.-H. (2012) S. 434

¹³² Fend (2002) greift dies mathematisierend auf und definiert den Lernerfolg (als Lernsumme LS) als Funktion von Angebot und Nutzung: $LS = f(A; N)$ mit $A = f(\text{Programmqualität: PQ, Institutionsqualität: INQ, Instruktionsqualität: QI})$ und $N = f(\text{Kognitionsqualität: KQ, Motivationsqualität: MQ})$. Hierzu sehr passend, sei auch auf das „Systemische Rahmenmodell von Unterrichtsqualität und –wirksamkeit von Reusser & Pauli (2010) verwiesen (zitiert aus: Mackowiak et al., 2013)

„Nahtransfereffekte“ nachweisbar¹³³, aber die „Idee einer messbaren universellen, bereichsübergreifenden Problemlösefähigkeit ... [ist] nicht haltbar“. „Die zentrale kognitive Kompetenz, die Problemlöseleistungen in unterschiedlichen Inhaltsbereichen gemeinsam zugrunde liegt, ist vermutlich gerade die Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken“ (Klieme et al., 2001, S. 189). Ursache ist die jeweilige biologische Disposition, fachspezifische Informationen auf eine ganz bestimmte Weise zu organisieren und damit das Fachwissen individuell zu konstruieren. Verstandenes Wissen (Aeschbacher, 1986; Reusser & Reusser-Weyeneth, 1997) bedeutet dann konkret, dass mehrere Elemente miteinander verknüpft, Zusammenhänge hergestellt und wechselseitige Beziehungen aufgebaut sowie Bedeutungen erkannt oder/und beigemessen werden. Diese vornehmlich didaktische Leistung zur Erzeugung von Verständnis (Mathetik!) erfordert im Vorfeld eine gewissenhafte Aufbereitung und explizite Differenzierung von vordergründig sehr ähnlichen, aber auch von vordergründig sehr unähnlichen Beziehungen.

So müssen die SchülerInnen bei der klassischen Erarbeitung des Redox-Geschehens anhand der Reaktion von Kaliumpermanganat (KMnO_4) mit Natriumsulfit (Na_2SO_3) in wässriger Lösung einmal im sauren Milieu (Zugabe von HCl als Salzsäure) und einmal unter alkalischen Bedingungen (Zugabe von Ammoniak) nicht nur unterscheiden zwischen den beiden Produkten (lösliches Mn^{2+} -Kation und unlöslicher Braunstein, MnO_2). Er muss zusätzlich beim anschließenden Ansäuern der Braunsteinsuspension den Mehrverbrauch an Säure bis zum Farbloswerden auf einen ganz anderen Reaktionstyp, nämlich den der Säure-Base-Neutralisation (etwa als einfache Titration), zurückführen können. Es handelt sich hier um eine äußerst komplexe Aufarbeitung, die im Unterricht deutlich expliziert werden muss; ganz besonders dann, wenn es nach der Phänomenpräsentation an die Aufstellung von Teilreaktionsschemata unter Zuhilfenahme der Oxidationszahlen geht.

In einem anderen Beispiel geht es um Konvergenz, also um das Aufdecken von Beziehungen, welche sich als Prinzipien bei scheinbar sehr unterschiedlichen chemischen Reaktionsanläufen zu erkennen geben.

Bei der Behandlung von Reaktionen, welche bei der Synthese von Kunststoffen auftreten, wie etwa Polykondensation zum Polyester oder Polyaddition zum Polyurethan (‘Bauschaumstoff’) stößt man zunächst auf sehr unterschiedliche funktionelle Gruppen. Im ersten Fall sind das Carboxyl-Gruppen, im zweiten Fall handelt es sich um Isocyanat. Reaktionspartner ist in beiden Fällen ein Dialkohol. Es fällt nicht sofort auf, dass in beiden Fällen eine Addition des Alkohol-Sauerstoffatoms an das positiviertete C-Atom der Carbonyl-Gruppe erfolgt, einmal in der $\text{C}=\text{O}$ -Gruppe und einmal in der $\text{N}=\text{C}=\text{O}$ -Gruppe! Als Konsequenz passiert im ersten Reaktionstyp eine Wasserabspaltung zur Stabilisierung der Esterbindung, im zweiten entsteht eine Säureamid-Bindung (Halbacetal) ohne Abspaltung eines kleineren Moleküls. Die Prozesse auf molekularer Ebene sind also analogisierbar (auch hinsichtlich der Säurekatalyse, welche die Reaktion unterstützt). Da überdies diese Reaktionsmechanismen im Lehrplan nicht unmittelbar aufeinander folgen, muss dies dem Schüler explizit verdeutlicht werden. Unterstützt wird dies, wenn man die ihm geläufige Nomenklatur und eine übersichtliche schematisierte Darstellung des wesentlichen Reaktionsschrittes anwendet.

Hartmann et al. (2007) unterscheiden in ihren Beispielen sechs unterschiedliche „Qualitäten des Verstehens“ (Vorwissen/anknüpfen – Empathie/einfühlen – Interpretation/deuten – Vermittlung/erklären – Umsetzung/anwenden –

¹³³ Beim Training des Gehirns auf Zahlen konnte der Lerneffekt auch auf Wörter übertragen werden; sie wurden ebenfalls besser gemerkt: SZ-Interview mit dem Neurowissenschaftler Lutz Jäncke (Universität Zürich) vom 1./2.6.2013

Perspektive/erweitern) und postulieren: „Jede Schülerin und jeder Schüler soll im Unterricht alle sechs Qualitäten des Verstehens *erleben*“ (S.125).

Seiler (1994) stellt fest, „dass jeder subjektive Vorgang des Verstehens den Sachverhalt und/oder die Bedeutung einer sprachlichen Äußerung in eine neue Erkenntnisstruktur einordnet, ... die wenigstens ausschnittsweise aktualisiert und dabei in wenigstens minimaler Weise transformiert wird“ (S. 71). Dieser Vorgang ist ein physiologisch erlebbarer Prozess, der „immer auch von Bewusstsein und gleichzeitig von einem unterschiedlich ausgeprägten emotionalen Erlebnis des Gelingens begleitet wird“ (S. 71). Seiler unterscheidet zudem zwischen einem „*handelnden Verstehen*“, einem „*intuitiven* oder *anschauungsgebundenem Verstehen*“ und einem „*begrifflichen Verstehen*“ (S. 73).

Nur kurz erwähnt sei hier die Bedeutung von Prüfungsaufgaben, die auf Reproduktion, auf Reorganisation und eben auch auf Verständnis hin ausgelegt sein müssen (Rubitzko et al., 2015).

Kann man Beziehungen herstellen, Zusammenhänge erkennen, erklären und begründen, so hat man verstanden, kann sich orientieren und es eröffnen sich einem neue Handlungsmöglichkeiten. Nach Werner Heisenberg (1901-1976) heißt Verstehen „einheitliche Züge erkennen“ (1971) oder nach Aeschbacher (1989) „Sehen von Zusammenhängen“ (S. 66). „Wenn wir etwas erklären, können wir ein Ursache-Wirkungs-Prinzip auch abstrahieren und auf ähnliche Situationen übertragen“ (Beck, 2020, S. 171), was weit über das Beschreiben hinausgeht.

„Verstandenhaben“ als bewusste Wahrnehmung ist ein körperliches Ereignis. Jeder weiß, dass ein „Jetzt hab’ ich’s!“ zur Unterbrechung der gerade laufenden Arbeit und Anstrengung führt, dass die Körperhaltung sich entspannt und die Gesichtszüge unweigerlich ein inneres Lächeln erzeugen sowie eine besondere Freundlichkeit ausstrahlen. Mit dieser „Genussphase“ (Vgl. Kap. E6.3) gehen zwei Effekte einher. Einmal wird man sich in Sekunden bewusst, dass man etwas erreicht hat, dass das Selbstwertgefühl zunimmt und das Fähigkeitsselbstkonzept gestärkt wird; zum anderen füllt sich derweil der Motivationsspeicher auf und man ist deutlich bereit für die Inangriffnahme einer neuen Aufgabe, als wenn dieses Verstehensereignis nicht passiert wäre. Geschieht solches im Unterricht, so sollte die Lehrkraft dies explizit machen, die SchülerInnen auf dieses Empfinden, diesen „Kick“ hinweisen und damit einen „kreativen Stopp-Punkt“ (CSP) wirksam werden lassen, in dem kurz auf die Ursachen eines solchen Erlebens reflektiert wird.

Im Zuge dieses Verstehens soll auch nicht übersehen werden, dass nicht nur Beziehungen zwischen den „harten Fakten“ des Fachs, sondern auch zwischen diesen und den so genannten „Big Ideas“, worunter auch die Basiskonzepte der NBS verstanden werden, anzustreben sind. Kuntze (2015) weist dies deutlich aus: „Wird die Idee, die uns als Lehrkräfte hinter bestimmten Inhalten wichtig ist, auch für den Lernenden sichtbar? Bekommt sie einen Namen, so dass diese Idee auch zu einem Teil des fachbezogenen Wahrnehmungsrepertoires der Schülerinnen und Schüler werden kann? Was tun wir, dass die Lernenden mit Hilfe der Idee über das, was das Fach ausmacht, bedeutsam sprechen lernen? – Und bei letzterer Frage geht es nicht nur um das Kommunizieren über das Fach, sondern auch darum, wie Schülerinnen und Schüler ihre ganz individuelle Sicht auf das Fach organisieren, wie Inhalte mental verknüpft und geordnet werden“ (S. 323).

Im Gegensatz zum „Verstanden-haben“ stellen ihrer Anwendbarkeit entgegenstehende unverknüpfte Fakten nur „träges Wissen“ (‘inert knowledge’, 1929; A. N. Whitehead, 1861-1947; „tacit knowledge“, Polanyi, 1958; Collins, 2010), also Unverstandenes dar. Wie oben angeführt, stellt das bewusste Nicht-nutzen-können der

unverbundenen Einzelfakten eine subjektiv empfindbare Belastung dar. Sie erzeugt ein Unwohlsein, das ausgesprochen kompetenzmindernd wirkt und das Selbstbewusstsein drückt. Neue fachverwandte Aufgabenstellungen werden gemieden, Aversionen stellen sich ein.

Neben den erlernbaren Erkenntnissen ist in ausgewählten Domänen „intuitives“ Wissen sozusagen „vorkonstruiert“. Man kann sich diese „domänenspezifischen Lernpotentiale“ als „privilegierte hirnorganische Verschaltungsmöglichkeiten vorstellen ..., die auf der einen Seite die Spielräume möglicher Erfahrungen einengen, auf der anderen Seite aber gerade deshalb die Wirksamkeit bestimmter Lernvorgänge dramatisch verstärken“ (Weinert, 1999c, S. 40). Zu solchen Domänen gehören Physik, Biologie, Psychologie, Mathematik, Kausalität, Musik und Sprache (Spelke et al., 1992; Weinert, 1999; Oerter, 2005). Chemie fehlt in dieser Aufzählung. Es gibt jedoch in der Chemie, etwa beim Phänomen der Verbrennung, durch Alltagserfahrung sehr früh auftretende „intuitive Theorien“ (Vorvorstellungen, vorunterrichtliche Vorstellungen, Präkonzepte), wonach beispielsweise ein brennender Stoff scheinbar weniger wird (brennendes Magnesium) oder scheinbar ganz verschwindet (brennendes Ethanol). Dass die Masse von `Magnesia` (MgO) im Vergleich zum Mg größer wird und dass die gasförmigen Verbrennungsprodukte (H₂O, CO₂) in der Summe eine höhere Masse besitzen als der ursprüngliche Alkohol, ist eben nicht augenscheinlich. Vgl. hierzu auch die ausführlichen Darlegungen zu Fehlkonzepten in Physik und Chemie bei Duit (1995b).

Kognitive Entwicklung und Lernen bedeuten eine Veränderung intuitiver Theorien oder deren Anreicherung. Auf die Chemie bezogen: Korrektur der „Phlogiston-Theorie“¹³⁴ oder Erweiterung des Oxidationsbegriffs von `Sauerstoffaufnahme` über „Elektronenabgabe“ bis zu `Erhöhung der Oxidationszahl` (Anton, 2008, S. 38-43). Dieser „conceptual change“ oder ein „conceptual enrichment“ mit Hilfe von meist „anti-intuitiven Theorieangeboten“ hin zu heute gesellschaftlich unentbehrlichen wissenschaftlichen Theorien verläuft nicht plötzlich. Fallweise geschieht dies erst über Monate hinweg, da jedes Kind, alle SchülerInnen aber auch die Erwachsenen stets von einem eigenen, meist sehr bewährten „Theorie-Niveau“ (Oerter, 2005) aus individuell kognitiv fortschreitet. Nach Lesgold (1984) bedeutet „Die Weiterentwicklung zum Experten ... nicht nur die Vermehrung dieses [inhaltsspezifischen] Wissens, sondern zugleich eine beständige Umorganisation der Wissensstruktur. Kontinuierliches Lernen führt deshalb nicht zu einer ständigen Verbesserung der Leistungen, sondern enthält auch Phasen [Transitionen] der Leistungsstagnation, ja sogar eines zeitweiligen Rückgangs der Problemlösekompetenz“. Hier ließe sich dann von einem „conceptual development“ sprechen. Beerenwinkel et al. (2007) gehen ebenfalls sehr vorsichtig mit dem Wechsel um: „Konzeptwechsel wird dahin gehend interpretiert, dass sich nicht unbedingt der Inhalt der ursprünglichen Vorstellung, sondern die Wertschätzung dieser Vorstellung im Vergleich zu der wissenschaftlichen ändert“ (S. 8).

„Der Weg zu immer komplexeren, variableren, flexibleren und damit leistungsfähigeren Organisationsformen des Wissens erfordert notwendigerweise die Überwindung, ja die Zerstörung einfacher und rigider Strukturen, die bereits routinisiert und effektiv beherrscht wurden“ (Weinert, 1989).

Gelingt dieser Wechsel nicht, so entstehen getrennte Wissensbestände, die zu unterschiedlichen Gelegenheiten aktiviert werden (Schletter & Bayrhuber, 1998). Nach Posner et al. (1982) wird der Konzeptwechsel begünstigt, wenn ...

- Zweifel an der Richtigkeit bisheriger Vorstellungen (→dissatisfaction) bestehen,

¹³⁴ Ernst G. Stahl (1659-1734): Seine Theorie, wonach brennbare Stoffe einen `Feuerstoff`, das Phlogiston enthalten sollten, der beim Verbrennen frei wird und deshalb das Gewicht reduzieren würde, galt von 1697 bis 1772

- die neuen Vorstellungen gut verständlich (!) (→intelligibility),
- überzeugend (→plausibility) und
- erfolgreich sowie alltagstauglich(er) sind (→fruitfulness).

Von LehrerInnenseite aus betrachtet, setzt dies wiederum eine grundsätzliche mathematische Grundhaltung voraus. Sie äußert sich in einem entsprechenden didaktischen Handeln (Möller, 2010; Labudde, 2010):

- L. beschäftigt sich mit Fragestellungen, die für SuS von Interesse sind
- L. überprüft Vorstellungen der SuS auf Schlüssigkeit
- L. ermutigt zu eigenen Ideen
- L. stellt Materialien zur Verfügung für die Überprüfung der Vorstellungen.

Verstärkt wird die Sicherung der „objektivierten Wissensbestände“ durch die Anfertigung von Concept Maps (CM) als ‚grafische Organizer‘ (Begriffs-Landkarten). Diese kognitiven Begriffsnetze (aus *Propositionen*) betonen semantische Verwandtschaften (→gemeinsame Schnittmenge der aktivierten Begriffe) und unterstützen als kognitives und metakognitives *prompting* den Lernprozess (→CSP = creative stopp-points; vgl. auch ‚Reflexionsunterrichtsfeld‘). Probanden, die CM konstruieren, profitieren stärker von metakognitiven prompts¹³⁵ (Großschedl & Harms, 2011). Wenn sich die Erkenntnis einer neuen Orientierungsmöglichkeit aufgrund der Entdeckung eines oder mehrerer Zusammenhänge innerhalb einer Domäne einstellt, dann erleben wir einen „Heureka-Effekt“, der wie ein „Kick“ auch körperlich wirkt und ein Glücksgefühl verursacht, was dann im Zuge einer Co-Konstruktion auch beim Lehrenden(!) ein durchaus berechtigtes Erfolgserlebnis verursachen kann. Beim Sieg eines Sportlers empfindet auch der Trainer Glücksgefühle. Transdisziplinärer Wissensfortschritt, wie er in den PISA-Aufgaben eingefordert wird, beruht auf der Kombination von unterschiedlichen Domänen. Häufig handelt es sich hierbei um die Verbindung einer modernen Domäne mit einer der traditionellen, z.B. von ‚Chemie‘ mit ‚Kausalität‘. Diese sich im Abstrakten abspielenden Vernetzungen gelingen bevorzugt durch die Nutzung von Veranschaulichungen, also durch das Verbildlichen und Vergegenständlichen von Vorstellungen und deren Versprachlichung, wie es sich in der Chemie also bei Atom-, Bindungs-, Energie-Modellen¹³⁶ etc. anbietet. Die Devise heißt:

Veranschaulichen – Verknüpfen - Verstehen

durch

Bilder – Beispiele - Beschäftigung

Ein sehr anspruchsvolles aber auch wieder eingängiges Beispiel für kindgerechte Veranschaulichung der quadratischen Gleichung $(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ findet man bei Bruner & Kenney (1965) (Vgl. auch Tücke, 2007, S. 337-339). Dort wird eine Analogie zum Hebel hergestellt (Abb. A26).

¹³⁵ „prompts“ = sachunabhängige, metakognitive Hilfen, die den Lernprozess bewusst machen (Vgl. „prompting“, „Prompter“ beim Fernsehen)

¹³⁶ „Es sind nicht Dummheit und Unfähigkeit der Schüler, die altbekannte Verständnisschwierigkeiten verursachen, sondern biologisch und wohl auch durch die Alltagserfahrung bedingte Barrieren (auch wenn manche schneller kapieren als andere), die nur mit entsprechendem geistigen Aufwand und mit dem kreativen Umgang unserer Erkenntnismöglichkeiten überwunden werden können“ (Oerter, 2005, Beihefter, S. IV).

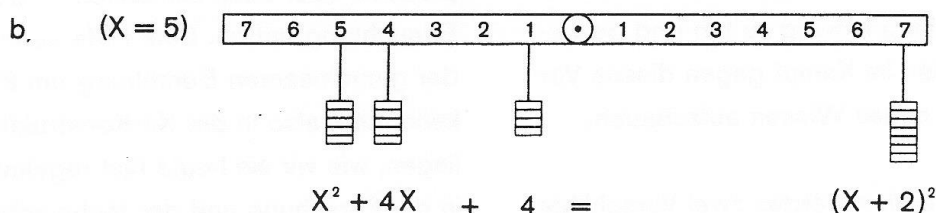


Abb. A26: Die quadratische Gleichung als Erfüllung des Hebelgesetzes: Das Gewicht aus fünf Einheiten hängt an Stelle 5 des Waagbalkens. Die Multiplikation zum Quadrat erfüllt $x^2 = 25$ usw.

Solche Bedingungen fordern nicht nur die Lernenden besonders heraus, sie beanspruchen auch die didaktische Expertise der Lehrperson auf extreme Weise, insbesondere beim Verstehen von Chemie. Nach dem Erkennen und Nutzen einer kleinschrittigen Verbindung zwischen handfestem Gegenstand und Submikroskopie (Anton, 2017a) müssen Lernende fortschreitend in die Lage versetzt werden, durch Überspringen einzelner kleiner Denkschritte immer größere Sinneinheiten zu bilden: „*Chunking for Jumping*“! Dieses konnektive Lernen ist hinsichtlich der Ansprüche der Chemie nicht so einfach, wie es vielleicht erscheinen mag und bisher auch meistens gesehen wurde; denn die „Denkschritte [der Lehrkraft sind] naturgemäß größer als diejenigen der Lernenden“ (Schmidkunz, 2005).

So wechseln auf dem Weg von den konkreten Phänomenen zu den abstrakten Beschreibungen und Begründungen auch die Lernprinzipien¹³⁷. Zudem wechselt die Sprachebene. „As chemistry teachers, we should know how important it is for our students to understand the meaning of the language (words and symbols) used in the classroom“ (Marais & Jordaan, 2000). „Das Beherrschen eines breiten Spektrums an Symbolisierungsformen eröffnet die fachliche Kommunikation auf verschiedenen Wegen. So vermag beispielsweise die Übersetzung eines sprachlich kodierten physikalischen [auch chemischen] Sachverhaltes in eine Bildfolge (Methode „Filmleiste“) die Kommunikation erst in Gang zu setzen“ (Leisen, 1998, S. 9). Bei Egbers und Marohn (2014) heißt es „Argumentieren impliziert das Erarbeiten, Begründen sowie Reflektieren von Standpunkten und fordert und fördert so die Auseinandersetzung mit eigenen und fremden Konzepten“ (S. 120).

¹³⁷ So heißt es sinngemäß bei I. Kant: „Allgemeingut ist, daß wir ohne die Anschauung nicht zur Erkenntnis kommen, sowie andererseits, daß Anschauung allein ohne scharfes begriffliches Erfassen der Dinge noch keinen geistigen Gewinn bedeutet. Das gilt für den, der die Erkenntnis sucht, so gut wie für den, der auf den richtigen Erkenntnisweg gebracht werden soll“ (Valentiner, 1960, S. 26).

A 6.2 Abstraktionsvermögen und Informationsbewertung

Demnach muss sich der Chemieunterricht bei der Förderung der Entwicklung des Abstraktionsvermögens im Sekundarbereich I besonders um die Genese von Bildern/Modellen und deren Standardisierung bemühen. Dieser Prozess des Abstrahierens¹³⁸ kann auf vielfältige Weise erfolgen und veranschaulicht werden. So gelangt man mit dem Modellierungszyklus von der Realsituation zum Realmodell und zum mathematischen Modell (Oberflächenberechnung der aus einem großen Würfel durch fortgesetzte Teilung entstehenden kleinen Würfel¹³⁹), etwa beim Erklären der leichteren Wasserlöslichkeit von Kristall- oder Puderzucker gegenüber Kandis- oder Würfelzucker (Walther & Lück, 2010). Solches gelingt beispielsweise durch das Bauen von räumlichen, also R3-Modellen in sehr unterschiedlicher Form (Modellbaukästen etc.) und weniger durch das Betrachten von R3-Modellen auf dem PC-Monitor, da hier erneut das in der Mittelstufe noch nicht so stark ausgebildete räumliche Vorstellungsvermögen eher mehr strapaziert wird als beim realen „Begreifen“ und Handhaben (Abb. A27)¹⁴⁰.

¹³⁸ lat. abs-trahere = abziehen, wegziehen; Begriff aus der Philosophie, erwähnt im 16. Jhdt.) beschreibt das „Verallgemeinern“ oder „das Allgemeine aus dem zufälligen Einzelnen begrifflich heraussondern“ (Drosdowski, 1989)

¹³⁹ Alternative: Man nimmt einen Würfel, der aus sechs Scheiben (Quader) besteht und bestimmt die Oberfläche der sechs Seiten. Dann legt man die sechs Scheiben unter Berücksichtigung (ohne Seitenkanten) ihrer Rückseite! zweimal auf

¹⁴⁰ In diesem Zusammenhang sei besonders darauf hingewiesen, dass es neben den üblichen Modellen auch sogenannte „Modellversuche“ gibt. Hierunter versteht man ein Experiment oder einen experimentähnlichen Vorgang, mit dem ein sonst nicht adäquat visualisierbarer Ablauf (z. B. Katalysatorfunktion) simuliert werden kann, wobei Prinzipien hervorgehoben und besser als im Original nachvollziehbar gemacht werden können. So kann bei der Reaktion (hier: Modellversuch) von schwefelsaurer Kaliumbichromat-Lösung (orange) mit 30%igem Wasserstoffperoxid (farblos) schlagartig eine tiefgrüne Chrom(III)-Lösung erzeugt werden, wobei gleichzeitig immer heftiger werdend Sauerstoff entsteht, der mit der Glimmspanprobe leicht identifiziert werden kann. Nach ca. 5-10 Min. kommt die Gasentwicklung zum Stillstand und die Lösung wird erneut orange. Hier fungiert das Kaliumbichromat als Katalysator-Modell, das Perhydrol als Edukt und Sauerstoff und das verbleibende Wasser als Produkte. Bildlich geht der Katalysator unverändert aus der Reaktion hervor, wobei der eigentliche Prozess der Perhydrolspaltung besonders ausgedehnt wird. Vgl. Abb. C22.2

Ein anderes Beispiel für ein Modellexperiment ist die Simulation der Aktivierungsenergie mit zwei Waschflaschen in unterschiedlicher Höhe zueinander (obere WF enthält eine Flüssigkeit, untere WF ist leer), welche über ein Rohr verbunden sind. Bläst man mit einem Schlauch in die obere WF ein, so kommt der dann freiwillige Fließvorgang erst dann in Fahrt, wenn man die Flüssigkeit über die anfängliche Höhe des Steigrohrs in der oberen WF hinüber gedrückt hat.

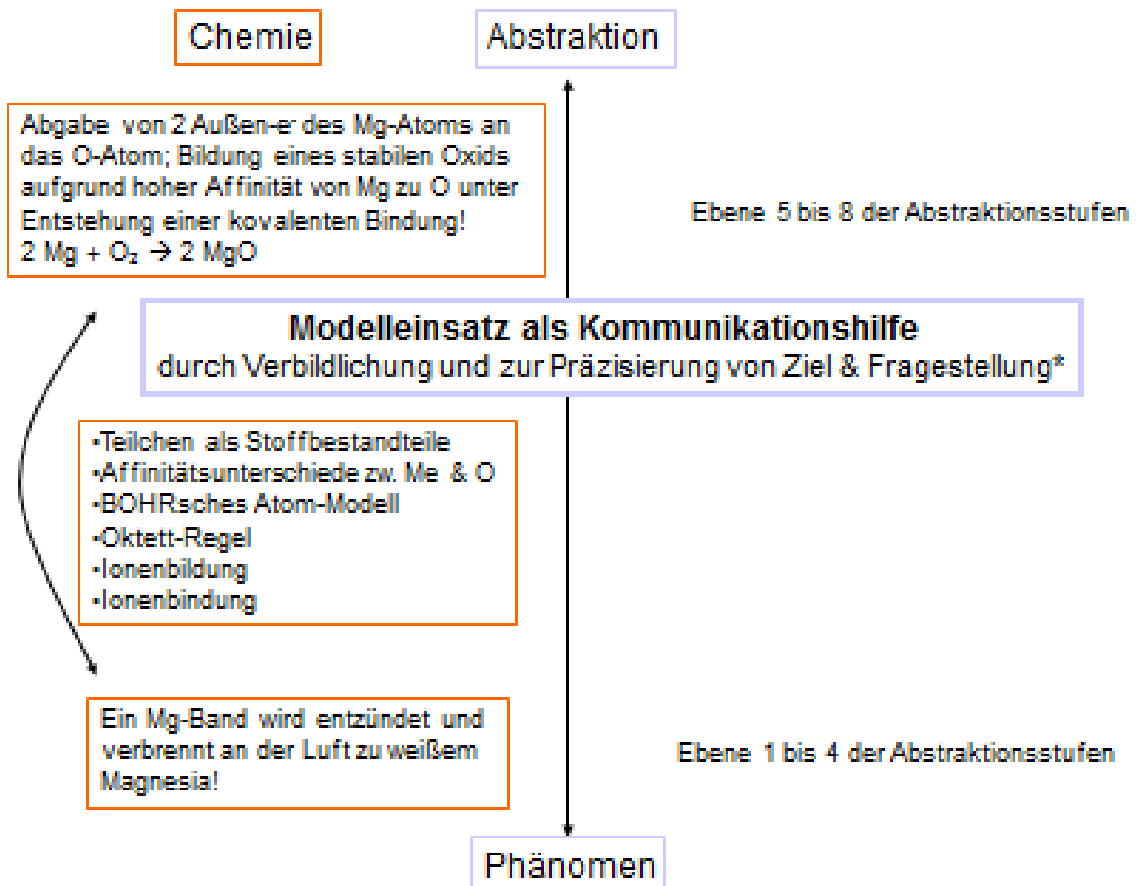


Abb. A27: In der schematischen Darstellung soll verdeutlicht werden, dass der Weg von der Beschreibung realer Vorgänge (1-4) zu den submikroskopischen Ursachen (5-8) nur über die Verfügbarkeit einer Fülle von Modellvorstellungen begehbar wird. Die Angabe der „Ebenen“ bezieht sich auf Abb. D7.

Wichtig ist in jedem Fall, dass die Zusammengehörigkeit von Phänomen und Abstraktion vermittelt und erkannt wird. Abstraktion bedeutet dabei das ‚Erfühlen des Inhalts‘, das im Idealfall synchrone Mitdenkenkönnen dessen, was dem Phänomen submikroskopisch zugrunde liegt und es verursacht¹⁴¹. In Anlehnung an den kindlichen Spracherwerb stellen alle einzelnen Schritte hin zur abstrakten Summenformel, ausgehend vom Phänomen, ‚Erinnerungshilfen‘ dar, so genannte „cues“ (engl.: „Fingerzeig“, „Vorschlag“, „Denkart“) oder „konzeptuell-semantisch gestützte Verbindungen [zwischen] dem, was sprachlich oder auch bildlich (Abb. D7 & S. 220) ‚zueinander passt‘“¹⁴². Häufig wird übersehen, dass der Gebrauch von Modellen etwas durchwegs Alltägliches ist. Modellautos, Puppen, Modelle des Architekten oder Stadtpläne als Modell von einer Stadt etc. sollten im Unterricht thematisiert werden, sodass der Gebrauch in der Chemie alles Exotische verliert (Abb. A28).

¹⁴¹ ... denn „Gedanken ohne Inhalte sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind“ (I. Kant, 1724-1804)

¹⁴²http://www2.uni-wuppertal.de/FB4/anglistik/multhaup/brain_language_learning/html/brain_memory_stores/6_declarative_procedural_txt.html

Modelle im Alltag



Modelle im Fach Chemie

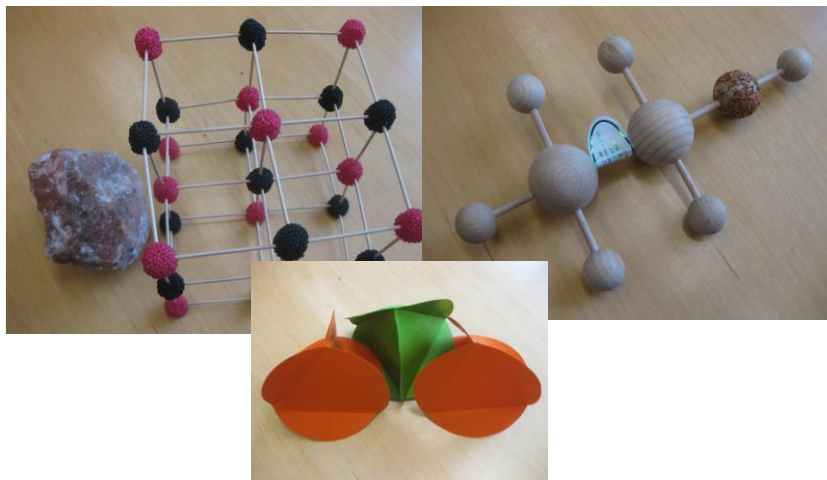


Abb. A28: Beispiele für den Modelleinsatz im Alltag und im Fach Chemie: Spielzeugmodellautos, -flugzeuge, Landkarte, Architekturmodell; Kristallgittermodelle aus Bonbons und Zahnstochern, Klebemolekülmodell und ein Molekülmodell zum Ertasten für Blinde

In der Literatur finden sich vielfältige Anweisungen zur Entwicklung und Sicherung der „Modellkompetenz, die sich aus Modellwissen, Modellarbeit und einem übergeordneten Modellverständnis zusammensetzt“ (Meisert, 2008, S. 243; Keller, 1977). Nach Leisner-Bodenthin (2006) ist das Modellverständnis „dem Wissenschaftsverständnis zuzurechnen“ (S. 91) und als solches nicht nur der physikalischen, sondern sicher auch der chemischen Grundbildung zugehörig. In einer Untersuchung zur Modellverwendung und –entwicklung adaptieren Caspari et al. (2018) bekannte Kompetenzraster zur Modellkompetenz aus der Biologie, bestehend aus fünf Teilkompetenzen (Zweck und Eigenschaften von Modellen, Alternative M., Testen und Ändern von M.) mit je vier Anforderungsniveaus an den Prozess der

Erkenntnisgewinnung bezüglich der einzelnen elektrochemischen Teilvorgängen in bestimmten Batterietypen.

Nach Lenz & Meretz (1995) werden Bedeutungen, etwa für den Modelleinsatz und ein dazugehöriges Modellverständnis erst dann generiert und mit einer Aktivität (hier: Lernen) kombiniert, wenn ein Bedarf vorhanden ist, Verstehensnotwendigkeit besteht und damit also die Aussicht auf eine Aufrechterhaltung oder Verbesserung des inneren Zustands, des Gebildetseins vorhanden ist. Dies ist der Ausgangspunkt für die Entstehung neuer „Bedeutungs-Bedarfs-Aktivitäts-Kombinationen“ (BBAK) (Lenz & Meretz, 1995, S. 60). Die Herausbildung immer neuer BBAKs erfordert bzw. begleitet evolutionär die Verbesserung des individuellen Gedächtnisses.

So zeichnen sich Hochbegabte beispielsweise dadurch aus, dass sie die Stufe des formal-operationalen Denkens und Argumentierens¹⁴³ frühzeitig erreicht haben und für sie das „Zwiedenken“ (Christen, 1990) („Doubly Thinking“) keinen verständnislimitierenden Charakter mehr besitzt, u. a. weil es ihnen leichter gelingt, „weltauerschließend, verfügungserweiternd und damit expansiv zu lernen“ (Lenz & Meretz, 1995, S. 109). Um diese Fähigkeit einer ‚Denkgeschicklichkeit‘ (Musil, 2019, S.51), ergänzt und bereichert durch eine „Leidenschaft für Sachlichkeit“ (Nguyen-Kim, 2019, S. 240) frühzeitig anzustoßen, macht es Sinn, Modellvorstellungen zu einfachen Phänomenen bereits im Grundschulalter und in der Primarstufe anzubahnen. Hock et al. (2007, 2008) zeigen anhand empirischer Erhebungen die frühe Differenzierbarkeit von Modellvorstellungen bei 10- und 11Jährigen¹⁴⁴. Es zeigt sich, dass die Eignung von mehreren Modellvorstellungen, etwa zum Lösen eines Stoffes in Wasser schon von Kindern für unterschiedlich brauchbar eingeschätzt werden kann. So wird einem Comic-Modell und einem Modell aus LEGO®-Steinen ein Kugel-Modell vorgezogen. Weshalb ist das Aufgeführte gerade im Fach Chemie so problematisch und keinesfalls selbstverständlich? Betrachtet man physikalische Bedingungen, welchen sich die Umwelt des Menschen permanent zu stellen hat, wie etwa mechanische Zusammenhänge, Temperatur innerhalb witterungsbedingter Grenzen, Druck- und Zugkräfte, Gravitationsfolgen wie „Gewicht“, das Fallen von Gegenständen, Beschleunigungen und Verzögerungen, Hell-Dunkel-Wechsel, leise und laute Geräusche uvm., so handelt es sich hier grob-übersichtlich um Konstanten, die meist mit gewohnten Stoffen und Materialien unserer Lebensumwelt verbunden sind. In der Summe stellen diese Lebensbedingungen eine konstante Größe dar, mit der wir vertraut sind und mit deren Gültigkeit wir rechnen können.

In der Chemie findet jedoch darüber hinaus eine Veränderung dieser Konstanz statt. Stoffe wandeln sich um. So bilden sich beim Verbrennen neue Substanzen mit teilweise gänzlich neuen Eigenschaften. Im weitesten Sinne trifft das für das Eintrocknen (Eindampfen, Destillieren) von Lösungen zu, das Entstehen von Farbigkeiten beim Backen und Braten, das Auftreten von Gerüchen bei der Anwendung von Putzmitteln, die Schaumbildung beim Waschen mit Seife, die Änderungen in der Konsistenz beim Herstellen von Kunststoffen, das „Verschwinden“ von Brennstoffen wie Holz, Kohle, Benzin mit dem gleichzeitigen Auftreten von Wärme und Licht usw..

Es mag sein, dass der menschliche Geist, der mit manchen der konstanten, physikalischen Größen schon ‚pränatal‘ vertraut gemacht wird (Spelke et al., 1992), auf der hierfür gültigen „eher offensichtlichen“ Erklärebene weitaus besser zurechtkommt als mit den abstrakten Ursachen für die meist gravierenden Veränderungen der Stoffe,

¹⁴³ Eine übersichtliche Darlegung der wesentlichen Kennzeichen des formalen Denkens findet sich bei Tücke (2007, S. 336)

¹⁴⁴ <http://www.denken-in-modellen.de/index.php?Seite=843&> Hier finden sich auch entsprechende Filme für den Unterricht

insbesondere, wenn es sich auch noch um (farblose) Gase handelt. Vielleicht muss erst mit der Generierung von soliden Modellen, klaren Regeln und Gesetzmäßigkeiten für die Stoffartänderungen wieder eine solide Grundlage eingestellt werden? Auf ihr entsteht dann neue Sicherheit für Verstehen und Argumentieren¹⁴⁵. Zudem sind mechanistische Erklärungen, etwa „Wenn ein Feuer brennt, wird es warm!“ viel naheliegender und zunächst befriedigender als teleologische: „Bei der Verbrennung vereinigt sich ein brennbarer Stoff mit dem Sauerstoff der Luft und bei diesem exothermen Prozess wird chemische Energie in freiwerdende Wärmeenergie umgewandelt!“ Die amerikanische Psychologin Tanja Lombrozo gibt in einem Interview weiter zu bedenken, „Einfache Theorien, die viel erklären, sind attraktiver als komplizierte mit engem Fokus¹⁴⁶. Außerdem mögen wir solche lieber, die sich harmonisch in das einfügen, was wir bereits wissen oder glauben“ (Ayan, 2015, S. 77). Diese Aussage gewinnt an Bedeutung, auch für den Unterricht in den beiden Fächern Physik und Chemie, wenn man bedenkt, dass „Erklärungen ein Gefühl von Kontrolle“ vermitteln und dieses Empfinden sehr stark sein kann (S. 78).

Das chemische Experiment in der Schule steht dabei als Prototyp der Stoffumwandlung zunächst im Widerspruch zur alltagsrelevanten Konstanz und Prognostizierbarkeit von Prozessen (bis hin zu den sehr langsam ablaufenden jahreszeitlichen Veränderungen in der Natur) und Gegenständen (Scharf, 1996; Woyke & Scharf, 2002). Es steht im Gegensatz zu der weitaus üblicheren Objektkonstanz und ist gleichzeitig nicht sofort in Verbindung zu bringen mit seinen zugrundeliegenden Ursachen; denn diese liegen im Diskontinuum, auf der Teilchenebene, auf der es um die Wechselwirkungen und Neukombinationen von Atomen, Molekülen und Ionen geht. Die Erklärung ist also nicht `einfach`. Somit muss der Chemieunterricht auf einem expliziten induktiven Weg für neue Deutungsmuster der bisher ohne diese problemlos erlebbaren Prozesse sorgen. Das gelingt mit großer Wahrscheinlichkeit nur dann, wenn die Kopplung von Phänomen und Abstraktion auf das Intensivste und Kleinschrittigste mit geeigneten Beispielen angebahnt, mit geeigneten Modellen¹⁴⁷ gekonnt veranschaulicht und langfristig eingeübt wird und wenn dies sinnstiftend erlebbar gemacht werden kann. Das wiederum gelingt vermutlich nur dann, wenn die deduktive Anwendung des neuen Wissens als Hilfe für den alltäglichen Einsatz chemischer Er(!)kenntnisse erlebbar wird (Geiger, 1969). Darin verbergen sich gewaltige didaktische wie auch mathetische Herausforderungen. Schwedler (2017) zeigt deutlich auf, dass hinsichtlich konkreter Wissensbestände und geforderter Abstraktionsleistung gerade im Bereich der Physikalischen Chemie (Physikochemie) die Diskrepanz zwischen schulischen Voraussetzungen und studienspezifischen Anforderungen ausnehmend groß ist. Das damit verbundene Stresserleben und die wiederum damit einhergehende Abbruchhäufigkeit des Studienganges sind weiterhin ernst zu nehmende

¹⁴⁵ Zum Abhängigkeitsverhältnis zwischen Chemie und Physik heißt es bei Ströker (1967): „Es ist die Leistung der Physik, daß sie das gesamte chemische Verhalten der Stoffe wie auch diese selbst prinzipiell als *Folgerung aus ihrer Theorie* [Atom-Modelle] begründbar gemacht hat – und es ist die unkündbare Forschungsaufgabe der Chemie, durch ständig neue Erweiterungen dieser Folgerungen und durch Deduktion weiterer Prognosen für ihren Problembereich die Aussagen der Physik zu *überprüfen*“ (S. 245)

¹⁴⁶ Dies erinnert deutlich an „Ockhams Rasiermesser“ (Wilhelm von Ockham, 1288-1347) oder das „Sparsamkeitsprinzip (Prinzip der Parsimonie), wonach „Von mehreren möglichen hinreichenden Erklärungen für ein und denselben Sachverhalt ... die einfachste Theorie allen anderen vorzuziehen [ist]“ (wikipedia, 20.11.22). *Alle anderen Erklärversuche können dann, wie mit einem Rasiermesser abgetrennt werden!*

¹⁴⁷ Es soll hier nur kurz darauf hingewiesen werden, dass es sich bei den Modellen um eine Fülle unterschiedlicher Gegenstände und Denkbilder handelt, die klassifiziert werden können. Dabei erscheint es wichtig, zu betonen, dass das Experiment in der Schule per se modellhaften Charakter bezüglich der zu vermittelnden größeren Dimension besitzt.

Forschungsdesiderata! Diese „Sinnstiftung“ ist kein alleiniges (chemie)didaktisches Instrument. Es lässt sich durchaus mit dem „Willen zum Sinn“ (Frankl, 2015/1977) in Zusammenhang bringen. Die vom Wiener Psychologen und Neurologen Viktor Frankl (1905-1997) gegründete Logotherapie begründet das Wesen des Menschen in der Verwirklichung von Wert und Sinn, wobei es dem Menschen darum geht, einen Grund zum Glücklichsein zu finden. Ist dieser Wille erfüllt, stellen sich Glück, Homöostase, Lust und flow sozusagen als `erwünschte Nebenwirkungen´ von selber ein. Die langfristige Nichterfüllung dieser Willensleistung führt zu „existentieller Frustration“. Heruntergebrochen auf das Chemielernen, kann sich Aversion (Frustrationsabwehr) gegenüber dem Fach herausbilden, wenn die Sinnstiftung nicht gelingt. Auch wenn sich nun Chemiekenntnisse per se nicht sofort als täglich nutzbares Instrumentarium der Lebensgestaltung erweisen, also keinen überzeugenden Selektionsvorteil aufweisen, vermögen sie bei hochbegabten und besonders interessierten SchülerInnen als Signal einen Wissens- und damit einen Lernbedarf auszulösen („Bedeutungsaktualisierung“), welcher durch ausgewählte Lernaktivitäten Hindernis überwindend und basierend auf hohen Denkfähigkeiten (Intelligenz) befriedigt wird. Hierzu findet sich auch bei Piaget ein Beispiel aus der Chemie: „Versuch zur Kombination von Chemikalien“ (Tücke, 2007, S. 339-340) als „klassische Versuchsanordnung zur Untersuchung des formalen Denkens“ (S. 337).

Diese auf Problemlösungen ausgerichteten Lernanstrengungen zu fördern und leistungsorientiert zu nutzen, bedeutet im vorliegenden Beispiel, die Schrittfolge vom Erlebten zum Erdachten offenzulegen und damit leichter nachvollziehbar zu machen. Dieses Vorgehen unterstützt auch die Bildung von Denk- und Handlungsmustern durch das Gehirn (hier die Systematik des „Zwiedenkens“) und damit auch die anschließende und spätere Mustererkennung, also das rasche Verifizieren des Wesentlichen. Das Gehirn „macht Muster aus und springt an das Ende der logischen Kette“ (Strauch, 2012, S. 66). Dementsprechend wird durch das Fehlen von Bedarf keine (oder eine nur erzwungene) Aktivität ausgelöst, was erneut unterstreicht, dass Lernaktivität (nicht nur) im Chemieunterricht idealerweise erst dann auslösbar wird, wenn Lernerträge als bedarfsgerecht offengelegt und Lernanstrengungen als subjektiv leistbar empfunden werden können (vgl. Vygotskij, 2002; Erikson, 2003). Die hierdurch möglichen AHA-Erlebnisse¹⁴⁸, also das subjektive, bewusst genussvolle Erleben von rascher Verständnissfähigkeit („Lorbeereffekt“; Schröder, 1985) bildet und sichert den „inneren Wohlstand“ (Anton, 2008a, 2009c), der nicht wie der „ökonomische, wirtschaftliche Wohlstand“ von einer Vielzahl an Variablen abhängig ist und primär keinen Bezug zum Bildungsstand der Bevölkerung aufweist (Taleb, 2013). Mit ihm, dem `inneren Wohlstand´, stellt sich auch mit Blick auf eine ethische Rahmung eine konsolidierte Wissensbasis ein, von der aus zuversichtlicher und frustrationstoleranter analysiert,

¹⁴⁸ Betrachtet man das Mitverfolgen eines Experiments sowie dessen Protokollierung als eine Folge von Prozessstufen, über die Licht, Farbe, Bewegung und Hörbares analysiert und mit Bekanntem verglichen werden, so lässt sich dies nach Biedermann & Vessel (2006) als Kaskade einzelner Hirnleistungen beschreiben. Bei jedem Schritt in den betreffenden Hirnarealen nimmt die Zahl der Rezeptoren für β -Endorphin zu. Zugleich wird diese Ausschüttung mit derselben von Dopamin und Serotonin im Frontalhirn begleitet. Man nimmt an, dass solche Verarbeitungskaskaden auch für kognitive Leistungen des Verstehens gelten und dann auch hierbei beglückende Gefühle, sozusagen „Kicks“ als lustvolle Erlebnisse des Erkenntniss, etwa von Beziehungen und Zusammenhängen entstehen. Untersuchungen am Computertomographen zeigten: „Im Moment des `Heureka-Erlebnisses´ bildete sich bei den Versuchspersonen eine sogenannte Alphawelle im Gehirn aus. Ein Hinweis auf eine starke Aktivität in einem Hirnareal, das auf Verknüpfungen von unterschiedlichen Informationen spezialisiert ist. Gleichzeitig wurden äußere Reize unterdrückt“ (Ebert, 2011, S. 62)

argumentiert und weitergelernt werden kann¹⁴⁹; denn „Informiertheit ist die neue Bedingung für die Teilhabe an ethisch relevanten Entscheidungen“ (Gaiser, 2016, S. 34).

Nach dem Biochemiker Gottfried Schatz sind diese Zusammenhänge und Abhängigkeiten gar nicht zu überschätzen: „Die Erkenntnisse der Naturwissenschaften nähern sich heute den Grenzen menschlicher Vorstellungskraft und verlieren das Vermögen, unser inneres Leben zu bereichern“ (zit. aus Unterstell, 2013, S. 40 mit Zit. aus Grossrieder, 2012, S. 12). Sie können aber auch zu Ängsten führen, welche auch (bildungs)politisch nicht zu unterschätzen sind, was sich aus der DELPHI-Studie „Potentiale und Dimensionen der Wissensgesellschaft“ von 1998 ableiten lässt. „Das subjektive Gefühl unvollständiger Informiertheit droht zu wachsen, ebenso jenes einer steigenden Abhängigkeit oder gar Bedrohung durch andere Menschen (Unternehmen, Organisationen), die womöglich über bessere Informationen verfügen oder diese besser zu nutzen verstehen“ (S. 104). Eine mögliche Folge hieraus besteht heute in einer Abkehr vom „Wissen-Wollen“ als aktives „Nicht-Wissen-Wollen“ naturwissenschaftlicher, vornehmlich chemischer Kenntnisse, indem „angesichts weiterwachsender Datenmengen die paradoxe Fähigkeit, zu wissen, was man nicht zu wissen braucht, immer wichtiger wird“ (Wehling, 2013). Im Wissensmanagement von Organisationen finden sich hierfür bereits Begriffe wie „intelligente Wissensabwehr“, „positive Ignoranz“ und „Nichtwissen als Erfolgsfaktor“ (Wehling, 2013). Der Kognitionswissenschaftler (MPI) Ralph Hertwig spricht von „*deliberate ignorance* – gewolltes Nichtwissen“ (Hein, 2023, S. 36).

Dies sind Zeichen für „einen bewussten Umgang mit dem eigenen Verarbeitungsvermögen“¹⁵⁰ (Wehling, 2013, S. 43 mit Zit. aus Schneider, 2006, S. 77ff)¹⁵¹. Kann dieser schwerwiegende Aspekt berücksichtigt werden (!), dann muss auch dem Frageverhalten der SchülerInnen größere Aufmerksamkeit entgegengebracht werden. Die Schüler werden angehalten, sich gezielter auszudrücken und aufgrund des aktivierten Vorwissens bereits erste Hypothesen, also vorläufige Antworten, Vermutungen zu äußern. Sie erleichtern es der Lehrkraft, ihre Informationen passgenau einzusetzen. Dabei gilt: ‚Unterricht mit gesteigertem Frageverhalten der Lernenden führt zu günstigeren Lernergebnissen‘ (Niegemann & Stadler, 2001), die wiederum zu neuen, anspruchsvolleren Fragestellungen (bei SchülerInnen und bei LehrerInnen) beitragen können.

¹⁴⁹ Ein solches Vorgehen hat vermutlich weit darüber hinaus gehende Konsequenzen. Es passt gut zu einer Forderung der Psychiaterin Nahlah Saimeh, zitiert aus einem Artikel, der sich um die Ursachen von Terrorismus dreht, wonach wir als Gesellschaft „gemeinsam Anstrengungen unternehmen [müssen], keine Verlierer zu produzieren“; denn „Kristallisations- und Ausgangspunkt ist fast immer das subjektive Erleben einer massiven Ungerechtigkeit und ein Gefühl von Unterlegenheit und Benachteiligung“, wobei die Ursachen dafür immer ins Außen verlagert werden (SZ v. 21/22.11.15, S. 37).

¹⁵⁰ Vgl. hierzu auch die eingeschränkte Arbeitsweise des Arbeitsgedächtnisses und des Perzeptionsfilters mit seiner Beeinflussung durch das Langzeitgedächtnis! (Vgl. Pkt. 3, S. 12 ff)

¹⁵¹ Nach Procter (2007), einem amerikanischen Wissenschaftshistoriker der Stanford University muss auf der Gegenseite aber auch von einer „kulturellen Erschaffung und Aufrechterhaltung von Unwissen“ (Agnotology) gesprochen werden. In Form einer beabsichtigten „Anti-Didaktik“ werden die Angaben beispielsweise zu Lebensmittelzusätzen oder zu technischen Geräten bewusst so gestaltet, dass keine eindeutige Entscheidungshilfe, etwa für den Kauf ermöglicht wird. Das ruft wiederum eine Fülle von Fachzeitschriften auf den Plan, die genau diese Bemühungen „zunichte“ machen, indem sie tabellarische Übersichten der vergleichbaren Geräte verbraucherfreundlich gestalten und als Kaufentscheidungshilfen fungieren.

Diese Form der Wissensbewertung darf nicht verwechselt werden mit dem, was Axel Hacke in seiner Columnne im SZ-Magazin vom 29.1.2016 als „Hauptkennzeichen des Dummen“ benennt: „*Er will auch nichts wissen!* Das heißt, er könnte etwas wissen, aber er weist dieses Wissen zurück. Er meidet es. Denn er hält sich für so klug, dass er glaubt, Wissen nicht zu benötigen“ (S. 38)

Das Auslösen von Fragehaltungen über das Staunen hinaus (Ansari, 2009) bedarf erhöhter Lehranstrengungen¹⁵². „Der Fortgang der wissenschaftlichen Entwicklung ist im Endeffekt eine ständige Flucht vor dem Staunen“ (Albert Einstein). Diese Aussage befremdet zunächst. Im Bereich der Experimenteffekte ist sie von großer Bedeutung, da Staunen als passive erlebte Emotion eben nicht automatisch zum aktiven Fragen führt (Abb. A29), vielmehr zum weiteren und noch effektiveren Staunen reizt (Vgl. hierzu „Motivationsfalle“, Anton, 2008). Rieder (1968) stellt Staunen und Fragen als sich ausschließende Merkmale dar:

‘Staunen: Passivität, Ungerichtetheit, Gefühl, Unwillkürlichkeit

Fragen: Aktivität, Gerichtetheit, Verstand, Willkürlichkeit’ (S.14)

Zu den genannten Lehranstrengungen zählt auch die Auslösung von Assoziationsketten vor Beginn einer Stoffdurchnahme, etwa beim Erstellen einer Mind-map durch Brain-Blooming¹⁵³. Stets erkennt man, dass die hier aufscheinenden Begrifflichkeiten zwei Gruppen zuzuordnen sind. Einmal handelt es sich um die Nennung von Fakten, von konkreten Daten, Kognitionen, welche sich im Lehrplan finden lassen, die im Zuge der Unterrichtsgestaltung behandelt werden. Zum anderen treten Begriffe auf, die eher auf Befürchtungen, Unsicherheit und Betroffenheit hindeuten, also Emotionen. Die die beigemessenen Bedeutungen signalisieren, die aus Sicht der SchülerInnen dem Thema zukommen. Vgl. auch Punkt D 2.1.

Werden schon viele Fakten genannt, dann zeigt sich darin ein ausgeprägtes Vorwissen, werden zahlreiche Bedeutungen formuliert, dann ist davon auszugehen, dass die SchülerInnen an der Stoffeinheit interessiert sind (Abb. A29). Hohe Faktenkenntnis und wenig Bedeutungsennungen lassen darauf schließen, dass eine geringe Affinität zum geplanten Inhalt besteht.

Ist die Faktennennung gering und sind zusätzlich sogar zahlreiche Fehlkonzepte erkennbar, gepaart mit einer deutlichen Ausweitung der Bedeutungskriterien, so dürfen LehrerInnen damit rechnen, dass es sich um eine Unterrichtseinheit handelt, welche in ihrer Behandlung vom Schüler eher mitgetragen als nur konsumiert wird.

„Emotionen entstehen nur dann, wenn etwas auf dem Spiel steht, das uns wertvoll ist“ (Bordt, 2015, S.46). Eine Interessensgenese beginnt also mit einer Emotion oder ‘emotional gesteuerter Aufmerksamkeit’ im Zuge einer situativen Interessiertheit (Stark et al., 1998). In diesem Kontext ist es nicht zielführend, hinsichtlich der Motivation zwischen der „Dichotomie ‘intrinsisch-extrinsisch’“ zu unterscheiden (Buff, 2001). In der Regel handelt es sich um Mischformen, welche interessegenerierend wirksam sein können. Diese Zusammenhänge zwischen Wissen und dessen Bedeutung und damit wohl auch dessen Interessantheit zeigen sich auch bei der Anwendung, etwa in Form von Rollenspielen, in denen Argumente sehr unterschiedlicher Qualität und Verbundenheit zum Vorschein kommen und in denen sich auch manifestiert, was im vorangegangenen Unterricht an Ernsthaftigkeit und Überzeugungskraft bzw. Wirksamkeit mit vermittelt werden konnte (Belova et al., 2014).

Hinsichtlich der „Bedeutung“ spricht Maltzahn (2014) von drei Valenzen:

- - „Affektive Valenz (Verbindung des Lerngegenstands mit positiven Emotionen)
- - Kognitive Valenz (Wille zur Erkenntniserweiterung zum Lerngegenstand
- - Wertbezogene Valenz (Wertschätzung des Lerngegenstands“) (S. 205).

¹⁵² Das extreme Gegenteil vertrat Wolfgang Ratke im 17. Jahrhundert, der seinen Schülern das Fragen im Unterricht schlichtweg verbat!

¹⁵³ Früher: „Brain-storming“

Vom Staunen zum Fragen

Staunen als „broken knowledge“ (F. Bacon 1605)

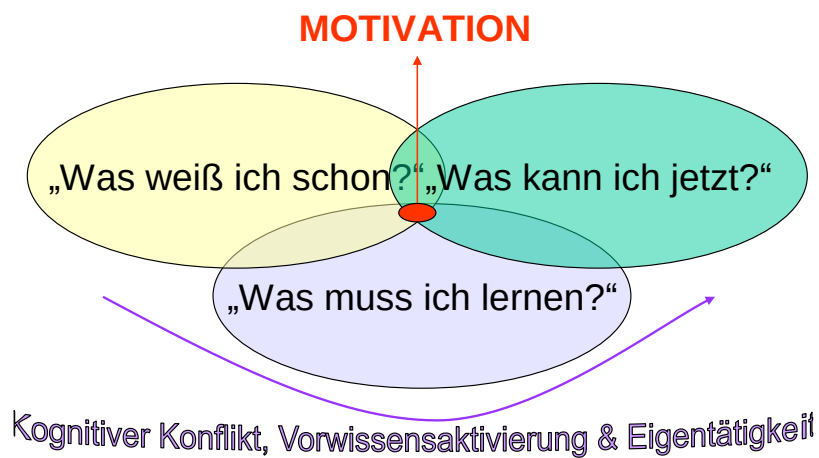
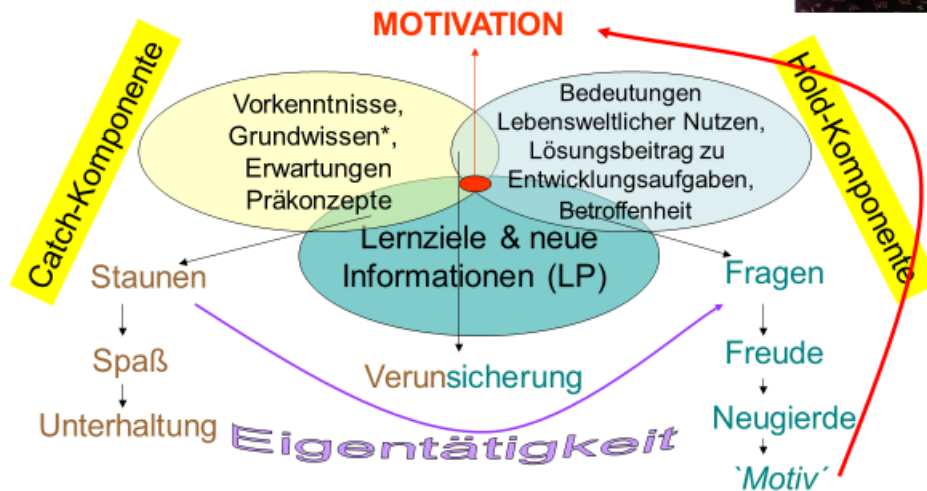


Abb. A29: Vereinfachtes Motivationsschema, mit dessen Hilfe es u. a. möglich ist, Vorwissen und Bedeutung des zu Erlernenden miteinander in Beziehung zu setzen. Schon bekanntes Vorwissen und die Rolle des Lerneffekts beeinflussen die Aufnahmefähigkeit der neuen Informationen (Lehrinhalt) (Vgl. Anton, 2008, S. 136). Zur „Eigentätigkeit“ lässt sich auch das „Spiel“ zählen, bei dem aus Spaß am Spiel Freude am Gelernten werden kann (Metzler, 2016)

So wie das Entdecken der Chemie im Alltagsgegenstand¹⁵⁴ und –prozess oftmals sehr schwerfällt, ist auch die Zurückführung chemischer Erkenntnisse in alltagsrelevante Zusammenhänge eine echte Aufgabe, die so ohne weiteres nicht lösbar ist, jedoch erst die finale Bestätigung der Lernleistung darstellt¹⁵⁵ (Abb. A30).

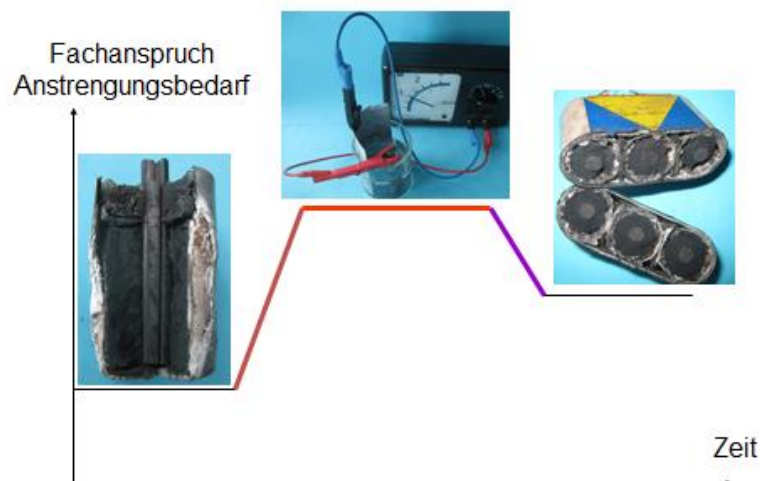


Abb. A30: Modellhafte Darstellung von drei Abschnitten eines Chemieunterrichts. Der Weg ins Fach hinein, der Weg durchs Fach und der Weg aus dem Fach hinaus (Vgl. Anton, 2008, S. 124). Als Beispiel dient die Inhaltsbehandlung „Aufbau einer Batterie“: Eine längsgeschnittene Taschenlampenbatterie wird in ihren Bestandteilen entschlüsselt, anschließend erfolgt ein Nachbau der Batterie. Am Ende wird der Bau einer 4.5V-Batterie aus drei 1.5V-Einheiten geschlussfolgert. Aus Neugierverhalten werden Analyse, dann Synthese und letztlich Systematik.

Neben der sinnvollen inner- und außerunterrichtlichen Anwendbarkeit des chemischen Wissens geht es auch um die Förderung kreativer Wissensnutzung. Die Diversität und Heterogenität von Schülern und Schülerinnen muss als Quelle einer gesellschaftlich so notwendigen Zukunft gestaltenden Kreativität erkannt werden. „Individualität [ist] die beste Antwort in der Gegenwart auf die unbekannten Fragen der Zukunft. Und daraus ergibt sich auch mehr als schlüssig, dass wir auf kein einziges Talent verzichten können“ (Hengstschläger, 2012, S. 154). Die Identifizierung und Förderung besonderer Kreativität, auch `um Dinge zu tun, die kein Ziel haben´¹⁵⁶ und Begabungen im Chemieunterricht¹⁵⁷ steht hier vor sehr speziellen Herausforderungen, deren konkrete Bewältigung fallweise schon gelingt (Stenner, 1997; Haim, 2013; Weßnik & Euler, 2014; Haim & Aschauer, 2022). Dabei geht es einmal um Kriterien für die Entdeckung

¹⁵⁴ Für „Alltag“ soll hier folgende Def. gelten: Alltag ist die gestaltete, verlässliche und bekannte Umwelt, die zur meist routinemäßigen Befriedigung von Bedürfnissen und Wünschen (Arbeit, Konsum, Freizeit, Schlaf, Sozialkontakte) zur Verfügung steht. Eine umfangreiche Zusammenstellung von Lehrplaninhalten des gymnasialen Chemieunterrichts mit den dazu passenden Alltagsbeispielen findet sich bei Pousset (2013)

¹⁵⁵ Lernprozesse bestehen aus vier Stadien: konkrete Erfahrung, reflexive Beobachtung, abstrakte Hypothesen und aktive Überprüfung, Übertragung oder Anwendung, wobei letzteres ein Teil des Lernprozesses ist; erst durch das vierte Stadium ist der Lernprozess abgeschlossen! (Arnold, 2009, S. 185).

¹⁵⁶ Vgl. Natalie Knapp *1970, Philosophin, im Zeitungsinterview der SZ vom 2./3.2.2013, S. V2/10

¹⁵⁷ In der vorliegenden Abhandlung soll der Begriff „Begabung“ primär im Kontext von Schule, darin von Person- und Bedingungsselektion im Sinne einer flexiblen Handhabung (Heller, 2000) verstanden werden. Begabung umfasst hierbei die genetische, volitionale und umweltbedingte besonders günstige Voraussetzung für Lernfähigkeit, Kritikfähigkeit und Problemlösefähigkeit.

chemiespezifischer Begabungsmuster und zum anderen um die Entwicklung eines differenzierten Lern- und Leistungsangebots zwischen Pflicht und Kür; denn „in der Schule muss mehr stattfinden als natürliches Wachstum“¹⁵⁸. Beiden Forderungen müssen sich die hierfür sensibilisierten Lehrpersonen erfolgreich stellen. Nach Fischer (2015) und Rechter (2011) entsprechen diese Prämissen dem, was *Förderunterricht* verlangt: „ein sehr systematisches, strukturiertes, kleinschrittiges und lehrkraftzentriertes Vorgehen“ (S. 34 bzw. 148), auch und gerade bei der Suche nach Wissensanwendungen.

Man kann hier von „kohärentem“ Unterricht sprechen. Kohärente Lehr-Lern-Gelegenheiten stellen systematische Bezüge her, welche es den Lernenden ermöglichen, damit Strukturen, Inhalte und Phasen als zusammenhängend und sinnhaft zu erkennen (Hellmann et al., 2018).

¹⁵⁸ Aus einem Artikel von Winfried Böhm (Prof. em. für Pädagogik, Universität Würzburg) in „chrismon“ (2013) 1, 42-43 (Beilage der SZ)

A 6.3 Kognition und Emotion

Guter Unterricht fördert jeden einzelnen Lernenden hinsichtlich genetischer sowie epigenetischer (Bauer, 2006b)¹⁵⁹ Disposition, Motivation, Interesse und auf der Basis der jeweiligen Ausbildung des Fakten-, des Konditions- sowie des funktionellen Wissens (Neber, 1993, 2000). Er unterstützt sowohl die Ausbildung größerer Sinneinheiten („chunks“) für das Arbeitsgedächtnis als auch deren problemlösungsorientierte kreative Assoziierbarkeit und schafft die Grundlagen für ein schulunabhängiges erfolgreiches und freudvolles¹⁶⁰ Weiter- und Tiefenlernen (‘Nichts ist so erfolgreich wie Erfolg’, Alfred Adler, 1870-1937), welches dann auch dem „Matthäus-Prinzip“¹⁶¹ (F. E. Weinert, 1930-2001) genügt, wonach ‘dem gegeben wird, der hat’, soll heißen ‘Jeder lernt, mit dem, was er schon weiß!’ „Fast alle neueren differentialpsychologischen Arbeiten ... stimmen darin überein, dass die verfügbaren inhaltlich-relevanten Vorkenntnisse für die produktive Nutzung des bereits Gelernten, für die Verarbeitung neuer Informationen und für den Aufbau einer intelligenten Wissensbasis eine notwendige Lernvoraussetzung darstellen“ (Weinert, 2000, S. 45).

In der Mitgestaltung und Mitnutzung außerschulischer Lernbedingungen im familiären und gesellschaftlichen Bereich (Anton, 2010a, 2012) verringert guter Unterricht die Unterschiede im Leistungsspektrum einer Lerngruppe nach oben (Helmke & Weinert, 1997) und erweitert die Möglichkeiten für Erfolgserlebnisse und Anerkennung. Zudem schafft er Optionen für wissenschaftspropädeutisches Arbeiten und einem „Role-taking“, was wiederum bei der Erprobung von beruflichen Vorstellungen hilft (Messner, 2007). Passend hierzu fasst Meermann (1987) wichtige Untersuchungsergebnisse aus dem Projekt „Unterrichtsqualität und Leistungszuwachs“ des früheren Münchner Max-Planck-Instituts für Psychologische Forschung an 1600 SchülerInnen der Jgst. 5 und 6 (Hauptschule, Bayern) zusammen: „Zwar habe ein direkter Unterricht [der bei extremer Nutzung der Lernzeit vorrangig instruktiv abläuft und zu sehr ausgeprägten kognitiven Leistungssteigerungen führt; der Verf.] durchaus auch positive motivationale Folgen, ..., doch könne er eben langfristig zu erheblichen Einbußen der Lernfreude führen“. Aktuell werden diese Diskriminierungen zwischen kognitivem Erfolg und affektiven Defiziten durch Untersuchungen von Sander & Ferdinand¹⁶² (2013) zum Effekt des „selbstgesteuerten Lernens“ (SGL) (Vgl. Bauer, 2015) im Rahmen des ‘blended learning’ bestätigt.

¹⁵⁹ Der Begriff „Epigenetik“ bedeutet „außerhalb konventioneller Genetik“ und umfasst alle molekulargenetischen Informationen, die nicht im Erbgut enthalten sind, aber dennoch langfristig von den Zellen gespeichert werden (Jaenisch & Bird, 2003). „Epigenetik“ untersucht molekulare Strukturen ‘auf’ der DNA, die auf die Regulation der Gene wirken und ebenfalls vererbare Informationsträger sein können: „Zweiter Code“ (Vgl. auch: Nestler, 2013). Die Gene, welche durch die DNA codiert werden, sind nicht alle gleichzeitig aktiv, d.h. ihre Information wird nicht zeitgleich in enzymatische oder hormonelle Proteine übersetzt. Seitenketten (Methyl- oder Acetylgruppen) an Eiweißen (Histone), die mit der DNA assoziiert sind, beeinflussen den jeweiligen Gen-Ein- oder Ausschalter (Promotor). Psychische Erfahrungen, die vom Gehirn in biologische Signale überführt werden, können auf diese Seitenketten einwirken, sie vermehren oder abspalten und damit bleibende Verhaltensweisen generieren, die etwa bei gleicher Genstruktur eine epigenetische Variante (beispielsweise hinsichtlich Stressresistenz) darstellen. Gerade diese „psychischen Erfahrungen“ (Zuwendung, Anerkennung, Förderung vs. Hospitalismus) gilt es beim Unterrichten, insbesondere in den unteren Jahrgangsstufen zu beachten.

¹⁶⁰ Der holländische Philosoph Baruch Spinoza (1632-1677) beschrieb ‘Freude’ als einen „Übergang des Geistes in einen vollkommeneren Zustand“.

¹⁶¹ Nach Beck (2020): „Kooperativität“ (S. 113)

¹⁶² Hier findet sich auch eine sehr kompakte Zusammenstellung der „theoretischen Wurzeln“ autonomen Lernens (S. 48-51)

Eine Ursache hierfür könnte sein, dass extrinsische Motivationsfaktoren den intrinsischen längerfristig entgegen gerichtet sind oder dass die Bedürfnisse nach lockerer Atmosphäre und gelegentlichen privaten Gesprächen frustriert werden¹⁶³. „Diejenigen Unterrichtsmerkmale, die sich als stärkste Prädiktoren einer günstigen Leistungsentwicklung herausgestellt hatten (Klarheit [insbesondere der Anleitungen, Aufgaben, Fragen], individuelle fachliche Unterstützung und intensive Nutzung der Unterrichtszeit für die Behandlung von Stoff), erwiesen sich zumindest partiell als Risikofaktoren für die Entwicklung einer positiven affektiven Einstellung zum Lernen“ (Helmke & Weinert, 1997, S. 150). „Menschen lassen sich normalerweise nur auf sach- oder sozialbezogene Tätigkeiten ein, wenn sie damit ein positives Selbstwertgefühl bzw. Selbstkonzept steigern oder aufrechterhalten können“ (Herber & Vásárhelyi, 2003). Diese emotionalen¹⁶⁴ Komponenten werden häufig unterbewertet, spielen aber für die Merkleistung und die Lust am anwendenden Wiederholen des Gelernten eine unverzichtbare Rolle: „Gefühle können die Leistungsfähigkeit jeder kognitiven Kompetenz entscheidend beflügeln oder behindern ...“ (Korte, 2012, S. 164). Und: „Wirkliches und gesichertes Wissen, aber auch Motivation entstehen erst durch das *handelnde* oder *fühlende* Ausprobieren des Gelernten. Wissen, das ohne Zusammenhang mit überzeugenden Aktions-, das heißt Anwendungsmöglichkeiten aufgenommen werden soll, hat in neuronalen Netzwerken, in denen es um nichts anderes als um Handlungsvorstellungen und die dazugehörenden Empfindungen geht, keine Überlebenschance“ (Bauer, 2006, S. 123-124) (Abb. A31).

¹⁶³ „Effektive Organisation des Unterrichtsablaufes ist dann gewährleistet, wenn der Lehrkraft ein situationsangemessener und schwungvoller Wechsel zwischen verschiedenen Unterrichtsphasen und Formen der Arbeit gelingt (‘smoothness’ und ‘momentum’). Bei den erfolgreichen Lehrern fand sich auch ‘Allgegenwärtigkeit’, d.h. sie verteilen ihre Aufmerksamkeit und die Einbeziehung von SchülerInnen so, dass Störungen frühzeitig erkannt und damit unterbunden werden können (‘withitness’ und ‘overlapping’).“ (Bromme, 1997, S. 189).

¹⁶⁴ Etymologisch leitet sich „Emotion“ von lat. *movere* (=bewegen) und dem Präfix „e“ (dtsch: „hin, hinzu“) ab, bedeutet also „sich auf etwas hinbewegen“

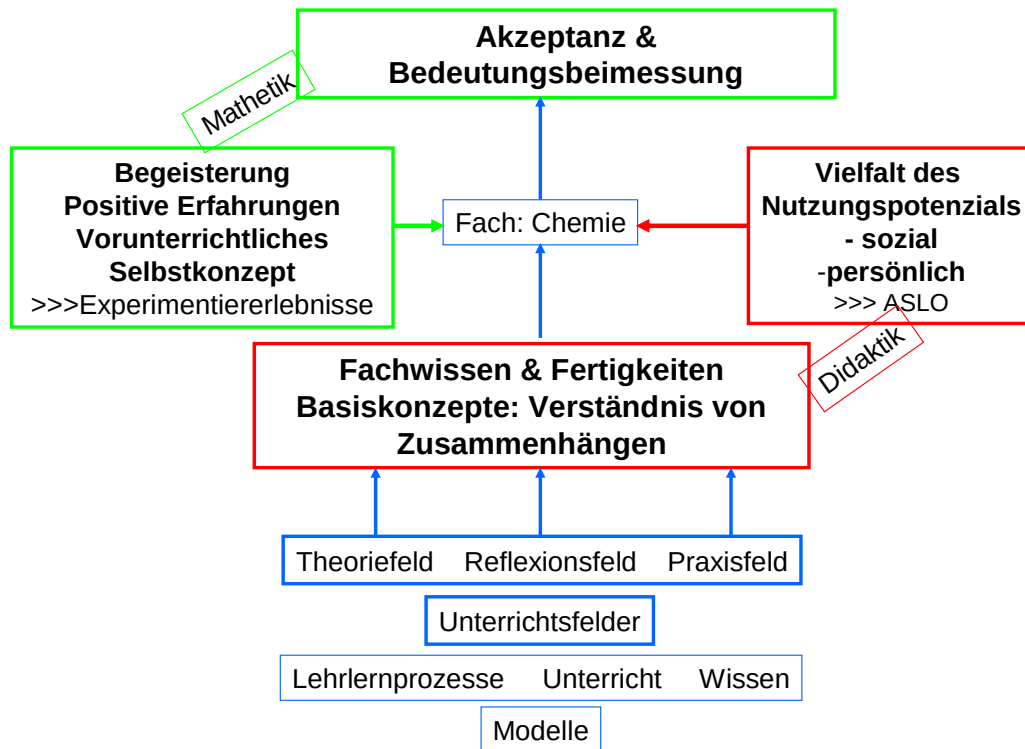
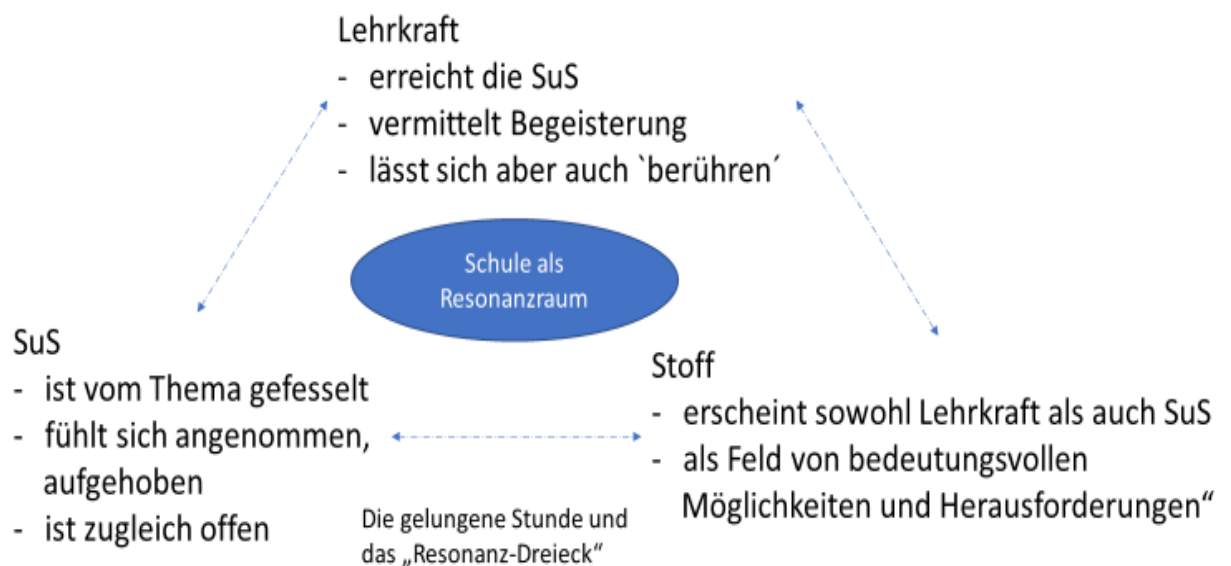


Abb. A31: Die fachspezifische Chemieleistung wird nicht ausschließlich durch die Aufbereitung von Inhalten und die Leitung von Schülerübungen erzeugt. Vielmehr müssen auch mathetisch begründbare positive Erfahrungen ermöglicht werden wie auch didaktisch begründbare eindrucksvolle Erlebnisse beim Anwenden des chemischen Wissens, möglichst auch außerhalb von Unterricht und Schule („Außerschulische Lernorte“, ASLO) und mit dem Ziel der beruflichen Orientierung.

Es ist also nicht nur sinnvoll, sondern außerordentlich wichtig, dass sich zwischen Lehrkraft und Schüler*in ein konstruktives Verhältnis zwischen didaktischem Bringen und mathetischem Holen einstellt, sondern auch ein Gleichgewicht zwischen Aufwandbereitschaft und Bedeutung des Inhalts für beide! Rosa spricht hier von der pädagogischen Resonanz (2016) oder „Resonanzpädagogik“ als Prinzip, vergleichbar vielleicht auch mit den „fruchtbaren Momenten“ im Bildungsprozess (Copei, 1962). Ob es gelingt, solche idealen Verhältnisse im Lehrernprozess zu erzeugen und als Normalität dauerhaft zu ermöglichen, kann auch als Kriterium für guten Unterricht gesehen werden. Merzyn (2013) beschreibt elf Merkmale von gutem Unterricht:

- M1 lernförderliches Klima
- M2 vielfältige Motivierung
- M3 verständliche, gut strukturierte Darbietung des Stoffes
- M4 Lernen eingebettet in alltagsnahen Kontexten
- M5 vielfältige Unterrichtsmethoden
- M6 verständnisfördernde Unterrichtskommunikation
- M7 Förderung aktiven, selbstgesteuerten Lernens
- M8 Individualisierung und Differenzierung
- M9 intelligentes Üben und Wiederholen
- M10 angemessene Leistungserwartung und Kontrollen
- M11 klare Klassenführung und Strukturierung des Unterrichts.

Gerade durch umsichtig vorbereitete kleinschrittige, bruchlose und behutsam vorgeführte¹⁶⁵ Strukturierungen (Vgl. M3 und M11) im inhalts- wie handlungsbezogenen Erarbeiten und Anwenden fachspezifischer Fähigkeiten und Fertigkeiten werden den SchülerInnen in ihren Denkleistungen unterstützt (Arnold, 2009 spricht hier von „brain-based learning and teaching“), in ihrer Intelligenzentwicklung¹⁶⁶ gefördert und erleben Lernerfolg, weil es ihnen schneller und effizienter gelingt, Phänomene mit erklärenden Modellebenen zu verknüpfen (van Keßel et al., 2012¹⁶⁷). Auch hier heißt es: „Schnelles Denken langsam lernen“ (Abb. A32).



¹⁶⁵ Hier kann durchaus von „Cognitive Apprenticeship“ (Collins et al., 1989) gesprochen werden, als ein Oberbegriff für eine interaktive (zwischen Lernendem und Experten) Lernmethode, die die effektiven Bestandteile des traditionellen Meister-Lehrling-Verhältnisses auf kognitive Lernziele anwendet.

¹⁶⁶ „Intelligenz ist eine sehr allgemeine geistige Kapazität, welche die Fähigkeit zum schlussfolgernden Denken, zum Planen, zur Problemlösung, zum abstrakten Denken, zum Verständnis komplexer Ideen, zum schnellen Lernen und zum Lernen aus Erfahrung umfasst“ (Sammeldefinition von 52 international renommierten Experten; GEOkompakt Themenheft „Intelligenz, Begabung, Kreativität“ (2011) 28, S. 24-25) „intellegere“ (lat.) = einsehen, verstehen

¹⁶⁷ „Besonders den großen Schwierigkeiten beim Formulieren von Reaktionsgleichungen muss begegnet werden. Es kann beispielsweise hilfreich sein, zunächst auf der Basis von Reaktionsgleichungen in Worten zu arbeiten, bevor mit der Einführung von Reaktionssymbolen begonnen wird“ (S. 49).

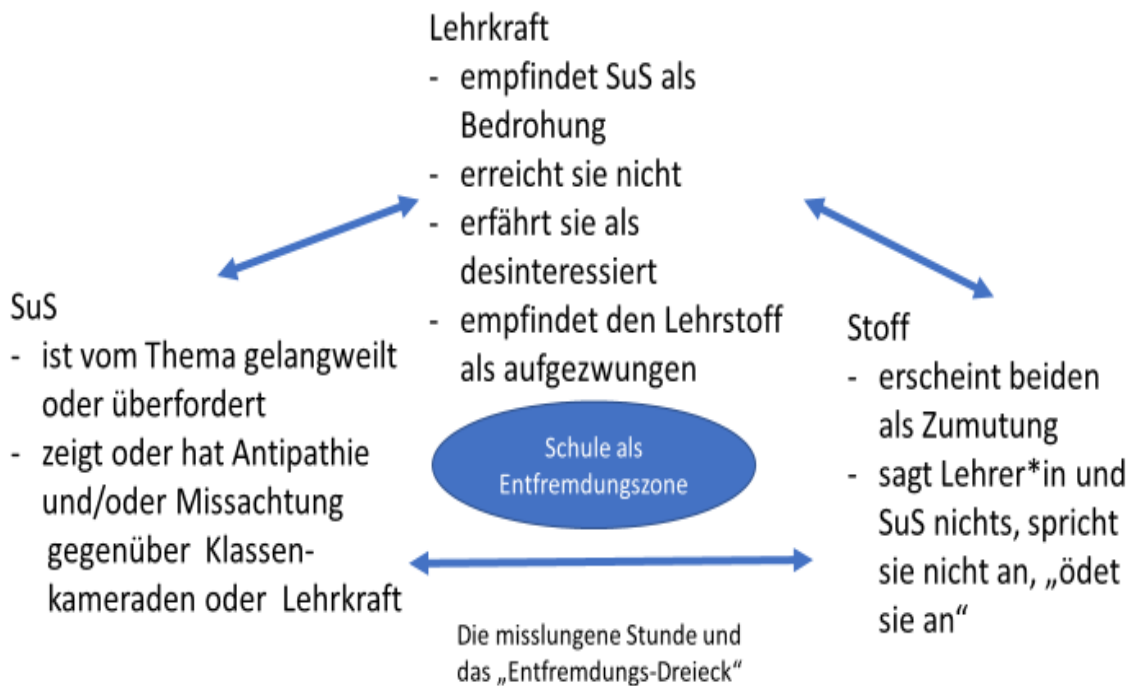


Abb A32: Gegenüberstellung der ge- und der misslungenen Stunde, wie sie aus Sicht der „Resonanzpädagogik“ beschrieben wird. Die klare Unterscheidbarkeit eignet sich besonders zur Verdeutlichung dessen, was in der Beziehung zwischen Lehrkraft, Stoff und Schüler*innen an Unterrichtsqualitätspotential zu finden ist (Abb. nach Rosa & Endres (2016, S. 45 und 46; verändert)

A 6.4 Wissensgenese durch Wissensnutzung

Es macht einen Unterschied, ob man Inhalte des Fachs Chemie fertig, widerspruchsfrei und ‚end-gültig‘, problembefreit und von Ausnahmen isoliert präsentiert oder ob die Lehrperson die Bausteine einzeln im Unterrichtsgeschehen entwickelt, lösbare Problemlagen identifiziert und dann erst zweckbestimmt unter Mitwirkung (besser durch *Beitragen*) der Schüler zu einer logischen Reihenfolge kombiniert. Erst wenn ein Arbeitsweg zum Erkenntnisgewinn in seinen Abschnitten nachvollziehbar verstanden ist, von seiner Anwendbarkeit aus gesehen mit Sinn belegt werden kann, lassen sich die Bausteine anders, mehrfach neu, zu kreativen Ideen, Forschungsfragen oder problemorientiert zusammenfügen (Anton, 2001d).

Die Frage lautet: „Wie leitet man Schüler an, den persönlichen Lernweg selbstständig und erfolgreich zu gestalten“? (Giffhorn, 2015, S. 217). Zur Förderung des „verstehenden Lernens“ (Seilnacht, 1998) spielen hier „Lernaufgaben“¹⁶⁸ (Manzardo, 2004; Kleinknecht et al., 2013; Ralle et al., 2014; Leisen, 2010, Blumschein, 2014), welche neben der Aufgabenstellung auch Kontextbezüge und zum Teil gestufte Unterstützungsbeiträge („Leitkartenmethode“ Leika: Lehmann, 2001; „Leittext-Methode: Brinkmann et al., 1995; „Gestufte Tippkarten“, Ostwinkel et al., 2015) enthalten, eine besondere Rolle (Haagen-Schützenhöfer, 2012).

Bezüglich einer Definition gibt es viele unterschiedliche Ansätze, die sich letztlich doch auf den Punkt bringen lassen: Lernaufgaben sind Prüfungsaufgaben mit gestifteten Hilfen, sogenannten „unspezifischen oder spezifischen Hinweisreizen“ (Forster, 2014), welche die Erinnerung an notwendige Gedächtnisinhalte fördern“. „Ein Hinweisreiz hilft assoziativ (‘bahnt sich den Weg’) und schnell, die Situation zu beurteilen. Wenn man also einen Hinweisreiz (Priming; [von engl. *to prime*: in Bewegung setzen, vorbereiten]) bekommt, lässt sich Gelerntes leichter abrufen und eine vergleichbare Aufgabe leichter lösen: So ist es einfacher, in einem Klassenzimmer auf dort gelerntes Wissen zuzugreifen, als anderswo; ...“ (Korte, 2017, S. 77 & 72; vgl. auch: Gold & Brod, 2021).

Andere Definitionen lauten wie folgt:

- ‚Lernaufgaben sind im pädagogischen Arbeitsalltag meist als solche Arbeitsaufträge der Lehrenden an die Lernenden beobachtbar, mit denen eine Lerner selbsttätigkeit in Gang gesetzt und in Gang gehalten werden soll, die auf eine Selbsterschließung von neuem Wissen und Können zielt‘ (Müller, 2009¹⁶⁹).
- ‚Eine Lernaufgabe ist eine Lernumgebung zur Kompetenzentwicklung und steuert den Lernprozess durch eine Folge von gestuften Aufgabenstellungen mit entsprechenden Lernmaterialien‘ (Leisen, 2004¹⁷⁰).

Die vielfach feststellbare Unsicherheit bei der Festlegung auf das, was Lernaufgaben eigentlich ausmacht, beruht primär auf der Nichttrennung von „Lernprozessen“ und „Aktionen des Problemlösens“ (Wilhelm et al., 2015, S. 9).

Nach Regelein (1997) gelten für die Gestaltung von Lernaufgaben folgende Prinzipien (zitiert aus Mathes, 2000, S. 20):

- Lernzielbezug

¹⁶⁸ Vgl. Motto der Fachtagung der Gesellschaft für Fachdidaktik (GFD) vom 6.-8.10.13 in Dortmund: „Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen – Ergebnisse und Perspektiven der fachdidaktischen Forschung“ Vgl. auch Themenheft „Lernaufgaben“ NiU-Ch 25 (2014) 142

¹⁶⁹ http://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user_upload/diz/download/Forschung_und_Entwicklung/Projekte/KLee-Projekt/Lernaufgaben_und_Aufbau_des_Wissens_M%DCLLER_gesamt.pdf (♢26.9.15)

¹⁷⁰ [www.josefleisen.de/uploads2/02_Der_Kompetenzfermenter - Ein Lehr-Lern-Modell/04 Lernaufgaben als Lernumgebung zur Steuerung von Lernprozessen.pdf](http://www.josefleisen.de/uploads2/02_Der_Kompetenzfermenter_-_Ein_Lehr-Lern-Modell/04_Lernaufgaben_als_Lernumgebung_zur_Steuerung_von_Lernprozessen.pdf) (♢26.9.15)

- Anregung zu selbstständigen Lernaktivitäten
- Einbettung in einen persönlichen Sinnhorizont¹⁷¹ (Sinnstiftendes Lernen)
- Angemessener Schwierigkeitsgrad (unter Berücksichtigung des jeweiligen Lernentwicklungsstandes und unter Einsatz der sogenannten `Zone der nächsten Entwicklung´ (Werning & Lies, 2000, S. 5).

Mit ihnen wird selbstgesteuertes Lernen (SegeL) oder selbstorganisiertes Lernen (SOL¹⁷²) gefördert. Schmit et al. (2014) verstehen Lernaufgaben „als jedwede Aufgabenstellung, die darauf zielt, das `Lernen der Schüler´ zu unterstützen“ (S. 25) sowie „als Bindeglied zwischen der Oberflächen- [...] sämtliche Gestaltungselemente des Unterrichts, die einem Beobachter unmittelbar zugänglich sind [...] und der Tiefenstruktur, da sie die kognitiven Aktivitäten der Lerner mit Blick auf die angestrebten Kompetenzen bzw. Teilkompetenzen initiieren sollen“ (S. 28)¹⁷³. Die zunehmende Verständnistiefe stärkt das Selbstkonzept und fordert zur vielfältigen Nutzung des Wissens heraus. Die Differenzierung solcher Aufgabenstellungen begegnet natürlich immer auch unterschiedlichen Lernstilen (vgl. Giffhorn, 2015; S. S.79). Beispiele für konkrete Umsetzungen, etwa auf dem Gebiet der Selbstbeurteilung (Pampillon, 1996), der kooperativen Protokollierung (Witteck & Eilks, 2004) sowie der Bewertung kooperativer Schülerleistungen (Hepp, 2006), auch beim Experimentieren (Schmidkunz, 2006) finden sich zudem in der lehrerInnenorientierten Literatur.

Diese oben aufgeführten Zielsetzungen erfahren bei den begabten Schülern eine besondere Zuwendung und werden von ihnen als Arbeitsstrategien aufgenommen (Oesterheld, 1998), mit welchen sie die Lehrarbeit der Lehrperson proaktiv unterstützen. So werden aus den durchschaubaren Lehrstrategien der Lehrperson adaptierte Lern- und Arbeitsstrategien des Schülers, was sich wiederum deutlich zeigt bei vielfältigen Vorschlägen zur empirischen Prüfung einer und derselben Hypothese. Genau genommen handelt es sich um die Vermittlung „detaillierter Pläne“, antizipierter Handlungsmuster als komplexe Erfahrungsextrakte¹⁷⁴ für die Lösung von Problemen. Das entspricht einer Erweiterung des „Zeigarnik-Effekts“, wonach ein sehr klarer folgerichtiger Problemlöseplan bereits der finalen Lösung des Problems gleichgestellt werden kann (Dobelli, 2012, S. 187; Schröder, 1985)¹⁷⁵, was wiederum die Leistungsbereitschaft zu erhöhen vermag.

Solche Verknüpfungen können durch die Vergegenständlichung der Modellebene, also durch die Konkretisierung abstrakter Vorstellungen zusätzlich unterstützt werden. Haupt (1982), Barke & Harsch (2001), Sauermann & Barke (1997, 1998, 1999) entwickelten hierzu die „Strukturorientierte Chemie“. Durch den dreidimensionalen Umgang mit beispielsweise Zellstoffkugeln (inkl. Farbe & Klebstoff) werden die Folgen von Kräftewirkungen, etwa zwischen Ionen konstruiert und so „erfassbar“ gemacht. In Abhängigkeit von den Teilchengrößen (Atom-, Ionenradien, Molekül-Körpern) entstehen Raumformate, welche empirisch ermittelbare Phänomene auf ganz andere, jedoch wiederum „modellphänomenologische“ Weise erfahrbar machen, wie dies z.B. auch an Modellen zur Wasseranomalie gezeigt werden kann (Anton & Thurmair, 1998).

¹⁷¹ „Wer um einen Sinn seines Lebens weiß, dem verhilft dieses Bewusstsein mehr als alles andere dazu, äußere Schwierigkeiten und innere Beschwerden zu überwinden“ (Viktor Frankl, 1905-1997, weltbekannter Psychologe)

¹⁷² Die Abkürzung SOL steht vereinzelt auch für „Am Schüler orientiertes Lehren“

¹⁷³ Experimentelle Lernaufgaben, etwa „Wie funktioniert ein `Bodyheater´?“ finden sich bei „Lebensnaher Chemieunterricht“ (LNCU.de; NiU-Ch 2014, 142 (Beiheft); S. a. „Chemieunterricht mit medizinischem Zubehör“, ChemZ)

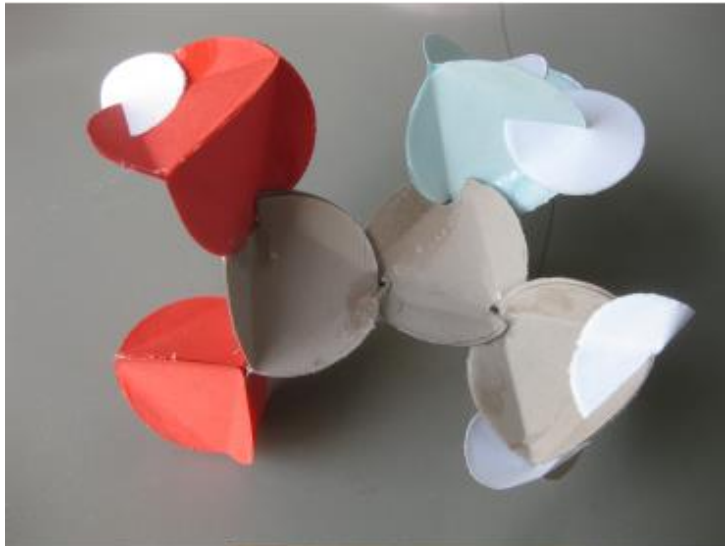
¹⁷⁴ Wissen, das durch Generalisierungen („generisch“) aus vorherigen Erfahrungen in vergleichbaren Situationen zusammengesetzt wird (Korte, 2012, S. 186)

¹⁷⁵ Bei W. Shakespeare heißt es dazu: „Die Hoffnung auf Genuss ist fast so süß wie erfüllte Hoffnung“

In einem weiteren Beispiel der 'Strukturorientierung' werden nach realexperimentellen Tests zur elektrischen Leitfähigkeit und Duktilität von Kupferblech und Magnesium analogisierende Beobachtungen an Magnet- und/oder Zellstoffkugeln gemacht (Herdt, 2013). In Kombination mit ausgewählten Zusatzinformationen zum Vorkommen, zu weiteren mess- und beobachtbaren Eigenschaften von atomar, ionisch und molekular aufgebauten Reinstoffen sollen Schlussfolgerungen auf die Ursache „unterschiedlich struktureller Begrenztheit“ (hierzu bilden metallisches Na^+ -Kationengitter, Cl_2 -Molekül und $[\text{Na}^+\text{Cl}^-]_\infty$ als „kleinste immer wiederkehrende Einheit“ eines Kochsalzkristalls geeignete Extrema) von Stoffen der Umwelt gezogen werden, wie sie für Metalle, Salze und flüchtige Stoffe jeweils zutreffen.

Es ist hier anzunehmen, dass die realgegenständliche Verwendung von Modellen bei den Schülern ähnlich handlungsorientierte Wirkungen hat und damit ähnlich motivierende Konsequenzen nach sich zieht, wie der erlebnisreiche Umgang mit den chemischen Geräten und Chemikalien¹⁷⁶. Dies ist umso wichtiger, als herausragende Unterrichtsziele des Chemieunterrichts nicht nur einen höheren Denkeinsatz beanspruchen, sie sind bedauerlicherweise auch weniger attraktiv als das reale Erleben. In diesem Kontext können auch die „Chemischen Papier-Modelle“ (CPM) nach Beck-Mannagetta (2013) gesehen werden (Abb. A33). Dabei geht es um ausgeklügelte Klebetechniken mit unterschiedlich gefärbten und dimensionierten Papierscheiben. Es lassen sich sehr einfache und schnell erstellbare Modelle von anorganischen wie auch organischen Molekülen „basteln“, was wiederum für SchülerInnen der Unter- und Mittelstufe altersgerecht und damit attraktiv ist.

¹⁷⁶ Diese Abfolge ist nicht auf die Chemie beschränkt: Julia Fischer, die zu den weltweit bekannten besten Violinsolisten zählt (<http://www.juliafischer.com/index.php/de/biografie-de>), berichtete in einem Fernsehinterview am 16.5.2013, dass der Ursprung Ihrer Begeisterung für das Violinspielen ein selbst gebasteltes Modell einer Geige war. Aus einem Holzstab, einer leeren Zigarettenschachtel und darüber gespannten Schnüren sowie aus einem Holzstecken als Bogen übte sie die Körperhaltung beim Geigespielen. Daraus entwickelt sich dann das „echte Spielen“ mit dem Instrument. Zuerst gab es also das Modell, dann das „echte“ Phänomen.



Aminosäure: Alanin



NO_2



Abb. A33: Papierklebe-Modelle mit Bastelzubehör für Gruppenarbeiten (nach Beck-Mannagetta, 2013)

Derartige Überlegungen und Vorgehensweisen rechtfertigen sich aus der Tatsache, dass eindrucksvollen Phänomenen, also auch dem `gebastelten' Bau von Modellen eine stärkere motivationale Attraktivität zugeschrieben werden kann als den reinen Abstraktionen, etwa am Monitor.

A 6.5 Begabungen

Beides, verstehbar gemachte Inhalte und bestmögliche lernfördernde Methoden beschreiben die Bedingungen des Lehrlernprozesses. Sie provozieren eine Fülle unterschiedlicher Bedingtheiten des Lernens, so auch die physische und psychische Verfasstheit des Lernenden¹⁷⁷. Von beiden wissen wir heute immer genauer, wie sie sich auf den Lernprozess, auf das gegenstands- und beziehungskonstituierende Gelingen auswirken. Deshalb sollten `Lehre vom Lehren´ (Didaktik) und `Lehre vom Lernen´ (Mathetik) deutlich voneinander unterschieden werden, damit sie optimal aufeinander abgestimmt werden können; denn nur, was sich unterscheidet, kann sich ergänzen!

Subsummiert man unter diese Bedingtheiten neben der aktuellen persönlichen Verfasstheit der SchülerInnen auch die unterschiedlichen „Fähigkeitsgrade, Lern- und Leistungsvoraussetzungen oder Dispositionen“ (Hoyer et al., 2013, S. 7) als „mehr oder weniger gut begründete Hypothesen“ von Begabung (Hoyer et al., 2013) bzw. von Talentiertheit (Bartenwerfer, 1993¹⁷⁸) und breitet sie innerhalb der beiden Inklusionsextrema „Minder- und Hochbegabung“ aus, dann werden nach Rekus (1993) fünf Dimensionen der Lernarbeit bedeutsam, die jeweils eher fremd-, mit- oder selbstbestimmt gestaltet werden können:

- Ziel
- Gewählter Arbeitsweg
- Arbeitsmaterial
- Dauer
- Partner.

Versteht man „Begabtenförderung als Förderung von Kompetenznutzung und Kompetenzentwicklung“ (Neber, 2001), dann lassen sich im Zuge einer ganzheitlichen Begabtenförderung „drei generelle Zielperspektiven“ ableiten¹⁷⁹:

- „Selbststeuerung und Selbstverantwortung,
- Steigerung des kognitiven Niveaus und
- Ausweitung von Erfahrungs- und Aktivitätsbereichen“ (Neber, 2001, S. 7).

Begabte würden demnach von einer selbstbestimmten Organisation profitieren können. Diese Selbstbestimmung ist nicht willkürlich und sie steht nicht am Beginn, sondern vielmehr am Ende einer erfolgreichen Lernstrategieentwicklung. Für die SuS gilt: „Soweit ihre eigene Kontrolle reicht, haben sie sich von der Kontrolle der anderen befreit“

¹⁷⁷ Hierzu sind zwei Anmerkungen nötig. Zunächst sei verwiesen auf das „Teilleistungs-Modell“: „Teilleistungen sind Leistungen einzelner Faktoren oder Glieder innerhalb eines funktionellen Systems, die zur Bewältigung einer komplexen physiologischen (z. B. Atmung, Lokomotion) oder psychologisch-pädagogischen Aufgabenstellung (z. B. Wahrnehmung, Denken, Sprechen, spezielle intellektuelle Funktionen wie z. B. Rechnen, Schreiben, Lesen) erforderlich sind“ (Dietel, 1989, S. 81). Hierzu sollen auch die sogenannten `Minimalen cerebralen Dysfunktionen´ (MCD) (Kiphard, 1989, in Anschütz, 1992) in Betracht gezogen werden: „Damit sind leichte Hirnfunktionsstörungen gemeint, die dem Laien kaum auffallen, die aber das Wahrnehmungs- und Bewegungslernen der Kinder erheblich beeinträchtigen. MCD kommen unter Kindern der Normalpopulation bis zu 20% vor. ... Mit den Mitteln der Kinderneurologie sind solche leichten hirnorganischen Schädigungen jedoch in vielen Fällen nicht nachweisbar. Man kann lediglich die Auswirkungen auf verschiedene Leistungs- und Verhaltensbereiche erfassen“ (Kiphard, 1983, S. 214-215; zit. aus Anschütz, 1992, S. 1)

¹⁷⁸ Bartenwerfer spricht von „Talent“ als „die Gesamtheit aller individuellen Voraussetzungen, durch die hervorragende geistige, künstlerische oder körperliche Leistungen ermöglicht werden“. Zu den `individuellen Voraussetzungen´ zählen z. B. „Intelligenz, Kreativität, soziale Geschicklichkeit, Wissen, Interessen und Motivationen, Ausdauer, Konzentration, Belastbarkeit, Vitalität, emotionale Stabilität, physische und psychische Gesundheit, Körperbau“ (S. 272)

¹⁷⁹ Eine zwar ältere aber sehr umfassende Zusammenstellung von Fördermaßnahmen für Begabte findet sich bei Reitmajer (1989)

(Maria Montessori; Oswald & Schulz-Benesch, 1996). Hierzu dient etwa das „Individualisierte Programmplanungsmodell“ (IPPM) nach Treffinger (1986), nach dem „die meisten der üblicherweise durch Lehrer realisierten Funktionen nach und nach auf die Schüler“ übertragen werden („Transformation der Rollen“) und Lehrer „von explizit Instruierenden immer mehr zu Beratern, Mentoren und Tutoren der Schüler werden“ (Neber, 2001, S. 9). In ihrem Buch „Frei Day“ beschreibt die Schulleiterin M. Rasfeld (2022), wie es möglich ist -ähnlich wie beim Projekt „Summerhill“ (1969)- SchülerInnen in die Eigenverantwortung zu entlassen damit sie ihr Lernen in die eigene Hand nehmen.

Mit solchen Justierungen der Rollen- und Aufgabenverteilung lassen sich auch ökonomische Bedingungen auf Lehr-Lern-Prozesse übertragen. Das verbessert sowohl die Entscheidungsfähigkeit hinsichtlich dessen, worüber es sich nachzudenken lohnt¹⁸⁰ als auch die Nutzung von aktiver Lernzeit¹⁸¹ im Sinne von Erhöhen und Konstanthalten der Aufmerksamkeitsleistung als Kriterium für Lernerfolg.

Aufmerksamkeit kontrolliert das Bewusstsein und steuert seine Ausrichtung. Sie wählt das aus, was in der Umwelt gerade am wichtigsten ist und verstärkt die Reaktionen des Gehirns. Unscharfes Empfinden (Perzeption) kann so leichter in bewusstes aktives Wahrnehmen (Apperzeption) übergehen. Für die jeweilige Umorientierung benötigt das Gehirn mindestens 300 Millisekunden. „Menschen lernen explizit das und nur das, worauf sich ihre Aufmerksamkeit bewusst oder unbewusst richtet“ (Weinert, 1998, S. 9). Postman (1995) spricht hier von der „ökonomischen Nützlichkeit“ der Schulbildung.

Aufmerksames Beobachten und Beschreiben ist nicht nur ein wesentliches Kriterium für empiriegeleitetes Lernen; es ist auch verbunden mit Konzentration auf Wesentliches und Verzicht auf mögliche Alternativen (Kohlhauf, 2012). Meist ist Neugier die Ursache¹⁸², was zur Folge hat, dass Stress und Angst, welche Kreativität und das freie Assoziieren („brainstorming“; Osborn, 1953) verhindern, vertrieben werden und dem Neuen nachgespürt werden kann (Korte, 2012). Jede Entwicklungsphase (Piaget, 1969, Lawson, 1978; Case, 1999) stellt hier eigene Bedingungen für zielgerichtete Anstrengungen (Übersicht bei Gagné, 1973, S. 229-235).

¹⁸⁰ In seinem Vortrag „This is water“ vor Absolventen des Kenyon College, Ohio (2005) betont David Foster Wallace (US-amerikanischer Schriftsteller, 1962-2008) die vordringliche Bedeutung des Entscheidenskönnens über das, worüber nachgedacht werden soll, gegenüber dem Denken per se. So ließe sich das „Recht auf Meinungsfreiheit“ auch dahingehend verstehen, dass jeder das Recht hat, auf eine eigene Meinung zu irrelevanten Sachverhalten (und deren gibt es bekanntlich viele) bewusst und absichtlich zu verzichten!

¹⁸¹ „Zur Erreichung gleich anspruchsvoller Ziele sind auch unter günstigen schulischen Bedingungen bei gravierenden Unterschieden in den Lernvoraussetzungen extrem große Zeitdifferenzen zu erwarten, wenn es überhaupt gelingt, dass alle Schüler das gleiche Leistungsniveau erreichen; hält man aber in heterogen zusammengesetzten Schulklassen die Lernzeiten konstant, so zeigen sich [bei diesem „zielerreichenden Lernen“ (der Verf.)] erhebliche individuelle Leistungsdifferenzen“ (Weinert 2001a, S. 8; Kohler & Göllner, 2013). Hierzu wird in der Literatur die „Kennzahl 5“ genannt. „Damit ist gemeint, dass in einer unausgelesenen Schülerpopulation die Besten im Vergleich zu den Schlechtesten nur ein Fünftel der Zeit zur Erreichung anspruchsvoller Lernziele benötigen“ (Weinert, 1998, S. 16). Weinert zitiert zu dem hier relevanten Begriff des „zielerreichenden Lehrens und Lernens“ (1994, S. 279) gerne einen US-Bildungsökonom, dem zu folge man die Schulzeit auf 120 Jahre erhöhen müsste um jeden Bürger zum Doktorzertifikat zu verhelfen (Weinert, 2001b)

¹⁸² In einem Hörfunkinterview berichtet Heller beispielhaft von einem frühen Zeichen von Begabung: „Kleinkinder, sagen wir mal ein halbes Jahr alt, liegen im Körbchen oder im Bettchen am Rücken und starren an die Decke und Hochbegabte fangen dann viel häufiger als nicht Hochbegabte sehr schnell an zu schreien. Wenn die Mutter das Kind auf den Arm nimmt, ist das Kind ruhig. Jetzt auf der Schulter der Mutter, durch die Kopfdrehung ist plötzlich der Weltausschnitt viel größer. Es hat sehr viel mehr neue Informationen, die es ausschöpfen kann“ (Poelchau, 1997, S. 27)

Die sukzessive Ausbildung einer chemiespezifischen Expertise ist Teil naturwissenschaftlicher Grundbildung¹⁸³. „Hochbegabt ist, wer in der Lage ist oder in die Lage versetzt werden kann, sich für ein Informationsangebot hohen Niveaus zu interessieren, ihm zu folgen, es zu verarbeiten und zu nutzen“ (Geuß & Urban, 1982). Diese „phänomenologische Definition“ kann durch eine kausale ergänzt werden: „Hochbegabung ist das Produkt aus Intelligenz¹⁸⁴, Kreativität und Anstrengungsbereitschaft in dem Bereich, in dem sich Kinder als besonders klug und flink erweisen“ (Korte, 2010, S. 331). Letzteres bezeichnet man auch als Kompetenz im Sinne von „Vorhandensein“, ersteres als „Performanz“ im Sinne einer „beobachtbaren erbrachten Leistung“. In dem Maße wie insbesondere hochbegabte Kinder mit Hilfe ihrer ihnen eigenen Agilität und Fragehaltung, durch die Flexibilität ihres Wahrnehmungsfilters und die ihnen häufig eigene Redegewandtheit eine Art positive Lernstimmung in ihrer Umgebung erzeugen, sind sie in der Lage, auch bei ungünstigen Bedingungen ihren Lernerfolg wirksam einzusetzen. Offensichtlich ist diese produktive Atmosphäre ein ausgesprochen begünstigendes Stimulans für geistige Tätigkeit und sollte deshalb auch im normalen Unterricht mehr Beachtung finden (Anton, 1998). „Um zu vermeiden, dass schulisches Lernen zum Erwerb eines trägen, mit seiner eigenen Systematik verlöteten und eingekapselten Wissens führt, muss der Lernende die relevanten Informationen aktiv, kreativ und auch situiert erwerben“ (Weinert, 1999a, S. 28). Die Begriffe „situative Lernumgebung“ (Mandl & Reinmann-Rothmeier, 1995) und „kreatives Feld“ (Burow, 1999) weisen darauf hin. Begabungsförderung bedeutet, möglichst viele Anstrengungsbereiche mit möglichst vielen Wissensanwendungen netzwerkartig zu kombinieren. Die für diese Zielsetzungen erforderlichen meist mikromethodischen Stimuli sollen überlegt gesetzt werden und sie bedürfen der Betonung, der Begleitung durch Aufgaben und der Förderung sowohl durch „prompts“ als auch durch in Aussichtstellen von sinnvollen Anwendungsmöglichkeiten des Lernstoffs (Baumann & Anton, 2014¹⁸⁵). Sie müssen bei überdurchschnittlichen Leistungsdispositionen („größere Lernfähigkeit, stärkerer Wissensdurst, höheres Lerntempo“) und persönlichen Begabungsprofilen `psychologisch, pädagogisch und didaktisch´ auf besondere Weise gestaltet werden. `Leistungswille, sachbezogenes Interesse, Arbeitsdisziplin, Selbstvertrauen und Fähigkeiten der Selbststeuerung´ als Merkmale der Persönlichkeit des Begabten üben hier ebenfalls ihren Einfluss aus. „But the will has to be stronger than the skill“ (Muhammad Ali, 1965). Untersuchungen zur Genialität zeigen auch darauf, dass `Motivation eine wichtigere Rolle spielt als angeborene Fähigkeiten´ (Ross, 2007).

Die Förderung von Begabungen und Begabten rechtfertigt sich aus der Nutzung aller Leistungspotenziale einer Gesellschaft zu deren bestmöglicher Weiterentwicklung. Das sichere, flexible und letztlich besonders erfolgreiche Handeln-können auf der Basis von Grundfähigkeiten und -fertigkeiten, Fachwissensbeständen und Automatismen innerhalb

¹⁸³ Ein Ziel von *naturwissenschaftlichem* Unterricht ist es, zu erfahren, „wie die Welt funktioniert, wo Erkenntnisgrenzen sind und ... was Wissenschaft bedeutet: skeptisch zu sein, kritische Fragen zu stellen, Autoritäten nicht blind zu vertrauen“ (Ebert, 2008).

¹⁸⁴ Nach Gardner (2001) muss von mehreren Intelligenzen gesprochen werden (`distributed intelligence`): Sprachliche, Logisch-mathematische, räumliche, körperlich-kinästhetische, intra- und interpersonale, naturalistische und existenzielle Intelligenz. Für das 21. Jahrhundert weist er besonders auf die Notwendigkeit der Ausbildung von fünf mentalen Bausteinen hin: Diszipliniertes, synthetisches, kreatives, respektvolles und ethisches Denken (2007): zit. aus Schwuchow, 2009 (Vgl. auch Gardner, 2013)

¹⁸⁵ Der Autor einer sehr interessanten Zulassungsarbeit (unveröffentlicht) für das 1. Staatsexamen für das Lehramt an Realschulen (Chemiedidaktik der LMU München), Philipp Baumann (2013), hat sich Experimente aus dem Bereich der Survival-Technik ausgesucht um chemisches Wissen sinnstiftend anzuwenden. Die Testung an einer kleinen Stichprobe ergab deutlich positive Ergebnisse auf der kognitiven und der affektiven Ebene bzw. hinsichtlich des Fähigkeitsselbstkonzepts

eines solchen Leistungsbereichs kann wiederum als Kompetenz bezeichnet werden. Solche Vorgaben zur Blüte zu bringen, ist ein gesamtgesellschaftlicher Auftrag; denn „Können ist Verpflichtung!“

A 6.6 Intelligenz, Wissen und Kreativität

Der Bildungserfolg hängt zu gleichen Teilen ab von Intelligenz¹⁸⁶, Motivation und Fleiß (Roth, 2011), wobei „die verfügbare Intelligenz ... im Laufe des Studiums auch in eine umfangreiche und flexible Wissensbasis umgesetzt werden“ muss (Grabner, 2012). Dadurch wird sie fachspezifisch aufgeladen und für die Bearbeitung von spezifischen Aufgaben verfügbar¹⁸⁷. Das heißt, „Intelligenz ist ein Teil von Begabung“ (IPEGE¹⁸⁸, 2009, S. 18) oder (nach Snow, 1982, zit. nach Klauer, 2014, S. 6) es „ist die Intelligenz nicht nur die wichtigste Voraussetzung von Erziehung und Bildung, sondern auch ihr wichtigstes Produkt“. Und sie nimmt Einfluss auf die Resilienz¹⁸⁹, also die Fähigkeit, persönlichkeitsstabilisierend sowie professionalitätsentwickelnd mit Erfahrungen umgehen zu können, sodass aus ihnen stets weiterführende Handlungs- und Denkmuster abgeleitet werden können¹⁹⁰.

Resilienz bzw. so etwas wie „Stresskompetenz“ ist ein pädagogisch äußerst relevantes Phänomen. Die Fähigkeit, in widrigen Lebenslagen eigene Entscheidungen treffen zu können, die erneut Hoffnung auf eine Besserung des Lebensgefühls aufkommen lassen und auch dazu dienen, diese Erwartungen erfüllen zu können, beruht nach aktuellen und klassischen Forschungsergebnissen auf Selbstwert, Bindungsfähigkeit, Humor und darauf, Wärme, Verständnis, Orientierung und Anerkennung vorgelebt und vermittelt bekommen zu haben. Dabei spielen nicht nur Eltern und nahe Verwandte eine Schlüsselrolle, sondern ebenso LehrerInnen. Ausgeglichenheit, Offenheit, Bereitschaft zur Verantwortungsübernahme, beispielsweise als Teil von Kompetenz und das erlernte Sich-verlassen auf die eigene Selbstwirksamkeit erleichtern den Umgang mit negativen Erfahrungen. Resilienz ist als eine dynamische Fähigkeit ein Ergebnis aus Erziehung, genetischer Disposition und Eingebundenheit in

¹⁸⁶ Binet & Simon (1905) beschrieben intelligente Menschen erstmals als „Individuals who are able to judge effectively, to understand quickly, and to think rationally are called intelligent“ (zitiert aus Weinert & Hany, 2000, S. 67). Sie entwickelten erste Tests um bereits bei Kindern „more and less intelligent people“ zu unterscheiden. „Das Wachstum der Intelligenz im Kindes- und Jugendalter wird dabei als Folge qualitativer Veränderungen der strukturellen Bedingungen für die Ausbildung perzeptiv-motorischer Koordinationen (in den ersten zwei Lebensjahren), präoperativer Denkschemata (im Vorschulalter), konkreter Operationen (während der Grundschulzeit) und eines flexiblen Systems formal-abstrakter Operationen (im Jugendalter) angesehen“ (Weinert, 1994, S. 263)

¹⁸⁷ „Je allgemeiner eine Regel, eine Strategie oder eine Kompetenz ist, d.h., in je mehr unterschiedlichen Situationen sie mit Gewinn angewendet werden kann, um so geringer ist ihr spezifischer Beitrag zur Lösung eines anspruchsvollen Problems“ (Weinert, 1994a, S. 202; 1998, S. 14)

¹⁸⁸ IPEGE = 'International Panel of Experts for Gifted Education' mit Geschäftsstelle in Salzburg: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF)

¹⁸⁹ Resilienz (v. [lat. resilire](#) ‚zurückspringen‘, ‚abprallen‘, deutsch etwa *Widerstandsfähigkeit*) ist die Fähigkeit, Krisen durch Rückgriff auf persönliche und sozial vermittelte Ressourcen zu meistern und als Anlass für Entwicklungen zu nutzen. Mit dem [Konstrukt](#) Resilienz verwandt sind [Salutogenese](#), [Hardiness](#), [Coping](#) und [Autopoiesis](#). Das Gegenteil von Resilienz ist [Vulnerabilität](#) (Verwundbarkeit). (http://de.wikipedia.org/wiki/Resilienz_%28Psychologie_und_verwandte_Disziplinen%29)

¹⁹⁰ Die stabile Widerstandsfähigkeit gegenüber Rückschlägen, Misserfolg und Verletzungen aller Art, die Resilienz wird u.a. beeinflusst von der (emotionalen) Intelligenz, d. h. von der Fähigkeit, Emotionen und Handlungen aktiv zu kontrollieren und sie so auch versachlichen zu können. Im Lehrberuf sind gerade diese Leistungen gefragt. Sie besitzen für die Entwicklung beruflicher Qualifikationen und Kompetenzen sowie für das prospektive Arbeiten im Sinne einer aktiven Orientierung gegenüber Problemen wie auch für das retrospektive Beurteilen von Geschehenem mit dem Ziel, hieraus zukunftsfähige Konsequenzen abzuleiten, oftmals entscheidende Bedeutung. Menschen, die einen starken Zusammenhalt haben, eher kollektivistisch als individuell orientiert sind und sich durch starke Werte auszeichnen, die von den meisten Leuten aus der entsprechenden Gruppe geteilt werden (in der Resilienzforschung als „shared values“ bezeichnet) erweisen sich als besonders resilient. (http://de.wikipedia.org/wiki/Resilienz_%28Psychologie_und_verwandte_Disziplinen%29; Zugriff: 14.8.14)

ein Netz, welches sich mit dem Begriff „Liebe“ umfassend beschreiben ließe (Berndt, 2015). So sind Resilienzfaktoren auch Bedingungen für die Manifestationen von Begabung sowie für deren frustrationstolerantes Training.

„Hohe Begabung scheint zwar exzellente Leistungen zu begünstigen; sie allein reicht jedoch nicht aus und ist auch nicht zwingend notwendig für die Erbringung herausragender Lebensleistungen. `Der entscheidende kognitive Mechanismus [um hohe Begabung in exzellente Leistung umzuwandeln] ist LERNEN´ (Weinert, 2000¹⁹¹)“ (zitiert aus Riedl et al., 2010, S. 22). Denn es zeigt sich nämlich, „daß bei anspruchsvollen Aufgaben fehlendes inhaltliches Wissen durch gute allgemeine Fähigkeiten nicht kompensiert werden kann“ (Weinert, 1994, 277). Dies gilt analog auch für „Konzepte (im Sinne von über einzelnen Sachverhalten verallgemeinertes Wissen)“ (v. Aufschnaiter & Hofmann, 2014, S. 12).

Hieraus lässt sich ableiten, dass ab „einem bestimmten Grenzwert intellektueller Fähigkeit allein das Ausmaß bereichsspezifischen Wissens in Kombination mit extremen Ausprägungen in nichtkognitiven Merkmalen wie Konzentrationsfähigkeit, Ausdauer und Erfolgsmotivation darüber entscheidet, ob intellektuelle Höchstleistungen erbracht werden können“ (Schneider, 1988, S. 161). Auch Roth (2001) postuliert, „dass Intelligenz nur dasjenige kombinieren kann, was in den Arealen des Wissens- und Fertigkeitengedächtnisses bereits niedergelegt ist“ (S. 180). Auch „metastrategisches Wissen kann nur wirksam werden, wenn Inhaltswissen verfügbar ist“ (Stern, 2006, S. 47). Und bei Stark et al. (1998) liest man: „Die Beantwortung der Frage nach einer lernwirksamen Ausrichtung motivationaler Zustände und Orientierungen durch bestimmte Gestaltungsmerkmale von Lernumgebungen muß von domänenspezifischen Inhaltsaspekten ausgegangen werden“ (S. 213).

Es wird klar, dass die Schulfächer der Studententafel einen wesentlichen Beitrag zur Förderung `intellektueller Höchstleistungen´ bereitstellen müssen. Dies wiederum lässt berechnete Forderungen an die LehrerInnenbildung zu.

In einer Längsschnittuntersuchung („Münchener Studie“, 1986ff) des MPI für Psychologische Forschung (München) zu Mathematikleistungen von Schülern (Hauptschule, Jgst. 5 und 6) ließ sich u.a. folgender Zusammenhang nachweisen: „Je schwieriger die zu lösende Mathematikaufgabe ist, desto wichtiger wird im Vergleich zur allgemeinen Intelligenz der Einfluß des Vorkenntnisniveaus auf den Erfolg“ (Weinert, 1988). Analoges gilt für die Anwendung von Regeln. Je allgemeiner eine Regel ist, umso weniger ist sie für die Lösung spezieller Problemlagen geeignet (Weinert, 1994a, S. 197) und umso nötiger wird es, sehr spezielle Zusammenhänge und Kausalitäten zu beherrschen¹⁹². So ist die Konservierung von Informationen zunächst möglich, indem man mit der Hand schreibt, sie wird verfeinert und mit neuen Qualitäten ausgerüstet, wenn man an Kalligrafie denkt, sodann an den Buchdruck, an die Schreibmaschine und aktuell an den PC. Mit dieser Entwicklung gehen einher: Gestaltung, Geschwindigkeit, Vervielfältigung und Verbreitung. Das bedeutet, nur zu wissen, wie man eine Notiz schriftlich hinterlegt, reicht bei weitem nicht aus, differenziert Informationen für unterschiedliche Zwecke (bildlich, elektronisch, codiert etc.) verfügbar zu machen.

¹⁹¹ „Lernen als Brücke zwischen hoher Begabung und exzellenter Leistung“. Vortrag am 13.10.2000 beim Internationalen ÖZBF-Kongress in Salzburg

¹⁹² Hier ist zu beachten, dass nach dem philosophischen Prinzip „Ockham´s Rasiermesser“ aus vielen möglichen Erklärungen die einfachste auch als die sicherste erscheint. „Was richtig und einfach zugleich ist, gilt in der Wissenschaft als `schön´“ (Beck, 2020, S. 173)

Intelligenz als „die Fähigkeit¹⁹³, seine Umwelt zu verstehen, von ihr zu lernen und mit ihr zu interagieren“ (Carter et al., 2009, S. 166) ist zusammen mit bereichsspezifischem Wissen bzw. einschlägigen Erfahrungen in einer Domäne auch Bedingung für Kreativität (Roth, 2001), also für eher nicht traditionelle Problemlösungen, die auch die kulturelle Evolution vorangetrieben haben (Pringle, 2013). Weinert (2000a) bezieht sich hier auf den amerikanischen Psychologen Guilford (vgl. auch Roth, 2001, S. 182), der „vier kreative Fähigkeitssysteme“ beschreibt (S. 26):

- `Sensibilität gegenüber Problemen (Entdecken von Verbesserungsmöglichkeiten),
- Flüssigkeit des Denkens (Ideen, Assoziationen pro Zeiteinheit),
- Flexibilität des Denkens (Wechsel zwischen Ordnungs- und alternativen Bezugssystemen, Transdisziplinarität) und
- Originalität des Denkens´ (Entdeckung von Analogien sowie Neukombinationen von beweglichen Wissensselementen: Fakten- und Konditionen (d. Verf.).

Mitverantwortlich für den „freien Fluss der Erinnerungen, Vorstellungen, Pläne und Ideen“ ist das „Basis- oder Ruhemodusnetzwerk“ oder „default mode network“ (DMN) als Teil des präfrontalen Kortex. Es ist dann besonders aktiv, wenn das Gehirn keine oder unbedeutende Reize aus der Umgebung empfängt, wenn es also „nichts zu tun gibt“ (Ayan, 2016). „Vieles von dem, was als kreatives Denken und Handeln bezeichnet wird, muß zwar gelernt, kann aber nicht direkt gelehrt werden“ (Weinert, 1994, 275). Wie kann man also zu solchen Denkqualitäten gelangen?

„Unser Gehirn ist ständigen Reizen ausgesetzt, von denen es die meisten jedoch ignoriert und nur die für uns relevanten Stimuli durchlässt. Der kreative Prozess kommt erst in Gang, wenn wir uns für neue Informationen öffnen bzw. wenn wir gegenüber unseren möglichst flexiblen und weitmaschig vernetzten Wissensinhalten neue Perspektiven einnehmen, sie „umstrukturieren“, um so zu neuen Ein-Sichten zu kommen (Knoblich & Öllinger, 2005). Das Auflösen einer solchen „funktionalen Gebundenheit“ (Vgl. „Knowledge-Mapping“) lässt neue Kombinationen zu, welche die Lösung des Problems plötzlich(!) (AHA-Erlebnis) ermöglichen. Das geschieht vor allem, wenn das Gehirn von Aufmerksamkeit (...) in einen entspannten Zustand (...) wechselt. In diesem Modus gelangen Reize ins Bewusstsein, die ansonsten ignoriert würden. In Verbindung mit alten Erinnerungen entstehen daraus Gedanken und Ideen, die neuartig und nützlich sein können“ (Carter et al., 2009, S. 168). Diese grundsätzliche „Geöffnetheit“ gegenüber äußeren Reizen sowie inneren Gedankenkombinationen bringt mit dem Blick auf eine größtmögliche Kreativität die „Rahmentheorie der vielfachen Intelligenzen“¹⁹⁴ (Gardner, 2013) ins Spiel: „Ich verstehe eine Intelligenz neu als biopsychologisches Potential zur Verarbeitung von Informationen, das in einem kulturellen Umfeld aktiviert werden kann, um Probleme zu lösen oder geistige oder materielle Güter zu schaffen, die in einer Kultur hohe Wertschätzung genießen“ (S. 46-47).

Nach einem Modell von Preiser (2010) lassen sich die Bedingungen für kreatives Denken und Handeln wie folgt schematisch verdeutlichen (Abb. A34):

¹⁹³ Körperliche Gewandtheit, Wortflüssigkeit, konkretes und abstraktes Denken, Unterscheidungsvermögen, Sensibilität, logisches Denken, gesellschaftliche Anpassungsfähigkeit

¹⁹⁴ Gardner spricht von: sprachlicher, logisch-mathematischer, musikalischer, räumlicher, körperlich-kinästhetischer, naturalistischer, existentieller, inter- und intrapersoneller Intelligenz (2009, 2013)

Modellierung der Kreativitätsbedingungen nach Preiser, 2010

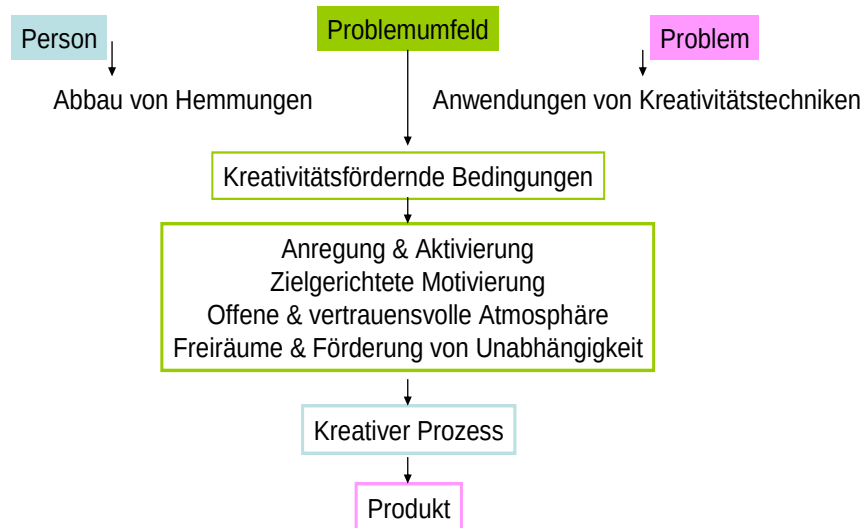


Abb. A34: Schema zum Kreativitäts-Modell nach Preiser (2010), verändert (Vgl. hierzu auch ALP-Akademiebericht Nr. 498 „Förderung von Kreativität im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht“, 2014, S. 21-26)

Demnach fördern „aktivierende Lernumgebungen, Aufgeschlossenheit und Lernbereitschaft“ kreative Prozesse (Burow & Rahm, 2016) sowie eine ausgeprägte metakognitive Kompetenz, mit der sich u.a. auch konvergentes von divergentem Denken unterscheidet und zielorientiert anwenden lässt: „Effective thinking processes always require metocognition, as it requires significant planing, direction, and control of cognitive processes to optimize them. For example, especially in the context of creativity, it is necessary to know when, how and why to use divergent thinking strategies“ (Haim & Aschauer, 2022, S. 200). Mittlerweile muss mehr darauf geachtet werden, dass zu den Lernumgebungen auch die LehrerInnenpersönlichkeit zählt. „In der Professionalisierungsforschung beginnt man den bislang vernachlässigten Raum der (situierten) Kreativität von Lehrkräften zu erforschen“ ...

„Für Lehrkräfte ergibt sich aus dem täglichen Umgang mit Ungewissheit die Anforderung, situationsangemessen kreativ und flexibel zu reagieren“ (Burow & Rahm, 2016, S. 5). Für die Erfüllung solcher Anforderungen wird es mehr und mehr entscheidend, seine eigenen Stärken und Schwächen zu entdecken und mit dem Zuziehen anderer Talentträger, welche an die eigenen Schwächen(sic!) andocken, ein „kreatives Feld“ (Burow, 2016a&b) zu erzeugen, innerhalb dessen es möglich wird, ungenaue Ziele, unbekannte Wege, nicht erprobte Möglichkeiten im Denken und Handeln sowie denkbare aber schwer vorhersehbare Wirkungen so zusammenzubringen, dass ein zugrundeliegendes Problem erstmalig gelöst werden kann. Solches Wirken geht einher mit Suchverhalten (Präparation), Unruhe (Inkubation), Ideenfindung (Illumination) und Ideenerprobung (Verifikation) (Vgl. Vier-Phasen-Modell nach Wallas, 1927, zit. aus Vollmer, 2016, S. 19).

Burow beschreibt hierzu „Die acht „C“s der Schule der Zukunft“:

- „Curiosity: Die Fähigkeit, Fragen zu stellen und zu erkunden, wie die Welt funktioniert,
- Creativity: Die Fähigkeit, neue Ideen zu entwickeln und sie in der Praxis anzuwenden,
- Criticism: Die Fähigkeit, Informationen und Ideen zu analysieren und begründete Argumente und Urteile zu entwickeln,
- Communication: Die Fähigkeit, Gedanken und Gefühle klar und selbstbewusst in einem breiten Spektrum von Medien auszudrücken,
- Collaboration: Die Fähigkeit, konstruktiv mit anderen zusammenzuarbeiten,
- Compassion: Die Fähigkeit, sich in andere hineinzuversetzen und entsprechend zu handeln,
- Composure: Die Fähigkeit, sich mit der inneren Welt der Gefühle zu verbinden und einen Sinn für persönliche Harmonie und Balance zu entwickeln,
- Citizenship: Die Fähigkeit, sich konstruktiv an der Gestaltung der Gesellschaft zu beteiligen“ (Burow, 2016a, S. 16).

Im Zuge der Abwendung von einer defizitorientierten psychologischen Sichtweise, betont die „Positive Psychologie“, vergleichbar zur „Salutogenese“ die „Entdeckung von Talenten oder die Steigerung des Wohlbefindens“ (Ruch & Wagner, 2016). Sie kombiniert drei hierarchische Ebenen:

1. Tugenden (Kerneigenschaften),
 - Weisheit/Wissen;
 - Mut;
 - Menschlichkeit/Bindungsfähigkeit;
 - Gerechtigkeit/Teamfähigkeit;
 - Mäßigung/Vergebungsbereitschaft;
 - Transzendenz/Sinn für Schönes/Humor,
2. Charakterstärken (Wege, auf denen die Tugenden gelebt werden können)
 - Erwerb und Gebrauch von Wissen
 - Überwinden von Barrieren zur Erreichung eines Ziels
 - Einsatz liebevoller menschlicher Interaktionen
 - Förderung des Gemeinwesens
 - Deeskalation
 - Sinnstiftung und
3. Situative Themen (Gewohnheiten, die ermöglichen, Charakterstärken zu zeigen)

„Untersuchungen an Charakterstärken von Lehrpersonen zeigten u.a., dass diese positiv mit Leistungsfähigkeit zusammenhingen (Ruch & Wagner, 2016, S. 25). Kreativitätsförderung¹⁹⁵, auch als ein Indienstnehmen von Phantasie, die nach A. Einstein 'wichtiger als Wissen ist, denn dieses ist begrenzt', geht einher mit Begabungsförderung und beruht auf „Erwerb und beständige Erneuerung intelligenten Wissens sowie dessen flexible Nutzung bei anspruchsvollen Aufgaben“ (Weinert, 2000a, S. 31; Weinert, 1997a). Heller & Hany (1996, S. 42-48), Korte (2010, S. 331-333), Stapf (2008, zit. aus Korte, 2010, S.333-334) und Friedl et al. (2010) zählen die folgenden (nicht immer stark ausgeprägten) „Charakteristika für eine Hochbegabung“ auf¹⁹⁶:

¹⁹⁵ Kreativität, welche zu einem menscheitsrelevanten Ergebnis führt ('New for mankind') bezeichnet man auch als 'Big C-creativity', solche, die für einen einzelnen Schüler zu einer individuellen Erkenntnis führt, zu einem „Aha-Effekt“ ('New for the individuel'), ist dann die 'Small c-creativity'

¹⁹⁶ Die mit * markierten Merkmale finden sich auch im chemiespezifischen Begabungsmuster wieder (vgl. Pkt. 3)

- nicht alterstypische Interessenlage (bei Mädchen: geschlechtsuntypische Interessen¹⁹⁷)
- großes Detailwissen, auch in ungewöhnlichen Wissensgebieten
- *ungewöhnlich gutes Gedächtnis
- sehr gute Beobachtungsgabe
- hohe Lerngeschwindigkeit
- *bessere und längere Konzentrationsfähigkeit und hohe Aufmerksamkeitsleistung
- *intensiver Lernwille (inkl. deutlicher Handlungsorientierung) mit hohem Stimulationsbedarf
- interne Kontroll- bzw. Selbstwirksamkeitsüberzeugung
- realistische Einschätzung des Begabungsselbstkonzeptes
- frühe Lesekompetenz und Sprachbegabung: großer Wortschatz (verbale Intelligenz)
- frühe mathematische Intelligenz
- hohe Sensibilität gegenüber Geräuschen, Gerüchen und grellen Farben
- früh ausgeprägte und besondere Leistungen:
 - *räumlich-abstraktes Vorstellungsvermögen
 - *schnelles und zuverlässiges Erkennen von Zusammenhängen, Prinzipien, Strukturen und Regeln
 - bildnerisch-darstellende Fähigkeiten
 - *Persistenz bzgl. Denk- und Problemlösefähigkeit (‘There is creativity before and after data collection’)
 - Bewegungsintelligenz
 - Musikalität
 - Emotionale Intelligenz (Goleman, 1997), Empathie und Verantwortungsbewusstsein.

Die Begabung des Lernenden, also das Leistungspotenzial, entwickelt sich in der Wechselwirkung zwischen seinen Anlagen und der Umwelt. Binneberg (1991) mathematisiert Begabung B als Funktion von Anlage A und Umwelt U: „ $B = f(A, U)$ “ um das Wechselspiel von Anlage und Umwelt im Sinne eines „dynamischen Begabungsbegriffs“ (Roth, 1952) zu verdeutlichen. Leistung umfasst sodann alle Möglichkeiten, die während der individuellen Lebensspanne Wirklichkeit werden. Nach Renzulli ist (hohe!) Begabung die Schnittmenge von „hoher Motivation“, „hoher Kreativität“ und „überdurchschnittlichen ‘Lernbereichsfähigkeiten’“ (Renzulli 1978, zit. nach Kratochwil, S. 421“). Kratochwil erweitert diese Definition und beschreibt sie sinngemäß als ein überdurchschnittlich bewertetes Niveau an Fähigkeiten, die sich mit besonders hoher Motivation und Kreativität im jeweiligen Lernbereich (Domäne) verbinden. Begabung wird hier als Prozess gesehen, der von „Begabt-Sein“, „Begabt-Werden“ und „Begabend-Sein“ fortdauernd gestaltet wird (vgl. Kratochwil 1994, S. 421; vgl. Binneberg, 1991). Hierzu passt ein interessantes Zitat der deutsch-französischen Schriftstellerin und Pazifistin Annette Kolb (1870-1967): „Was mich trieb, war, was ich dachte, kein Talent“.

Was heute landläufig als Hochbegabung bezeichnet wird und für ca. 3% der Kinder zwischen drei und 15 Jahren in Deutschland zutrifft, ist nicht ein mehr oder weniger plötzlich manifest werdender Zustand. Es handelt sich vielmehr um eine besondere Konstellation von Optionen, die sich ergeben hat und die einen außergewöhnlichen Bedarf nach Nutzung erzeugt. Zusätzlich kann davon ausgegangen werden, „daß schon das Erfahrungs- und Weltwissen des kleinen Kindes nicht ungeordnet ist und beliebig

¹⁹⁷ Vgl. hierzu: Elster (2007) mit Ergebnissen aus der ROSE-Erhebung (The Relevance of Science Education)

erworben werden kann, sondern in einer Organisationsform gespeichert wird, die man als 'intuitive Theorie' bezeichnen kann" (Weinert, 1994, S. 278).

Begabung kann demnach als fallweise besonders günstiges Zusammentreffen von personellen („kognitive Entwicklung“), situativen („kognitive Sozialisation“¹⁹⁸), instrumentellen und instruktionellen Optionen für optimale geforderte und ungeforderte Leistungen (aller Art) interpretiert werden¹⁹⁹.

¹⁹⁸ Weinert (1994b) versteht darunter „die Formung der sich entwickelnden kognitiven Kompetenzen durch die kulturellen, gesellschaftlichen, familiären, schulischen und beruflichen Bedingungen, denen (Gruppen von) Individuen ausgesetzt sind“ (S. 260)

¹⁹⁹ Diese Fassung einer Hochbegabtdenition umschließt nicht die so genannten „Savants“, Inselbegabte mit erstaunlichen geistigen Fähigkeiten auf einem bestimmten Gebiet. Solche Inselbegabungen „treten bereits in früher Kindheit auf; die meisten Betroffenen leiden unter einer Form der Autismusspektrumsstörung (ASS)“ ... „einer Funktionsstörung in der linken Gehirnhälfte, die von der rechten kompensiert wird“ (Snyder et al., 2013, S. 60)

A 6.7 Chemiespezifisches Kompetenzmuster

Die Begriffe „Minder- und Hochbegabung“ und alle Synonyma sind bei angehenden LehrerInnen nicht einheitlich besetzt, auch deshalb, weil sie stets auch auf sich selbst angewendet werden und somit subjektiv eingefärbt sind²⁰⁰. In Tab. A9 ist eine Ergebnisauswahl aus einer Befragung zusammengestellt (Vgl. auch: Anton, 2017b).

0. Interessenlage gegenüber Chemie als Fach (aktuell)	2.6
1. Zustimmung zu: „Begabung umfasst die genetische, volitionale und umweltbedingte besonders günstige Voraussetzung für Lernfähigkeit, Kritikfähigkeit und Problemlösefähigkeit“.	2.2
2. Begabung im Fach Chemie äußert sich ...	
2.4 im frühen abstrakten Denken	2.1
2.5 im raschen Wechsel zwischen Phänomen und Abstraktion	2.0
2.9 im schnellen Feststellenkönnen von Wichtigem	2.1
2.10 in der schnellen kreativen Kombination unabhängiger Wissensbereiche aus der Chemie zur Lösung von Problemen	2.1
2.11 durch den hohen Wert (>120) bei einem IQ-Test	4.2
3. Eine chemiespezifische Begabung eines Schülers erkennt man ...	
3.1 am intensiven Meldeverhalten	3.6
3.5 an außergewöhnlichen Vorschlägen für Problemlösungen	1.8
3.6 an den guten (besser als „3“) Chemienoten (Stegreifaufg., Schulaufgabe, Zeugnis,...)	3.5
4. Begabungsfördernder Chemieunterricht äußert sich ...	
4.5 in der Abfolge häufiger Lernstandserhebungen (Tests)	4.3
4.10 in einer Erhöhung der Schülerbeteiligung bei der Stofferarbeitung	1.9
4.14 durch zusätzliche Aufgabenstellungen für besonders schnell lernende Schüler	1.9
4.18 durch Sonderveranstaltungen außerhalb des regulären Unterrichts (Forschergruppen, TN-Betreuung bei Jugend-forscht-Wettbewerben etc.)	2.0
5. Ursachen bzw. Folgen der Begabung sehe ich als ...	
5.1 besonders in der Kindheits- und Jugendphase deutlich beeinflussbar an	2.1
5.7 für den Chemielehrer nicht relevant an	4.9
6. Um chemiespezifische Begabungen fördern zu können, benötigt ein Lehrer folgende Kompetenzen	
6.1 Fachkompetenz	1.4
6.4 Freude an der Arbeit mit Kindern und Jugendlichen	1.4
6.7 Einblicke in die Forschungsprinzipien (Methoden des Erkenntnisgewinnung) der Chemie	2.2
7. Diese Kompetenzen (s. 6.) werden in der universitären Lehrerbildung sehr stark in den Fokus genommen	
7.1 Fachkompetenz	1.7
7.4 Freude an der Arbeit mit Kindern und Jugendlichen	4.0
8. Ich selbst halte mich ...	
8.1 für das Fach Chemie als sehr begabt	3.1
8.2 für den Beruf des Chemielehrers als sehr begabt	2.6
8.3 Ich schätze den Prozentsatz aller bayerischen Chemielehrer , die tatsächlich für diesen Beruf begabt sind, auf	30-70
8.4 Ich schätze den Prozentsatz aller Kommilitonen für das LA Chemie , die tatsächlich für diesen Beruf begabt sind, auf	30-70
8.5 Damit Chemielehrer Begabtenförderung in ihrem Unterricht verwirklichen können, müssen sie selbst in ihrer Ausbildung Fördermaßnahmen an sich selbst erlebt haben!	2.5

²⁰⁰ Auch gesellschaftspolitisch muss der Begriff der „Meritokratie“, der Herrschaft der Begabtesten sehr kritisch ausgeleuchtet werden (Michael Young, zit. aus Schwanzitz, 2002, S. 602)

Tab. A9: Polariserte Befragungsergebnisse von Lehramtsstudierenden hinsichtlich ausgewählter Statements zum Thema Begabung (1. bis 8.) als fragenbezogene Mittelwerte. Rot/fett = höchste Zustimmung, blau/kursiv = geringste Zustimmung; schwarz = weitere Mittelwerte (aus Intervallskala von 1 = stimme vollkommen zu bis 6 = habe keine Übereinstimmung). Die ausgelassenen Ergebnisse bewegen sich stets zwischen den hier ausgewiesenen Extrema.

Sie liefert einen kleinen Einblick in die Assoziationen angehender LehrerInnen: 101 Lehramtsstudierende (1. bis 5. Semester), davon 73 weibliche und 28 männliche TN aus Grund- und Mittelschule (10), Realschule (22) sowie Gymnasium (69) mit dem Fach Chemie an der LMU München (2013).

Ausgehend von einem eher durchschnittlichen Fachinteresse und einer deutlichen Akzeptanz der vorgeschlagenen Definition von Begabung, werden wichtige Äußerungen *chemischer Begabung* klar erkannt. Der IQ-Wert spielt eine untergeordnete Rolle. Auch die einschlägigen Signale von Begabung können von vordergründigen Verhaltensweisen der Schüler abgegrenzt werden (Pkt. 3). Dass viele Tests eine ähnliche Konsequenz für die Lernleistung haben wie „oftmaliges Wiegen eines Schlachtschweins auf dessen Gewicht“ (nach F. E. Weinert), kann ebenfalls aus den Ergebnissen unter Pkt. 4 abgelesen werden. Analoges gilt für die frühe Beeinflussbarkeit sowie den großen Einfluss der ChemielehrerInnen auf die Begabungsentwicklung und –förderung (Pkt. 5). Auffallend ist, dass „Fachkompetenz“ und „Arbeit mit Kindern und Jugendlichen“ allen anderen Lehrvoraussetzungen (Diagnosekompetenz, Erzieherisches Können, fachdidaktische Kompetenz, Sicherheit im Unterrichtsmanagement) vorgezogen werden. Dabei definieren sich gymnasiale LehrerInnen vorrangig über Ihre Fachkompetenz, die LehrerInnen in Grund- und Haupt/Mittelschulen vorrangig über ihre Erziehungskompetenz (Anton, 2001).

Will man wissen, welchen Beitrag nun die universitäre Lehramtsausbildung zu den genannten Notwendigkeiten leistet, so dominiert die Fachausbildung²⁰¹ alle anderen Ausbildungsteile deutlich (Pkt. 7). Zugleich misst man der eigenen Begabung für die LehrerInnentätigkeit höhere Begabungsvoraussetzungen bei als derjenigen für das Fach per se, was die Entscheidungsbegründung für das Lehramt vs. für den Beruf von reinen ChemikerInnen zu unterstreichen vermag. Entsprechend positiv beurteilen die Studierenden die Lehrberufsbegabungen bei den praktizierenden ChemielehrerInnen und den KommilitonInnen. Dass man Begabtenförderung an sich selbst erfahren können muss, damit sie im eigenen LehrerInnenverhalten Wirkung zeigen kann, wird vorsichtig bejaht (Pkt. 8). Hierzu gäbe es einen Vorschlag für all die Verstehensvoraussetzungen, welche die Auseinandersetzung mit der Chemie als Wissensgebiet zu erleichtern bzw. zu fördern vermögen. Dieses →Chemiespezifische Kompetenzmuster äußert sich in Form von mindestens sechs Kriterien:

1. im raschen und sicheren *Erkennen* des Wesens chemischer Stoffartumwandlungen und deren Unterscheidbarkeit gegenüber physikalischen wie biologischen Prozessen,
2. im schnellen Erlernen und sicheren *Anwenden* der chemischen Fachsprache sowie der chemischen Fachmethodik,
3. im flinken *Kombinieren* von phänomenologischem und abstraktem Denken²⁰² unter Verwendung chemischer Modelle zum Atom-, Ionen- und Molekülbau

²⁰¹ In diesem Zusammenhang sei auch hingewiesen auf die Vorstellungen von FachwissenschaftlerInnen und FachdidaktikerInnen bezüglich der verbindlichen Fachinhalte aus der Chemie: Konferenz der Fachbereiche Chemie (KFC) an den wissenschaftlichen Hochschulen in Deutschland vom 1.6.2012: „Abiturwissen Chemie“; Ropohl et al. (2014). Lehrpläne, Kerncurricula, Bildungspläne usw.; Reiners & Tausch (2009). Curricula für das Lehramt Chemie an der Universität

²⁰² Hierzu müssen die entwicklungspsychologischen Bedingungen (Piaget, 1973) erst eingestellt sein

sowie zu chemischen Bindungen und damit des Periodensystems der Elemente (PSE),

4. im konsequenten Herstellen von *Beziehungen* zwischen chemischen Stoffeigenschaften, Stoffgruppen und Regeln (qualitativ & quantitativ) sowohl auf der phänomenologischen wie auch auf der submikroskopischen Ebene sowie zwischen den beiden,
5. im Finden von Fachfragen, im Formulieren wissensgeprägter *Hypothesen* und im kreativen Entwickeln von chemisch-experimentellen Prüfmethoden sowie in deren konsequenter Durchführung unter Beachtung der typischen sicherheitstechnischen Bedingungen,
6. in der flexiblen *Orientierung* sowohl an der Fachsystematik²⁰³ wie auch an den Kompetenzbereichen und Basiskonzepten der nationalen Bildungsstandards für Chemie (NBS-Ch²⁰⁴),
7. im Erkennen-können der Grenzen des chemisch-empirischen Erkenntnisgewinns unter Zuziehung grundsätzlicher Kenntnisse der 'Nature of Science' (NOS),
8. im *Nutzen* der Chemie als Querschnittswissenschaft bei der Bearbeitung inter- und transdisziplinärer Problembereiche,
9. im artikulierbaren *Bewusstsein*, dass sich die besagten Kompetenzen beispielsweise dazu eignen, um kritisch hinter die Kulissen unserer Chemieumwelt zu blicken, deren sehr weit gediehene Entwicklung hin zur Perfektion es per se scheinbar nicht erforderlich macht, viel darüber zu wissen um von ihr zu profitieren²⁰⁵ und
10. in der Überzeugung, dass ganzheitliche Welterkenntnis nur im Verein natur- und geisteswissenschaftlicher sowie künstlerischer Zugangsweisen möglich sein kann.

Fördernde Unterrichtskonzeptionen bringen dieses Kompetenzmuster mit den charakteristischen Begabungsmustern zur größtmöglichen Übereinstimmung. In der Summe – und die Generalisierung beschränkt sich hier vorerst auf die hier untersuchte Probandenklientel - erscheint die Einstellung gegenüber der Entdeckung und Förderung von chemiespezifischen Begabungen eher mehrschichtig zu sein. Es handelt sich um Neuland. Um hier klare Maßstäbe zu setzen, Kriterien zu finden, welche Diagnoseformen und enrichment-Programme zielgerecht eingesetzt werden können, müssen noch viele Anstrengungen unternommen werden (→ 'Chemiespezifisches Begabungsmuster'; A6.7). Andererseits zeigen die Statementbewertungen, dass man sich durchaus auf einem richtigen Weg befindet und grundlegende Sensibilisierungen auch bei den Lehramtsstudierenden schon vorhanden sind.

²⁰³ „Die Schulfächer haben ein 'Eigenleben' mit einer eigenen Logik, d.h. die Bedeutung der unterrichteten Begriffe ist nicht allein aus der Logik der wissenschaftlichen Fachdisziplinen zu erklären“ (Bromme, 1997, S. 196)

²⁰⁴ (Nationale) Bildungsstandards im Fach Chemie (NBS-Ch) für den mittleren Schulabschluss, herausgegeben vom Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland, gültig seit dem 16.12.2004. München: Luchterhand-Verlag, 2005

²⁰⁵ Es steht gerade heute außer Zweifel, dass der Zugang zum Fach Chemie auch durch das negative Image der Chemie gehemmt ist. Die sachliche Auseinandersetzung mit den besonderen Bedingungen für die Genese eines bildungsrelevanten Chemieverständnisses ist gekoppelt mit der **Melioration**, als dem „Bedeutungswandel zu einem besseren Beiklang“ (vs. Pejoration).

A 6.8 Chemiespezifisches Begabungsmuster

Der Einsatz bildungsförderlicher Prinzipien des Lehrens und Lernens ist oftmals sehr viel schwieriger flächendeckend anzuwenden als dies zu erwarten ist. So zeitigte die PISA-I-Plus-Studie als Längsschnittvariante zu PISA 2003 mit zwei Messzeitpunkten jeweils am Ende der Jahrgangsstufe 9 und 10 zur „Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenz“²⁰⁶ bedrückende Resultate. Viele Schulklassen zeigten über ein Schuljahr hinweg in der Lerneffizienz ein signifikantes Nachlassen bzw. Gleichbleiben, was sich auch im so genannten „Abschulen“, dem absteigenden Schulwechsel äußert²⁰⁷. Zu viele SchülerInnen und Klassen waren am Ende eines Schuljahres in den Naturwissenschaften weniger qualifiziert als zu dessen Beginn (Tab. A10).

	Individual- ebene	Klassen- ebene	Schulebene	LehrerIn
Probandenzahl	4353	194	119	
Durchschnittlicher Kompetenzzuwachs (Pisa- Leistungspunkte)	21			
%-Satz der TN mit K- Zuwachs	44	70	80	
Neutralwirkung %	37	15	9	
Verschlechterung %	19	15	11	
Typisierung durch positiv wirkende Kriterien			Nutzen von Handlungsspielräumen, Konzentration auf Optimierung von Unterrichtsprozessen	Intensive Kooperations- u. Evaluationspraxis, (Effektive Zeitnutzung und leistungsbetontes Lernklima!!!)

Tab. A10: Zusammenstellung der Daten aus der Längsschnittuntersuchung aus PISA-I-Plus in PISA 2003.

Zudem weist der aktuelle OECD-Bildungsbericht aus, dass in Deutschland jeder Fünfte das Bildungsniveau seiner Eltern nicht schafft! Dergleichen geschieht nur innerhalb von 13 % der 34 großen Industrienationen (Bayerische Schule (2012) 6, 4). Kontraproduktive Effekte von Unterrichtsarbeit wie diese werden vermutlich dadurch mit verursacht, dass Lehrprozesse und Lernoptionen unbeeinflusst nebeneinander herlaufen und der Schüler und die Schülerin das Lernangebot lediglich perzeptiv registriert, die eigene Denkanstrengung, den eigenen Lernwillen jedoch nicht dazu aktiviert, um vorhandene Kenntnisse mit neuen Informationen zu konfrontieren bzw. diese in Frage zu

²⁰⁶ Prenzel, M. et al. (Hrsg.) (2006). PISA 2003 – Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres – Zsfg.:

http://pisa.ipn.uni-kiel.de/PISA_2003_Kompetenzentwicklung_Zusfsg.pdf (Zugriff: 12.10.12)

An dieser Stelle sei allerdings auch darauf hingewiesen, dass sowohl die Wahl wie auch die Entwicklung und vor allem die Standardisierung von geeigneten Kompetenzmodellen noch sehr unbefriedigend verlaufen sind. Die Wahl zwischen normativen bzw. deskriptiven Kompetenzstruktur- oder Kompetenzentwicklungsmodellen ist weiterhin Diskussionsgegenstand insbesondere der Fachdidaktiken (Schecker & Parchmann, 2006)

²⁰⁷ Lt. Studie der Bertelsmann-Stiftung sind im Schuljahr 2011/12 von den 98 500 Schulwechslern in der BRD 58.4 % „abgestiegen“ und 27.4 % „aufgestiegen“; 14.1 % sind „umgestiegen“ auf gleichwertige Schularten. Dabei variiert das Verhältnis von Auf zu Ab zwischen 1:10.3 (Niedersachsen) und 1:0.9 (Bayern) (SZ vom 31.10/1.11.12, S. 6)

stellen oder sein Wissen damit zu erweitern. Wünschens- und erwartenswert ist `fächerübergreifende Problemlösekompetenz, die bedarfsgerecht in domänenspezifische Kompetenz umgesetzt werden kann'. Dementgegen wird fakultativ `bulimisch' auf Prüfungen gelernt. „Das Ausmaß des kognitiven Aufwands, das Individuen für die [Informations-]Verarbeitung aufbringen wollen oder können, kann sowohl von situationalen Variablen (...) als auch von individuellen Unterschieden hinsichtlich der kognitiven Motivation (z.B. dem sog. *Need for Cognition*, NFC) abhängen“ (Reinhard, 2013, S. 66). Nach Cacioppo & Petty (1982) versteht man unter NFC `die Tendenz eines Individuums, sich gern aufwändigen kognitiven Herausforderungen zu stellen'²⁰⁸. Diese Absicht steht nach Erkenntnissen der Soziologie einer aus der überbordenden Informationsmenge resultierenden „intelligenten Wissensabwehr“ (Schneider, 2006) entgegen und erfordert selektive Entscheidungen, welche wiederum das eigene `Informationsverarbeitungsvermögen' sowie Bedeutungserkennungssystem zur Grundlage nehmen.

Der oben geschilderte Sachverhalt bestätigt sich durch Untersuchungen bei „Experimentierkursen für hochbegabte und besonders interessierte Kinder im Alter von 8 bis 12 Jahren“, welche in der Chemiedidaktik der LMU München seit 1996 in Form von Anfänger- und Fortgeschrittenenkursen durchgeführt werden (Seiffert, 2008). Sie zeigen beispielsweise recht eindeutig mindestens sieben Kriterien, durch die sich Schülerinnen und Schüler dieser Alters- und Interessengruppe auszeichnen²⁰⁹:

Sie ...

- besitzen eine deutliche Erwartungshaltung und Aufmerksamkeit gegenüber dem, was da als Fach Chemie für sie bereitgehalten wird,
- zeichnen sich bereits durch ein umfangreiches, allerdings meist ungeordnetes deklaratives Wissen aus,
- sind von auffallender instrumenteller Handlungsbereitschaft,
- zeigen deutliche Abstraktionsfähigkeit und sind demnach offen für Modellvorstellungen,
- können aus nahezu jeder Erklärung eine neue Frage kreieren,
- erfinden vielfältige Vorschläge für alternative Vorgehensweisen und
- schaffen so ein ausgeprägtes kreatives und risikofreudiges Lernfeld.

In der Summe erfüllt dieses chemiespezifische Begabungsmuster die Bedingungen für einen sehr hohen NFC und geht weit über das „Spaß-haben-wollen“ hinaus (Anton, 1999). LehrerInnen müssen davon ausgehen, dass zwar jeder Schüler und jede Schülerin mit Motivationen für jeden Unterrichtsinhalt ausgestattet ist, dass diese aber äußerst unterschiedlich ausgeformt sind. Da sich LehrerInnen in der zu einfachen Regel davon leiten lassen, dass der Unterricht auf den fiktiven „Durchschnittsschüler“ ausgerichtet sein sollte, fallen die diesbezüglichen Ausnahmen häufig nur `unerfreulich' auf²¹⁰. Beim Arbeiten mit hochbegabten Kindern fällt sehr rasch auf, dass sie eine ungewöhnliche Anstrengungsbereitschaft auszeichnet. Als Grundlage für die

²⁰⁸ NFC ist nicht zu verwechseln mit dem „NfU“, dem „Need for Uniqueness“, auch wenn dieser „Drang nach Einzigartigkeit“ dem NFC nicht grundsätzlich entgegenzustehen scheint (vgl. Erb & Gebert, 2013 und Snyder & Fromkin, 1977). Technisch bedeutet NFC etwas gänzlich anderes: Die Abkürzung NFC steht für **N**ear **F**ield **C**ommunication (Nahfeldkommunikation). Es ist eine Funktechnik, die den Datenaustausch zwischen Geräten (Smartphone, tablet, Kreditkarte) über eine kurze Distanz zueinander ermöglicht.

²⁰⁹ Vgl. auch allgemeines Begabungsmuster (S. 7)

²¹⁰ Der Umgang mit unmotivierten SchülerInnen wird dabei schneller gelernt als die Pflege und Förderung hochmotivierter Jugendlicher. Beide Male wird die disziplinarische Reaktion favorisiert. Im ersten Fall kritisiert man die zu geringe Leistungsbereitschaft und im zweiten Fall die zu vorlaute Inanspruchnahme der Lehrperson.

Konzentration auf ausgewiesene Problemlagen ist dieser Wille „zur Selbststeigerung“ (Lichtenstein-Rother, 1963, S. 120) letztlich das besondere Kennzeichen. Anstrengung und Konzentration treten als ein Verhalten auf, welches sich auch mit *Hartnäckigkeit* umschreiben ließe, insbesondere, wenn es auf „Könnenserfahrung“ (S. 122) beruht. Diese macht den Umgang mit dieser Schülerklientel so anspruchsvoll, ja mitunter aufreibend, jedoch auch effektiv, insbesondere, wenn der Lehrer und die Lehrerin zu ihrer jeweiligen didaktischen Höchstform auflaufen. Um Lernoptionen, Lehrlernprozesse und Lernergebnisse in ihren Beziehungen und Abhängigkeiten richtig einordnen zu können, reicht es bei weitem nicht mehr aus, traditionelle Verfahren zu intensivieren, also das Erprobte quantitativ auszuweiten, indem Lehrpläne verkürzt, Klassen verkleinert, Schulen umfassender ausgerüstet, LehrerInnen in ihren Lehrdeputaten entlastet und Prüfungen vereinheitlicht werden.

Expliziter als bisher muss qualitativ reagiert werden. D. h., dass die fachbezogene lehrlernwissenschaftliche („fachdidaktische“) Forschung, welche sich weniger den „allgemeindidaktischen“ als vielmehr den Ergebnissen der Hirnforschung, der Neurobiologie sowie der Pädagogischen Psychologie zu öffnen hat sowie den lebensweltlichen Bedeutungen fachwissenschaftlicher Errungenschaften Rechnung tragen muss, intensiver rezipiert werden muss (Fischler, 2000; Fischer et al., 2003; Roth, 2013²¹¹), natürlich auch in ihrer kritischen Darlegung, wie sie sich in den Ausführungen von Elsbeth Stern et al. zeigen (2007, S. 109 ff, S. 119 ff): „Obwohl kurzfristig nicht zu erwarten ist, dass sich schulisches Lernen mit Hilfe der Hirnforschung optimieren lässt, kann doch davon ausgegangen werden, dass Methoden der Hirnforschung zukünftig dazu beitragen, manche Aspekte des schulischen Lernens besser erklären zu können“ (S. 124). Hierzu gibt Seibert (2005) zu bedenken: „Didaktische Forschung beabsichtigt selten die Falsifizierung und Verifizierung operationalisierter Hypothesen. Didaktische Forschung ist vor allem Anregungsforschung, und zwar konzeptionell und bildungspraktisch“ (S. 16).

Neben einer lehrlernwissenschaftlich relevanten Modellierung von Basisbereichen des Lehrlernprozesses sind auch die Leistungen der Lehrkraft als diejenige, die den Unterricht verantwortlich und professionell gestaltet, genauer zu beschreiben (Dandl, 2014) um sie einer qualitativen Weiterentwicklung leichter zugänglich zu machen (Elster, 2003; Anton, 2005a&b). In diesem Zusammenhang sei auf eine Untersuchung von Eder & Bergmann (2004) verwiesen. In ihrer Erhebung an 532 Schülern folgern sie: „Hohe Ausprägungen von fachspezifischen Interessen führen dazu, dass Schüler das Lehrerverhalten als unterstützend und fördernd beschreiben bzw. weniger restriktives Verhalten erleben. Schüler mit inkongruenten Interessen berichten mehr Restriktivität. Die unterschiedlichen Interaktionsmuster wirken sich auch auf die Schulleistungen aus“ (S. 410).

Was den Begriff „Leistung“ angeht, ob Lern- oder Prüfungsleistung, sei anhand der Abb. A35 prägnant erläutert (Vgl. hierzu auch Kap.E6).

²¹¹ Hier sei ausdrücklich auf das Einverständnis mit den hier formulierten Antworten auf die Kommentare von Roland Grabner (Uni Göttingen) und Peter Menck (Uni Siegen) zum Gasteditorial hingewiesen

Leistung!?

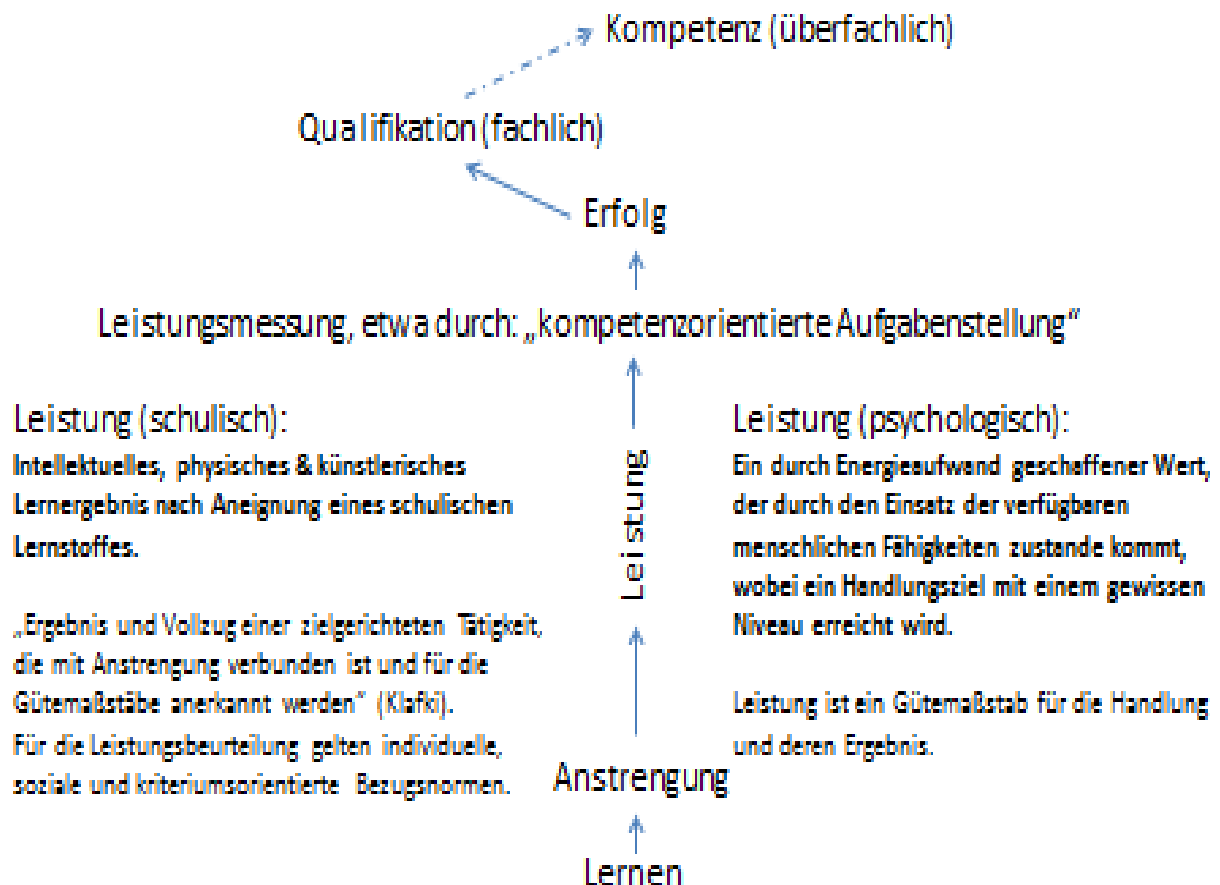


Abb. A35: Gegenüberstellung zweier Leistungs-Definitionen im Kontext der Kausalkette, ausgehend von Lernen als eine Form der Anstrengung, die in eine Leistungs- (Wettbewerbs-)Situation mündet. Die erfolgreiche Leistungsmessung bestätigt entweder eine fachlich eingegrenzte Qualifikation oder den überfachlichen Kompetenzgewinn.

B Chemie lernen – Unterrichtsziele

Es ist allseits bekannt, dass es im Deutschen eine Unterscheidung von Bildung und Erziehung gibt, welche sich etwa in den angelsächsischen Sprachen so nicht finden lässt. Literacy bzw. Education sind nicht adäquat übersetzbar. Dieser scheinbare Nachteil erweist sich allerdings in unserem Sprachgebrauch als sehr hilfreich und sinnvoll. „Erziehen“ und „Sich-Bilden“ lassen zwischen einem „erziehenden“, der „Bringschuld bzw. -pflicht der Lehrperson“ (Vgl. „Angebot“ bei Fend, 2002) entsprechenden Unterrichtsanteil und einem „bildenden“ Unterricht, der die „Holschuld bzw. -pflicht der SchülerInnen“ (Vgl. „Nutzen“ bei Fend, 2002) beschreibt, unterscheiden (Anton, 2003; Heimlich, 2017). Im Zuge dieser Differenzierungen spielen die anzustrebenden Kompetenzen und Ziele in ihrer Vielfalt eine wichtige Rolle. Insbesondere dann, wenn davon ausgegangen werden muss, dass ein kontinuierlich wachsendes Chemieverständnis erst dann sicher erzeugt wird, wenn sehr früh und dann gleichmäßig und anspruchsteigernd Kontakt zum chemischen Phänomen und dann sukzessive zur Theorie hergestellt wird.

B 1 Erziehen und Sich-Bilden im Fach Chemie

Erziehen ließe sich durch ein Höerschätzen der Bedürfnisse und Talente der jüngeren Generation charakterisieren²¹². Die höhere Risikobereitschaft und der noch geringe Erfahrungsschatz erleichtern Innovationen. Gerd Gigerenzer (seit 1997 Direktor am MPI für Bildungsforschung in Berlin) fordert in einem Artikel in der SZ vom 13./14.7.2013 (S. V2): „Wir brauchen dringend risikokompetente Kinder“. Die sich hierin spiegelnden intellektuellen Fähigkeiten werden als „fluide Intelligenz“ („fluid general intelligence“) bezeichnet. Erziehen äußert sich dann im Erklären von Sachen und Zusammenhängen, im Schaffen von experimentellen Freiräumen und im Setzen von Grenzen. Nach Mona Oellers, einer Anti-Aggressivitäts-Trainerin braucht Erziehung Kraft und viel Engagement. „Einen lebensfähigen, seelisch gesunden Menschen in ein eigenständiges Leben zu begleiten, gehört sicherlich zu den anspruchsvollsten Aufgaben in unserer Gesellschaft. Dabei lohnt sich jeder Aufwand!“ (2014, S. 238).

Erziehender Unterricht besteht primär aus LehrerInnenleistungen mit hoher Vorbild-²¹³ und Präventionslast. Er unterliegt den Regeln der inhaltsorientierten Didaktik. Er ist fachlich und fachsystematisch orientiert, ist klar strukturiert und vermittelt Methoden-, Daten-, Informations- und Medienkenntnis; er besitzt vornehmlich Lernfunktion, zielt auf Fehlerkorrektur, ist gekennzeichnet durch einen hohen Wissenszuwachs und dient der Herleitung von Lernstrategien. „Erziehen heißt `Verstehen lehren‘“ (Gruschka, 2011, S. 21)

Eine wesentliche Forderung an den Erzieher ist seine Fähigkeit zur „reflektierten Beobachtung“ (Martin & Wawrinowski, 2014). „Dazu gehört eine offene Einstellung, die vor allem durch ein entdeckendes Beobachten mit ungerichteter Aufmerksamkeit gekennzeichnet ist“ (S. 8). SchülerInnen sollen durch „Erziehung zu einem Verhalten befähigt werden, das ihnen erlaubt, produktiv dem Unterricht zu folgen“ (Gruschka, 2011, S. 30). Dies präzisiert Gruschka: „Erfährt ... der Schüler ausschließlich, dass er schlecht, faul und unfähig ist, ohne dabei zu erkennen, was ihn sachlich daran hindert, endlich besser zu werden, kann Erziehung nicht erfolgreich werden. Daraus folgt, dass mit der Erziehung erst dann erfolversprechend begonnen werden kann, wenn sie nicht als solche inszeniert wird, sondern in der Vermittlung des Verstehens aufgeht. Erziehen ist dann das Zeigen all dessen, was SchülerInnen können müssen, um produktiv am Unterricht teilnehmen zu können. Solches Zeigen kann dabei wörtlich als Vormachen, Erklären, Führen verstanden werden, aber es kann auch in der Rousseauschen Weise erfolgen, nämlich als scheinbare Abwesenheit von Erziehung, weil diese den SchülerInnen bereits schon als die Herausforderung durch die Sache und die Menschen begegnet. Das Verstehen selbst aber lehrt man allein dadurch, dass es als eigene Leistung des Lernenden hervorgebracht und wahrgenommen wird“ (S. 185).

Das Sich-Bilden (Schäfer, 2005) zeigt sich im Höerschätzen der Erfahrungen und Weisheiten der älteren Generation. Ein positiver Konservatismus und die konsolidierten Erfahrungen werden zur „kristallinen Intelligenz“ („crystallized general intelligence“)

²¹² ... und nicht „die organisierte Verteidigung der Erwachsenen gegen die Jugend“ (Quelle unbelannt)

²¹³ Diese Vorbildwirkung äußert sich auch in der nachweislichen Beeinflussung des Fähigkeitsselbstkonzepts (Fsk) der SchülerInnen durch das der LehrerInnen. Fühlt sich die Lehrperson sichtlich unwohl und unsicher in der fachlichen Domäne und deren Vermittlung, so entwickeln auch SchülerInnen keine Sicherheit im Stoff und neigen zu Meideverhalten. (Vgl. Ausführungen im Vortrag von Prof. Dr. Markus Wilhelm, PH-Luzern, anlässlich der Vorstellung eines neuen Ausbildungskonzepts für Naturwissenschaftslehrer (NWT) an der Universität Regensburg am 9.11.2012)

Ganz einfach: Vorbildsein bedeutet, mit dem Bild, das andere von mir haben, vorsichtig umgehen!
Tiefgründig muss der Ausspruch des bayerischen Komikers Karl Valentin (1882-1948) interpretiert werden: „Erziehen hilft nichts – Die machen einem ja doch alles nach!“

zusammengefasst²¹⁴. Sich-Bilden beinhaltet das Erkennen, Sich-Entfalten, Fair-Sein und geistig wie physisch mobil sein.

Bildender Unterricht besteht primär aus Schülerleistungen mit hoher Bewährungslast. Er ist fächerverbindend und systemisch orientiert, ist nicht vorstrukturiert und ermöglicht den Umgang mit Methoden, Daten, Informationen und Medien; er besitzt vornehmlich Leistungsfunktion, zielt auf Fehlervermeidung, ist gekennzeichnet durch eine nachhaltige Konsolidierung des konditionalen, funktionalen und metakognitiven Wissens. Er dient der Erprobung von Lernstrategien sowie der von elektronischen Bildungsangeboten, wie sie immer zahlreicher unter dem Begriff „Bildungserfindungen“ angeboten werden (Vgl. www.didacta-magazin.de (10 (2018) 1, 32-34). „Zwischen Unterricht und Erziehung herrscht eine enge Verbindung, der Unterricht ist eine Sonderform der Erziehung“ (Zöpfl, 1967, S. 115), was sich auch in der Beziehung zwischen `Wissen` und `Haltung` ausdrückt!

Es gilt, hierzu eine je nach Zielstellung flexible Gleichgewichtseinstellung vorzunehmen, auch wenn das nicht zu den leichten Übungen gehört²¹⁵. Mohr spricht von der `Komplementarität der Generationen`. Bei Spitzer (2020) heißt es hierzu: „Hunderttausendfach im Laufe des Lebens eines Menschen ablaufende Interaktionen – wie zum Beispiel: jüngerer Mensch, ungeduldig, neugierig: „Wie geht denn das?“ – älterer Mensch, geduldig, verständnisvoll: „Komm, ich zeig’s dir“ – sind durch nichts zu ersetzen“ (S.238) (Vgl. auch hier auf S. 217).

²¹⁴ Mohr spricht in diesem Zusammenhang von der „Komplementarität der Generationen“, da sich fluide Intelligenz vornehmlich in der risikofreudigen jungen Generation für die Verfolgung neuer Ideen eignet, die kristalline Intelligenz dagegen mehr für die konservierende traditionelle Haltung der Älteren. Beides zusammen dient einem ausgewogenen Fortschritt (Hans Mohr, Vortrag an der LMU am 17.11.1997).

Fluide Intelligenz wird durch die Förderung des induktiven Denkens günstig beeinflusst und ist damit durch schulische Interventionen weiter entwicklungsfähig (Billmann-Mahecha et al., 2009).

²¹⁵ Dem Autor ist sehr wohl bewusst, dass diese Aufgabenteilung und die damit verbundenen Wertigkeiten jugendlicher und erwachsener Lebensphasen nicht mehr so klar aufeinander bezogen werden können, wie das vor zwanzig und dreißig Jahren der Fall war (oder zu sein schien!). Claudius Seidl, Jahrgang 1959 und Feuilletonchef der Frankfurter Allgemeinen Sonntagszeitung, bringt es provokativ auf den Punkt: „Wenn wir der Jugendlichkeit solche Eigenschaften wie Dynamik, Neugier, Flexibilität, Offenheit, Aggressivität zuordnen, und dem Erwachsensein die Erfahrung, die Weisheit, die Verlässlichkeit und Stetigkeit – dann müssen wir uns auch eingestehen, dass der Kurswert der Jugendlichkeit in den vergangenen dreißig, vierzig Jahren gewaltig gestiegen ist. Und die Notierung der erwachsenen Werte ist gesunken: Mit der Erfahrung von vor zwanzig Jahren werde ich mich weder im Internet zurechtfinden noch auf die Frage, wie ich mich fürs Alter finanziell sichere, eine passende Antwort finden. Mit Verlässlichkeit und Stetigkeit allein kann ich keine Abteilung mehr führen und meine Kinder nicht auf die Herausforderungen des Lebens vorbereiten“ (2005, S. 4-5).

B 1.1 Chemische Grundbildung

Grundbildung beinhaltet die Bereitschaft und Fähigkeit zu lebensbegleitendem Lernen und die sachlich fundierte Übernahme von Verantwortung für sich und die Gesellschaft²¹⁶. Im Sinne einer „proaktiven Bildung“ sollte die Freude geweckt werden ...

- am zunehmenden Weltverständnis und an der Erweiterung eigener Handlungsmöglichkeiten
- an Analysen und Visionen
- an fortgesetztem Lernen *fachlicher Inhalte*
- an der Kompetenzentwicklung und Eigenverantwortung
- am *Kommunizieren* und Mitredenkönnen
- an sozialem Engagement und an persönlichem wie gemeinsamen Erfolg
- an perspektivischer Vielfalt sowie an der Zuordnung und Bewertung wissenschaftlicher Aussagen teilnehmen zu wollen

Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung bedeutet, dass Menschen mit den grundlegenden Konzepten der Naturwissenschaften und der Mathematik vertraut sind. Sie ermöglicht die Kommunikation mit Experten und die sachliche Bewertung und Berücksichtigung von deren Aussagen bei persönlichen und gesellschaftlichen Entscheidungen (Baumert et al., 2001; Fachgruppe Chemieunterricht der GDCh; 2005 Hofheinz, 2007)²¹⁷. Dabei wird anhand einer curricularen Delphi-Studie (hier: „Welche chemiebezogene Grundbildung ist für den Einzelnen in der Gesellschaft von heute und in naher Zukunft sinnvoll und pädagogisch wünschenswert?“) in Erfahrung gebracht, über welche *Qualifikationen* ein Individuum im Bereich der Chemie verfügen und mit welchen *Gebieten der Chemie* sich ein „naturwissenschaftlich gebildeter Mensch“ beschäftigt haben sollte“ (Bolte, 2002, S. 87). Damit sollen Entstehung bzw. Festigung der folgenden „misconceptions“ vermieden werden

- „Misconception 1: You can lead a chemical life
 - Misconception 2: Man-made chemicals are inherently dangerous
 - Misconception 3: Synthetic chemicals are causing many cancers and other diseases
 - Misconception 4: Our exposure to a cocktail of chemicals is a ticking time-bomb
 - Misconception 5: It is beneficial to avoid man-made chemicals
 - Misconception 6: We are subjects in an unregulated, uncontrolled experiment“
- (Sense About Science, 2006).

Der Gebildete sieht den Wert mathematisch-naturwissenschaftlicher Grundbildung nicht nur in der praktischen, unmittelbaren Anwendbarkeit des damit erworbenen Wissens (Bolte & Schulte, 2014²¹⁸), sondern auch als „inneren Wohlstand“ (Anton, 2009c), wobei es auch um den Besitz, die Verfügbarkeit von Erklärungen, Begründungen

²¹⁶ Erst, wenn sich Wissen in einer Haltung manifestiert, geschieht Bildung, irreversibel!

²¹⁷ Im Januarheft 2015 des MNU (MNU 68 (2015) 1, 58) werden die Mitglieder aufgerufen, an einem „**gemeinsamen [europäischen] Referenzrahmen für Naturwissenschaften**“ mitzuarbeiten. Hierzu werden drei Referenzniveaus vorgegeben, denen Ausbildungsstufen zugeordnet werden. Zu diesen Bereichen sollen dann Konkretisierungen angegeben werden.

A Elementare naturwissenschaftliche Bildung

B Naturwissenschaftliche Allgemeinbildung

C Naturwissenschaftliche Bildung eines Experten. Mittlerweile (Eisner et al., 2019) liegt der **GeRRN** in 3. überarbeiteter Auflage vor. Mitarbeit wird weiterhin angeboten

²¹⁸ Auch im Zuge des PROFILES-Projekts (Professional Reflection-Oriented Focus on Inquiry-based Learning and Education through Science) der Europäischen Union wird dieser Frage über alle Einzelprojekte hinaus intensiv nachgegangen

und Einschätzungen geht, die zur Alltagsbewältigung, d.h. zur Selbstorientierung in der Welt beitragen.

Zugleich handelt es sich um einen kaum zu unterschätzenden Faktor im Zusammenhang mit der Ökonomie eines Landes: „Genügt die Qualifikation der Arbeitskräfte den Erfordernissen des Marktes nicht mehr, steigt der Preis der Bildung, die Einkommen besser ausgebildeter Arbeitskräfte erhöhen sich überdurchschnittlich, und die Ungleichheit [zwischen arm und reich] nimmt zu“ vice versa (Deaton, 2017, S. 249). Der Nobelpreisträger für Wirtschaft 2015 betont ebenso, dass es sich hierbei vornehmlich um solche Qualifikationen und Bildungsinhalte handelt, welche mit der Nutzung von modernen und innovativen Technologien und damit auch Medien zusammenhängen. Die Schulen und dort die Naturwissenschaften sind hier insbesondere gefordert, um nötige Voraussetzungen für eine Verringerung der gemeinten Kluft zu schaffen. Noch zu Beginn des 19. Jahrhunderts sollte genau das vermieden werden. „In Großbritannien wurde beispielsweise auf Flugblättern davor gewarnt, dass Wissen die Armen über `ihre niederen und mühseligen Pflichten´ (Briggs, 2000) erhebe“ (Wulf, 2018, S. 242). Demgegenüber konzentrierte sich Alexander von Humboldt zeitgleich „auf Natur, Wissenschaft und Erziehung. Er wollte den Menschen helfen, ihre Verstandeskkräfte freizusetzen. `Mit dem Wissen kommt das Denken´, schrieb er, und mit dem Denken die `Kraft´ (Bruhns, 1969)“ (Wulf, 2018, S. 246). Dementsprechend gibt es nicht nur eine Umweltgefährdung, sondern auch eine „Innenweltgefährdung“ (Michael Ende, in einem Interview).

Aus Sicht der Chemiedidaktik und mit Blick auf den Chemieunterricht lässt sich eine chemische Grundbildung²¹⁹ wie folgt charakterisieren:

- Einblick in das Wesen chemischer Prozesse, als Vorgänge, bei denen Materie ihre Eigenschaften deshalb ändert, weil sich im submikroskopischen Bereich die Bausteine unter energetischen Veränderungen neu orientieren (können) (Hoffmann, 1997).
- Vertrautsein mit den spezifischen Denkweisen im Verbinden von Stoffeigenschaften & Stoffartumwandlungen mit Deutungssystemen („Zwiedenken“, Christen, 1990) sowie mit der experimentellen Arbeitsweise der ChemikerInnen
- Bewerten von Expertenaussagen, wobei gilt: „Die Übereinstimmung in Sachurteilen und die damit verbundene Bestätigung des eigenen Denkens ist eine der wertvollsten Erfahrungen, die Schule vermitteln kann ...“ (Kubli 1983).

Gerade dieser letzte Aspekt muss besonders ernst genommen werden, da das Laienurteil nicht automatisch schlechter ist als Expertenbewertungen; es ist die Konsequenz aus einer anderen, heuristischen²²⁰ Wahrnehmung der Wirklichkeit (Weinert, 1988).

Diese Aspekte sind auch Bestandteil eines dynamischen Konzepts für eine mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung, wie sie in den Schwerpunktprogrammen von IMST zwischen 2000 und 2005 hergeleitet worden sind; dynamisch in dem Sinn, dass es sowohl die schulische Praxis verändern kann als auch durch

²¹⁹ Ein Überblick über den pädagogischen Bildungsbegriff findet sich z. B. bei Heymann, 1996

²²⁰ Heuristiken (hier): Vorgestellter Schaden wird höher bewertet als vorgestellter Nutzen auf der Basis von spontan erzeugten groben mentalen Modellen ...

- aus vielen Schadensfällen,
- großem Katastrophenpotenzial
- geringer Einflussmöglichkeit
- spät eintretenden Konsequenzen
- ungerechter Nutzenverteilung, was auch zu einer Immunisierung des eigenen Standpunkts führt

praktische Erfahrungen selbst veränderbar ist. Was zur Bildung gehört und was nicht, kann nicht ein für alle Mal festgelegt, sondern muss in einer ständigen und breiten Diskussion unter allen Beteiligten ausgehandelt werden. Hierzu existieren inhaltliche und methodische Leitlinien, mit deren Hilfe es gelingen kann, Fachinhaltswahl und Methodenentscheidungen auf ihre Angemessenheit für das jeweilige Unterrichtsziel zu bewerten (Vgl. Fischer, 2009a, 2009b). Auch was Bildung eigentlich ist, ist einem Deutungswandel unterzogen. So spricht der Soziologe Pierre Bourdieu (1983) von Bildung als von einem Bestandteil des Kapitals „als gesellschaftlich relevante Ressourcen, die imstande sind, die Stellung eines Menschen innerhalb der Hierarchie einer Gesellschaft zu bestimmen, zu erhalten oder zu verändern. Neben dem ökonomischen Kapital nennt er zwei weitere Sorten von Kapital, die vom Prinzip her gleichwertig sind: kulturelles Kapital (Bildung) und soziales Kapital (Netzwerke). Sie sind deshalb Kapital, weil sie gleichermaßen nützlich sein können. Und sie sind grundsätzlich gleichwertig, weil sie austauschbar sind, also die Funktion einer Währung haben können“ (zit. nach El-Mafaalani, 2020, S. 26-27)²²¹.

Unterricht schafft Situationen, in denen SchülerInnen ihrem Entwicklungsstand gemäß lernen und sich bilden können. Mit zunehmendem Reifegrad der Lernenden löst deren Verantwortung für die eigene Bildung die Erziehungsverantwortung der Lehrpersonen immer mehr ab. Am Ende der Schulzeit wird von Abiturienten und Maturanten - über die Lebensbewältigung hinaus - die eigenverantwortliche Problemerkennung und -bearbeitung sowie die Bewertung verschiedener Lösungsansätze erwartet. Sie müssen in der Lage sein, ihren weiteren Bildungsgang selbst in die Hand zu nehmen. Nach Schiefele (1986) und Prenzel (1994) (zit. nach Krapp, 1998, S. 187) gelten Interessen „als wichtige Komponenten gelungener Bildung“ oder sehr prägnant formuliert: „Wer kein Interesse hat, ist nicht gebildet“ (Schiefele (1986). Allerdings entwickeln jeder Schüler und jede Schülerin ein bestimmtes Interesse nicht zur gleichen Zeit und im selben Ausmaß. Je nach Begabung und Lernbedingung kommt es zu inklusionsrelevanten Differenzierungen.

Bei der Frage nach dem Beginn einer expliziten Begabungsförderung sind sich Eltern in der Regel einig: So früh wie möglich! Präzisiert man dieselbe Frage nach inhaltlichen Schwerpunkten, etwa nach den ersten unmittelbaren Kontakten mit naturwissenschaftlichen Themen und Methoden oder gar mit „Chemie“, dann erfolgt teilweise Zurückhaltung. Immer häufiger geschieht es aber, dass Erfahrungen mit Stoffartumwandlungen, also mit Chemie doch gewünscht sind, wenn sie in sichere Hände kompetenter Personen gelegt werden können. So bestehen keine Bedenken, wenn Dozenten der Chemiedidaktik mit Studierenden der verschiedenen Lehrämter im Rahmen moderner „Berufsfeldorientierung“ mit Vorschul- und Grundschulkindern experimentieren. Von solchen Enrichment-Angeboten²²² profitieren die Kinder sowie die

²²¹Erläuterungen: ökonomisches K. zur Sicherung des Lebensstandards, Bildungskapital (Humankapital) wird ausgedrückt in Objekten (Kunstgegenstände, Kulturgüter wie Bücher etc.), Wissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kompetenzen, soziales K. in Form von Beziehungen, Vernetzungen

²²² „Enrichment“ bedeutet Anreicherung des Lehrstoffs über den Lehrplan hinaus –ein umfangreicheres und inhaltlich vertieftes Angebot (ein bloßes Mehr an Arbeitsblättern oder Texten ist nicht Enrichment). Enrichment-Typ 1: Interessen entdecken; Typ 2: Interessen vertiefen; Typ 3: Interessen leben (Vgl. Oswald & Weilguny, 2005). Von Bedeutung ist, dass die Enrichments nicht ein mehr vom Selben ist, sondern vielmehr ein Angebot, aus dem auf der Basis von vereinbarten Zielen ausgewählt werden kann: *Wähle von den 10 Übungen 3 aus und erledige Sie bis in 2 Tagen!* Heller & Hany (1996) definieren Enrichment als „alle Arten der Ergänzung, Erweiterung und Vertiefung des regulären Curriculums durch neue Sachthemen, Lern- und Denkprozesse sowie Lernformen ..., die begabten Schülern nach oder neben der Bearbeitung des regulären Curriculums angeboten werden und die nicht zu einem beschleunigten Durchlaufen der regulären Schullaufbahn führen“. Dem gegenüber steht die ‚Akzeleration‘ als „Erhöhung des

Schüler in höheren Schulstufen (Wasmann, 2013) im selben Maße wie die angehenden Lehrer und Lehrerinnen, grundsätzlich und im Detail. Denn was sich durchführen lässt und welche Fragehaltungen sowie vorunterrichtliche Vorstellungen bei den Kindern herrschen, ist mehr als interessant und mittlerweile unverzichtbar für das schulartübergreifende Kennenlernen des zukünftigen Berufsfeldes einer Lehrkraft²²³. Offensichtlich bedeutet es eine Steigerung der Nachhaltigkeit konzentrierter Beschäftigungen mit Chemie (insbesondere zwischen dem 4. und 9. Lebensjahr), wenn die Eltern als zusätzliche „Sachverständige“ mit einbezogen werden, etwa im großangelegten Projekt „Kinder erleben mit den Eltern Chemie“ (KEMIE) (Sommer et al., 2013). Beforscht wurde das Gebiet der Vorschule federführend und ertragreich von der Chemiedidaktikerin (Universität Bielefeld) Gisela Lück, die 1996 auf einem Kongress der GDCh in Nürnberg erstmals öffentlich berichtete, sofort auf große Skepsis stieß und seither jedoch mit einschlägigen Veröffentlichungen auch das Interesse anderer Chemiedidaktiken auf diese Klientel gelenkt hat (Lück 2000a, 2000b, 2003). Folgerichtig wurde dann auch die naturwissenschaftliche Ausrichtung innerhalb des „Heimat- und Sachunterrichts“ (HSU) der Grundschule unter die Lupe genommen. Es ergaben sich analoge und ermutigende Ergebnisse, aus denen sich bis heute immer wieder bestätigen lässt, dass unter durchaus realistisch einstellbaren Bedingungen den Kindern anspruchsvolle chemisch-experimentelle Erfahrungen ermöglicht und mit ihnen bis hin zur Modellebene reflektiert werden können (Streller, 2009; Höffler et al., 2014), wobei unter `Naturwissenschaft` nicht immer auch `Chemie` subsummiert wird (Fischer et al., 2010)²²⁴.

Hohe frühzeitige Erwartungen an die fachspezifische Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler, eine von Zieloperatoren und proaktivem beidseitigen Feedback (Gärtner & Vogt, 2013) getragene LehrerInnen-SchülerInnen-Beziehung, in der strukturierte Instruktionen den Lehrlernprozess lernzeitnützend und dabei explorativ (=hypothesengenerierend), kooperativ sowie reflexiv gestalten sowie Gelegenheiten zum anwendenden Üben des Gelernten und Erstellen von Übersichten und Clustern (Concept-Mapping) bilden in der Summe die Variablen ab, welche nach Hattie´s Meta-Metaanalyse (2012) bezüglich der Lernerfolge die höchsten Effektstärken d aufweisen ($0.41 < d < 0.88$) (Köller et al., 2013, S. 40).

So ließe sich schlussfolgern, dass mit chemiebildungsrelevanter Begabungsförderung unter Miteinbeziehung einer wie auch immer definierten

Darbietungstempos des regulären Curriculums in unmittelbarer Anpassung an das beschleunigte Lerntempo begabter Schüler“ (S. 492)

Bei Hoyer et al. (2013, S. 101-121) finden sich sehr konkrete Angaben für internationale und im Kleinen realisierbare Enrichment-Projekte, u.a. das „Schoolwide Enrichment Model“ (SEM) nach Renzulli (1978) und Reis & Renzulli (2009)

²²³ Seit 2001 existiert (neben anderen) eine enge Kooperation mit der Grundschule Kranzberg nördlich von München, innerhalb derer in jährlichen Projekten mit einem bestimmten Motto (2013: „*Chemie an jedem Tag*“) schulinterne Lehrerfortbildungen (SCHILF) und Praktikumswochen mit allen Schülern der Schule unter Mitwirkung der LA-Studierenden durchgeführt werden. U.a. wird dabei deutlich, wie sehr chemische Inhalte lehrplankonform zum Fach Heimat- und Sachunterricht“ (HSU) anspruchsvoll und handlungsorientiert so behandelt werden, dass sich daraus eine klare Orientierungshilfe für die Schüler von Jgst. 1 bis 4 ergibt. 2016 wurde diese Kooperation beendet, da es die „Verschulung“ des LA-Studiums nicht mehr möglich machte, dass Studierende mehrere Vormittage freigestellt werden konnten! Die an dieser Schule initiierte Lehrerin, Frau Heike Hartmann erhielt 2011 den GDCh-Preis für innovative Chemie an Grundschulen in Deutschland

²²⁴ Die vielfach unterschätzte und fallweise negierte Belastbarkeit, Interessenlage und Motivierbarkeit von Schulanfängern führte sogar zu einem Themenheft der „Unterrichtswissenschaft“ mit dem Titel „Das unterschätzte Grundschulkind“ (UW 39 (2011) 1)

„Minderbegabung“ nichts anderes beschrieben wird als ein ideales Unterrichtsmilieu²²⁵, in dem sich die bestmögliche Berücksichtigung der von SchülerInnen mitgebrachten Voraussetzungen (Allgemeine Vorkenntnisse, fachliches Vorwissen und Erkennen des unmittelbaren Nutzens der in Aussicht gestellten Lernergebnisse) manifestiert und weiter entwickeln kann (Pior, 1998, Oswald & Weilguny, 2005; Friedl et al., 2010). „Besonderheiten werden in dieser Sichtweise geradezu ein typisches Phänomen, denn jeder Schüler hat sein besonderes Leistungs- und Persönlichkeitsprofil“ und erfordert „besondere pädagogische Maßnahmen“ (Andreas, 1989, S. 14).

Dies impliziert auch gewichtige und vielfältige Anforderungen an die moderne LehrerInnenbildung (Bröll & Friedrich, 2012; Wischer, 2013; Graube, Mammes, Tuncsoy, 2013), insbesondere an ihre fachspezifischen Qualifikationsziele (Anton, 2013b) (Abb. B1). Dies ist umso gravierender, je deutlicher man in den Stundentafeln der Grund- und Mittelschule sowie in der Unterstufe der weiterführenden Schulen (Realschule, Gymnasium) nicht drei Fächer, sondern „Naturwissenschaften“ (Science) unterrichten lässt. Hierzu berichten Rautenstrauch & Busker (2021) über Ergebnisse ihrer Studie an 509 SchülerInnen der Sekundarstufe I, dass „im Naturwissenschaftsunterricht trotz höherem Lebensweltbezug nicht mehr Interesse an chemiebezogenen Tätigkeiten geweckt wird als im Fachunterricht Chemie. Darüber hinaus wirkt sich ein länger andauernder Unterricht im Fach Naturwissenschaften negativ auf das Interesse im Bereich chemiebezogener Tätigkeiten aus“ (S. 15). „Zudem scheint der Aufbau von fachinhaltsbezogenen Selbstwirksamkeitserwartungen im Fachunterricht Chemie besser zu gelingen als im Naturwissenschaftsunterricht“, ... „auch der Aufbau von chemischem Fachwissen [gelingt] im Fachunterricht besser ... als im integrierten Fach Naturwissenschaften“ (S. 15).

Auffallend ist der zusätzlich spürbare Rückzug von Chemie im Bereich der Studienfachwahl, sodass genau diese Qualifikation selten erworben wird. Dies auch und wieder, weil dieses Fachgebiet traditionell als zu schwierig empfunden wird und weil immer wieder schlechte Erfahrungen aus der eigenen Schulzeit mit dem Chemieverstehenkönnen gemacht worden waren.

²²⁵ Kempa (2000) von der University of Keele, Staffordshire, UK unterscheidet in einem Vortrag anlässlich der GDCP-Tagung, 1999 in München hierzu sehr plakativ Interesse von Motivation: „Interesse bezieht sich auf `Was man lernt` oder `Was gelehrt wird`, Motivation bezieht sich auf `Wie man lernt` oder `Wie gelehrt wird`“ (S. 20)



„Intependent“, 13.8.2013

Abb. B1: Auch in der britischen Presse wird deutlich angemahnt, dass es nicht angehen kann, dass die MINT-Fächer von nicht im Fach qualifizierten Lehrkräften unterrichtet werden.

Die fachliche Qualifikation ist nur eine Voraussetzung für eine didaktische Arbeit am Inhalt. Die Fähigkeit zur Ermittlung von vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler sowie der Instrumentalisierung dieser Präkonzepte für gewinnbringende Unterrichtskonzeptionen im Sinne einer Umwandlung neuer „Handlungsabsichten“ in neue „Handlungsorientierungen“ (Fischler, 2000, S. 27) ist die andere, nicht weniger wichtige Qualifikation für die Beschäftigung mit der „inneren Welt der Lernenden“ (Langlet, 2021). Dabei sollte diese Erinnerung an schon etabliertes Wissen, wenn immer möglich, ausdrücklich, explizit und zeitlich durchaus ausgedehnt erfolgen, denn der „Inhalt der Erinnerung [an den ja angedockt werden soll] verändert sich mit jedem Abruf, da er neu abgespeichert und re-konsolidiert wird“ (Korte, 2017, S. 292) und das benötigt Zeit.

Die dritte Voraussetzung für erfolgreiches Unterrichten, insbesondere von Chemie besteht in der Berücksichtigung der Abhängigkeit der Verstehensleistung, also dem geistigen Vermögen, Beziehungen herstellen zu können („*Verstehen als 'Sehen' von Zusammenhängen*“, Reusser & Reusser-Weyeneth, 1994, S. 2), sowohl zwischen Vorwissen und neuer Information als auch zwischen einzelnen folgerichtigen Denkschritten. Wie sehr hierfür eine innerunterrichtliche Kommunikation im Sinne äußerst feinfühleriger Gesprächsführung entscheidende Beiträge leistet, wird von de Boer (2015) ausführlich dargelegt und begründet: „Dazu müssen SchülerInnen und LehrerInnen, ... , für den Umgang mit der Sprache der 'Anderen' sensibilisiert werden, im Sinne der Herstellung von Anschlüssen und des 'Produktivmachens' von Gehörtem und Gesagtem“ (S. 31²²⁶).

²²⁶ „Genau beschreiben, was der Schüler tut – wenn er z.B. ein Gedicht interpretiert, einen Satz kopiert, eine eingekleidete Rechenaufgabe durchdenkt, um den Ansatz zu finden, erfordert eine hochentwickelte psychologische und pädagogische Achtsamkeit, eine Weite der Einfühlung und des Nachverstehens, die als Naturgabe nicht häufig, erst als Resultat einer guten Schulung zu erlangen ist (Fischer, 1914, S. 86, zitiert aus Lippitz, 1993, S. 28).

B 1.2 Chemische Vorbildung

Im Kontext der Vorwissensaktivierung und der Aufdeckung von vorunterrichtlichen Konzepten²²⁷ zu naturwissenschaftlichen, hier chemischen Phänomenen, aber auch der nachhaltigen Festigung ihrer Korrekturen und Ausweitungen finden unterschiedliche Maßnahmen ihre sinnvolle Anwendung:

- Selbsterklärungen²²⁸ (Knogler & Schneeweiss, 2021)
- Pressemeldungen (Haupt, 2010; Loschen, 2013),
- „Verbraucherdialoge“ (Becker, 1990),
- „Concept Cartoons“ (Yitbarek & Engida, 2004; Stenzel & Eilks, 2009; Steininger, 2011),
- „Konzeptwechseltexte“ (Beerenwinkel et al., 2007; Egbers & Marohn, 2013),
- „Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren“ (Petermann et al., 2008),
- „Chemie-Foto-Storys“ (Tomcin & Reiners, 2009),
- „Konzept des gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterrichts“ (Stolz et al., 2011),
- „Werbung im naturwissenschaftlichen Unterricht“ (Belova & Eilks, 2014; vgl. auch Leonhard & Moosmann, 2009; Markic & Burmeister, 2015),
- „Mysteries“ (=“anchored instructions“) (Abels et al., 2014; Abels & Lembens, 2015; Lautner et al., 2014²²⁹; Kruse & Denz, 2015; Frey, 2015; Peleg et al., 2015) u.a.

Es sei hier auch auf das erst neu hinzugekommene Prinzip des „chemiespezifischen Humors“ verwiesen (Dickhäuser et al., 2013). Bei dem ist –prägnant formuliert– „ein Inhalt des schulischen Chemieunterrichts (Bezugssystem I) mit einer auf diesen Inhalt sinnvoll bezogenen Situation (Bezugssystem II) unpassend verknüpft“ (S. 480-481). Der hieraus ableitbare kognitive Konflikt wirkt den Autoren zufolge deshalb motivierend, da „das kollektive Verstehen von Humor für Jugendliche eine zentrale Rolle spielt“ (S. 482). Humorverständnis impliziert die Fähigkeit, über die konkrete Sache hinausdenken, sie relativieren und sie vor einem „unpassenden“ Hintergrund bewerten zu können. Insofern ist Humor in der Wissenschaft auch eine anspruchsvolle Denkherausforderung.

²²⁷ Es ist davon auszugehen, „daß schon das Erfahrungs- und Weltwissen des kleinen Kindes nicht ungeordnet ist und beliebig erworben werden kann, sondern in einer Organisationsform gespeichert wird, die man als 'intuitive Theorie' bezeichnen kann (Perner, 1991)“ (Weinert, 1994, S. 278). Vgl. auch Elschenbroich, D. (2001). Das Weltwissen der Siebenjährigen – Wie Kinder die Welt entdecken können. München: Kunstmann

²²⁸ „Sich selbst etwas zu erklären, ist eine kognitive Aktivität, durch die Lernende ein tieferes Verständnis von Lerninhalten entwickeln sollen. Im Gegensatz zu sogenannten instruktionalen, d. h. vorgegebenen, Erklärungen erschließen und erklären sich Lernende Begriffe, Sachverhalte und Zusammenhänge selbst. Dabei werden sie konkret angeregt, Verknüpfungen zwischen den Inhalten von Aufgaben und ihrem eigenen Vorwissen herzustellen, sich bewusst zu machen, welche einzelnen Schritte zur Lösung einer Aufgabe nötig sind oder welche argumentativen Strukturen (z. B. These, Beleg oder Gegenthese) in einem Textabschnitt stecken. Manche Lernende zeigen dieses Verhalten spontan, andere müssen durch Fragen und andere Impulse dazu angeregt werden. Solche Impulse können vor, während oder nach der Bearbeitung von Aufgaben eingesetzt werden. Zu diesen Impulsen gehören Formulierungen wie „Erklären Sie diesen Begriff.“, „Begründen Sie diese Entscheidung.“, oder „Welchen Lösungsschritt wenden Sie an und warum?“. Zentral ist dabei, dass diese Impulse selbst keine zusätzlichen Sachinformationen oder Erklärungen enthalten“.

²²⁹http://aeccc.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/kompetenzzentrum_aeccc/Newsletter/2013/Newsletter_2_13_14.pdf

Allen ist gemeinsam, dass sie alltags- und unterrichtsrelevante Situationen anbieten bzw. einfordern, die zur Elaborierung vorunterrichtlichen wie auch curricularen chemischen Wissens dienen sollen. Solche Verfahren lassen sich zu analytischen Zwecken ebenso einsetzen wie zur Förderung von Lernenden. Die damit verbundenen spielerischen Erlebnisse wirken stimulierend und verbessern die Lernsituation (Abb. B2). Letztlich müssen sich auch die Schulbücher daran orientieren und Schülerperspektiven einnehmen (Beerenwinkel et al., 2007). Wie wichtig es ist, insbesondere Präkonzepte ernst zu nehmen, wies der Psychologe Tobias Greitemeyer von der Innsbrucker Universität nach (Psychonomic Bulletin & Review; online). Gerade frühe Erfahrungen werden vom Menschen zwangsläufig mit einer Erklärung versehen. Diese muss nicht immer schlüssig sein, wie etwa die Vorstellung, dass alles, was brennt auch einfach verschwindet. Mit ihnen entspannen und lösen sich entstandene kognitive Konflikte, welche durch Alltagsrelevanz, verbunden mit existenzieller Bedeutungszuweisung ausgelöst worden sind. Gleichzeitig bilden sie einen „Perzeptionsfilter“, mit dessen Hilfe Informationen ab sofort bewertet und stabile Einstellungen („Belief Perseverance“²³⁰, häufig mit Wissen gleichgesetzt;) verursacht werden können. Sollen so entstandene „Fehlinterpretationen“ korrigiert werden, dann entstehen „Lücken im Geist“ (Herrmann, 2013), welche nur dann tatsächlich ersetzt werden können, wenn neue „Erklärungen geliefert werden, warum das Gegenteil der diskreditierten [der Sache abträglichen; der Verf.] Informationen wahr ist“. Das „Hauptmotiv der Rezeption wissenschaftlicher Inhalte durch Laien ist nicht der Erwerb von Wissen (im Sinne von Bildung als `Wert an sich`), sondern die Suche nach Lösungen und Orientierungen für Alltagsprobleme“ (acatech: Weitze, 2012, S.25)²³¹. Dies mag auch einer der vielen Gründe sein für die Empfänglichkeit von allen möglichen Informationen, auch von „fakenews“, insbesondere in der Zeit der weltweit grassierenden „Corona“- oder „Covid-19“-Krise ab März 2020“. In solchen Zusammenhängen ist die Schule und dort der Unterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern besonderen Aufklärungsansprüchen ausgesetzt. So findet sich bei Gigerenzer (2013) die beeindruckende Aussage: „Was wichtig ist für den Alltag, muss zuerst gelehrt werden, was wichtig ist für den Mathematiker [Chemiker], später“ (S. 320).

²³⁰ „perservierend“ = hartnäckig

²³¹ Für „Alltag“ soll hier folgende Def. gelten: Alltag ist die gestaltete, verlässliche und bekannte Umwelt, die zur meist routinemäßigen Befriedigung von Bedürfnissen und Wünschen (Arbeit, Konsum, Freizeit, Schlaf, Sozialkontakte) zur Verfügung steht.

Im Amerikanischen ist von „street smarts“ die Rede. Diese ‚Alltagsgewandtheit‘ war beispielsweise schon im 18. Jahrhundert das Anliegen von Johann Wolfgang von Goethe, der in einem Brief vom 19.12.1798 an Friedrich Schiller schrieb: *„Übrigens ist mir alles verhasst, was mich bloß belehrt, ohne meine Tätigkeit zu vermehren oder unmittelbar zu beleben“*.

Gruppenarbeit (maximal 5 Personen): Lest euch folgende Aussagen zu dem Versuch durch. Entscheidet euch bei jeder Aussage für richtig oder falsch und begründet eure Entscheidung! (Bei Schwierigkeiten findet ihr Hilfekarten an eurem Arbeitsplatz). (6 Min.)



Abb. B2: Beispiele für Concept Cartoons, wie sie von Schülern bearbeitet werden können²³². Neben der Entscheidung für die richtige Version können auch die Begründungen jeweils verlangt werden (Abb. erstellt von Roland Heibei, 2015, Studienreferendar 2014/16)

Es ist nicht zu unterschätzen, dass das Entdecken von Vorwissen, von richtigen und falschen Vorstellungen über chemische Sachverhalte deutlich einhergeht mit der Art und Weise, wie im Unterricht zwischen LehrerInnen und SchülerInnen, zwischen dem Experten und dem Novizen kommuniziert wird. Akribische Untersuchungen von Sumfleth und Pitton (1998) weisen dies aus: „Erst in Unterrichtssituationen, in denen der Redeanteil der Lernenden zunimmt, können Schülervorstellungen überhaupt erkannt werden. Dies kann dadurch erreicht werden, daß Ein-Wort- und andere kurze Antworten von den Lehrenden hinterfragt werden. Dies gelingt aber nur dann, wenn diese ein Vertrauensverhältnis aufgebaut haben und die Lernenden ermuntern, aktiv und selbstbewußt ihre Meinung zu vertreten. Diese Meinung muß von den Lehrenden(!) schließlich auch ernst genommen werden“ (S. 19). Die Autorinnen identifizieren hierzu „zwei Kommunikationsmuster“: Das „Scheingespräch“ mit sehr kurzen Schülerstatements und das „Klärungsgespräch“ mit längeren Schüleraussagen und Diskussionsbeiträgen. Letztere wird unterstützt „durch einen Lehrer, der als Moderator das Gespräch in geeigneter Weise strukturiert“. Eine derartige Differenzierung findet sich auch bei Barnes (2008): Er nennt das zögerliche und mit unvollständigen Sätzen geführte

²³² In diesem Zusammenhang spricht man auch von sogenannten „Vignetten“ als „Situationsbeschreibungen, die in qualitativen und interpretativen Forschungen als Elizitierungsverfahren in Einzel- und Gruppeninterviews eingesetzt werden können: 'In der Sozialwissenschaft steht der Begriff 'Vignette' meist für eine stimulierende Ausgangssituation, die die befragten Personen zu Beurteilungen oder zu weiterführenden Handlungsmöglichkeiten anregen soll' (zit aus: Miko-Schefzig, 2024, S. 7) (Elizitierung meint „gezieltes Hervorbringen von Narrationen in Interviewsituationen“)

Gespräch „exploratory talk“. Mit ihm werden Ideen ausprobiert und SchülerInnen versuchen ihre Gedanken zu klären und in neue Zusammenhänge einzuspeisen. Im „presentational talk“ liegt die Aufmerksamkeit beim konsolidierten Inhalt und bei den ZuhörerInnen.

Bei der Entwicklung von Kompetenzen²³³, etwa der „Kompetenzbereiche“ in den `Nationalen Bildungsstandards für Chemie` der KMK (vom 16.12.2004) und die sich ausbildende „scientific literacy“ (vgl. Gräber et al., 2002) oder „scientific citizenship“ bewähren sich insbesondere transdisziplinäre²³⁴ naturwissenschaftliche Problemstellungen, bei deren Lösungen, also dem empirisch-naturwissenschaftlichem Erkenntnisgewinn²³⁵ die Stationen des inquiry-cycle (Krajcik, 1991) bzw. des „Authentic Reflective Exploratory Learning and Interaction Arrangement“; AuRELIA; Reitingner, 2013) eine besondere Rolle spielen. Dabei geht es um die Fähigkeiten des Beobachtens, der Vorwissensaktivierung (*Fachwissen*), des Protokollierens, des Fragenstellens und Hypothesenbildens sowie des Experimententwurfs und seiner Realisierung bis hin zur kommunikativen (*Kommunikation*) und kritischen Auswertung einer solchen Hypothesenprüfung (*Bewertung*). Dies frühzeitig und in behutsamer Weise an geeigneten Beispielen zu üben, führt dazu, dass die besondere Denk- und Arbeitsweise der Naturwissenschaften im propädeutischen Nachvollzug verinnerlicht wird (Gall et al., 2012). Dabei kommen Wirth et al. (2008) in ihren Untersuchungen zu dem Schluss, dass dem empirischen Erkenntnisgewinn dann besonders zugearbeitet werden kann, wenn einerseits `Lernziele` statt `außerhalb der Person liegende Problemlöseziele`²³⁶ formuliert und andererseits `metakognitive prompts [fachunabhängige, metakognitive Hilfen, die den Lernprozess bewusst machen] während der Lernphase` (Klauer, 1988) angeboten werden²³⁷.

Dass diese Hinführung, speziell zum Prinzip des empirischen Erkenntnisgewinns nicht ausreichend im herkömmlichen Naturwissenschaftsunterricht implementiert ist und die Unterrichtsmaterialien oftmals eine solche Integration nicht unbedingt unterstützen, zeigen Untersuchungen von Hof & Mayer (2009) am Biologieunterricht sowie von Rösch (2013). Gleichzeitig überzeugen Untersuchungen an Schülern der Jgst. 7 und 10, dass diese sehr gut in der Lage sind, chemische Experimentergebnisse zur Absicherung eigener Schlussfolgerungen zu nutzen (Heimann et al., 2011/2012):

²³³ Zu einer ausführlichen Diskussion des Begriffs, siehe Schott & Ghanbari (2012): „Eine Kompetenz einer Person kann nicht direkt beobachtet werden. Eine Kompetenz kann nur indirekt über deren entsprechende Performanz erschlossen werden, d.h. über das betreffende beobachtbare Verhalten oder über die betreffenden beobachtbaren Verhaltensprodukte“ (S. 40)

²³⁴ Sind fachunabhängige, besser überfachliche Problemlagen zu lösen, dann wird das Fachwissen relativiert und unabhängig von seiner Lernherkunft instrumentalisiert. Dieses Stadium nennt man „Transdisziplinarität“ (Defila & Di Giulio, 1998)

²³⁵ Vgl. hierzu auch den grenzziehenden Begriff „Nature of Science“ (NOS) (Bruns, 2009)

²³⁶ So heißt es im „Editorial“ von JChemEd.chem.wisc.edu 75 (1998) 11, 1359 unter dem Schlagwort „Persistence“: „Quite often the reason people don't solve problems is not that the problems are too difficult, but rather that people don't try long enough or hard enough“.

²³⁷ Vgl. hierzu auch ein Dissertationsprojekt am IPN, Kiel: „Effekte metakognitiver prompts auf den Wissenserwerb beim Notizen-Erstellen und concept mapping“; IPN-Blätter 28 (2011) 1, 7

In diesem Zusammenhang sprechen Neber & Anton auch von „creative stopp-points“, kurze Unterbrechungen des Unterrichtsganges, in denen die aktuelle Denk- und Handlungssituation reflektiert werden: „Was mache ich gerade und warum mache ich es?“ – „Was läuft in mir gerade ab?“

Hier wird z. B. Kupferblech²³⁸ in der rauschenden Brennerflamme erhitzt, wobei es „schwarz wird“. Die Aufgabe bestand nun darin, aus mehreren möglichen Erklärmustern das richtige zu finden. Eine Versuchsgruppe (SuS der Jgst. 7 und 9) konnte anschließend den Versuch „Leiten von Sauerstoff über erhitztes Kupfer mittels Kolbenprober“ zusätzlich zur Entscheidungsfindung beobachten. Dieser zusätzliche Effekt trug dazu bei, dass diese SchülerInnen signifikant gezielter die Oxidation als Begründung lieferten als die Gruppe mit nur dem ersten Experiment.

In Folgeuntersuchungen zum selben Problem (Schwarzwerden von metallischem Cu beim offenen Erhitzen) stellen Zenner et al. (2017) fest, dass sich bei der Aufforderung an SchülerInnen, eigene Hypothesen zur Ursache für das Schwarzwerden aufzustellen um daran anschließend experimentelle Konzepte zur Hypothesenprüfung zu entwerfen, herausstellt: „Schülerinnen und Schüler fällt es leichter, für Hypothesen auf niedrigerem Verständnislevel [Das Schwarzwerden beruht auf der Abscheidung von Ruß aus der Brennerflamme als eine von 14 ermittelten Vermutungen] eine Idee für die Variation der unabhängigen Variable zu entwickeln als für Hypothesen auf höherem Verständnislevel [Am Schwarzwerden ist Luftsauerstoff beteiligt]. Gerade zur Überprüfung von Hypothesen, bei denen der Luftsauerstoff als unabhängige Variable variiert werden muss, kann das fehlende Wissen über dafür geeignete experimentelle Methoden eine Hürde für das Planen von Experimenten von höherer Qualität darstellen“ (S. 378). Daraus folgern die Autoren Unterstützungsmöglichkeiten der SuS: „Eine Möglichkeit der Unterstützung bietet die lernbegleitende Diagnose und Rückmeldung“ (S. 379). Auch hier zeigt sich, dass die Hinführung zum „Forschungszyklus“²³⁹ einer sukzessiven Unterweisung bedarf.

„Wie die Lebenswirklichkeit und die Vorerfahrungen der Schüler zum Auffinden von Problemen genutzt werden können“ (Schmitz-Keil, 1990), zeigt das Projekt „YouTest – Jugendliche und Genetisches Testen“ (2012), in dem das Verfahren „Direct-to-consumer genetic testing“²⁴⁰ im Rahmen einer partizipativen Technikfolgenabschätzung (pTA) in Zusammenarbeit von Schule²⁴¹ und Wissenschaftsinstitut (dialog<>gentechnik, Wien; Demokratiezentrum Wien und Institut für Höhere Studien (IHS), Wien) transdisziplinär aufbereitet und im Sinne einer gemeinsamen Kompetenzentwicklung exemplarisch auf den Prüfstand gestellt werden soll.

Anwendbares Wissen, das den Menschen in seinen Entscheidungen sicher macht, erweist sich zurzeit besonders hilfreich in den Bereichen Ernährung, Kosmetika, Energiegewinnung und Umweltpflege und vor allem bezüglich der Technik. „Innovationen

²³⁸ Aus der Materialchemie ist bekannt, dass reinstes Kupfer rosafarben ist. Die originale Cu-Farbe beruht auf einer darauffliegenden Cu(I)-schicht, die bei der Weiteroxidation zu Cu(II)-oxid die bekannte Schwarzfärbung verursacht.

(Auch die goldgelbe Farbe des Golds beruht auf der Komplementärfarbe zur Absorption des blauen Lichts (Anhebung der Elektronen aus dem Valenz- (d-Elektronen) ins Leitungsband (aus s-Orbitalen) (Kaupp, 2005, S. 93).

²³⁹ Vgl. hierzu die Fußnote auf S. 23

²⁴⁰ dtc-Tests oder „over-the-counter“-Tests beziehen sich auf genetische Tests ohne ärztliche Überweisung. Es handelt sich um (meist via Internet privat beantragte) Laboranalysen, „die zu Aussagen über konkrete Eigenschaften hinsichtlich Anzahl, Struktur oder Sequenz von Chromosomen, Genen oder DNA-Abschnitten oder von Produkten der DNA und deren konkrete genetische Modifikationen führen“

²⁴¹ Schüler sollen hierbei „Schlüsselqualifikationen“ erwerben, welche sich nach den Empfehlungen des Europäischen Parlaments und Rates als „Kombination aus Wissen, Fähigkeiten und Einstellungen“, „die für die persönliche Entfaltung und Entwicklung, die soziale Eingliederung, den aktiven Bürgersinn und die Beschäftigung in einer Wissensgesellschaft benötigt werden und die kritisches Denken, Kreativität, Initiative, Problemlösung, Risikobewertung, Entscheidungsfindung und konstruktiven Umgang mit Gefühlen fördern“

(http://europa.eu/legislation_summaries/education_training_youth/lifelong_learning/c11090_de.htm)

und technische Produkte können sich nur dann verbreiten, wenn sie nicht vorschnell abgelehnt werden, beziehungsweise durch gesetzliche Regelungen von vorneherein verhindert oder massiv erschwert werden“ (Aus der Debatte zum Koalitionsantrag 17/11859 „Lust auf Technik“ im Deutschen Bundestag²⁴²). Eine vorzeitige Ablehnung ist auch der „antagonistisch-wertenden Sicht von `Chemie` und `Natur`“ geschuldet, die bei weitem noch nicht versachlicht ist (Kaufmann, 2001). Diskussionen im Zeichen der Umweltbelastung²⁴³ sind wichtige Beispiele hierfür.

Die vorgenannten Überlegungen sollen auch im Kontrast zu den immer wieder und meist fatalistisch geäußerten typischen Merkmalen des „doch so schwer verstehbaren“ Fachs Chemie gesehen werden. Vieles, worüber seit Jahrzehnten geklagt wird, scheint hausgemacht zu sein. Im Zuge einer steten forschungsbasierten Unterrichts e n t w i c k l u n g erscheint es zunehmend wahrscheinlicher und erfolgsversprechender, die festgefahrenen suboptimalen Vermittlungsprinzipien zugunsten besserer, d.h. wirksamerer korrigieren zu können (Dierks et al., 2014). Der Humanist Erasmus von Rotterdam (1465-1536) glaubte bereits 1502, „dass die Lehrer seiner Zeit den Stoff häufig unnötig kompliziert darbieten würden“ (Westerhoff, 2008, S. 38).

²⁴² Artikel von P. Stütze „Gebremste Freude an der Technik“. Das Parlament Nr. 9 v. 25.2.2013, S. 10

²⁴³ Nach der Performance-Künstlerin Swaantje Güntzel (Hamburg), die sich auf einen australischen Philosophen bezieht, nimmt die „**Solastalgia**“, die „Depression aufgrund nicht mehr änderbarer Umweltveränderungen (Abraumhalden, abgebrannte Wälder, verwahrloste Häuserschluchten etc.), denen der Mensch langfristig ausgesetzt ist“, zu.

B 1.3 Bildungsstandards für das Fach Chemie

Traditionelle Stundentafeln weisen das Fach Chemie vornehmlich für die weiterführenden Schulen, insbesondere für Realschule und Gymnasium aus. In den Grund- und Haupt-/Mittelschullehrplänen werden die naturwissenschaftlichen Fächer zu Konglomeraten wie Heimat- und Sachunterricht der Grundschule (HSU) und „Naturwissenschaft und Technik“ der Haupt- bzw. Mittelschule (PCB), zu „Naturwissenschaften“ oder „Science“ verschmolzen. Mittlerweile existieren in den deutschsprachigen Ländern für so genannte Leitfächer, zu denen auch das Fach Chemie zählt, Nationale Bildungsstandards (NBS) für den mittleren Schulabschluss (KMK der BRD, 16.12.2004). Sie beschreiben die Regelstandards, welche mit dem Ende der Schulpflicht von den meist 15jährigen erreicht werden sollen. Mittlerweile existieren Bildungsstands auch für die Oberstufe (Sek. II) (18.6.2020).

Die Beschreibung erfolgt anhand von inhalts- bzw. handlungsorientierten Kompetenzbereichen mit Basiskonzepten „als grundlegende chemische Konzepte, die zur Erklärung chemischer Prozesse notwendig sind“ (Parchmann, 2001, S. 4). Die Ansprüche werden mit Anforderungsstufen beschrieben (Tab. B1 und B2).

B 1.3.1 Kompetenzbereiche und Anforderungsstufen

Die einzelnen Bundesländer sind angewiesen, ihre Lehrpläne so zu gestalten, dass die Kompetenzziele²⁴⁴ unter angemessenen Unterrichtsbedingungen erreichbar sind.

Kompetenzbereich	Anforderungs-Bereich I	Anforderungs-bereich II	Anforderungs-Bereich III
Fachwissen + Basiskonzepte (Stoff-, Teilchen-, Fachsprachen-, Struktur-Eigenschaft-, Donator-Akzeptor-, Energie-, Größen-, Gleichgewicht- & Technik-Konzept ²⁴⁵) chemische Phänomene, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen	Kenntnisse und Konzepte zielgerichtet wiedergeben	Kenntnisse und Konzepte auswählen und anwenden	komplexere Fragestellungen auf der Grundlage von Kenntnissen und Konzepten planmäßig und konstruktiv bearbeiten
Erkenntnisgewinnung experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen	bekannte Untersuchungsmethoden und Modelle beschreiben, Untersuchungen nach Anleitung durchführen	geeignete Untersuchungsmethoden und Modelle zur Bearbeitung überschaubarer Sachverhalte auswählen und anwenden	geeignete Untersuchungsmethoden und Modelle zur Bearbeitung komplexer Sachverhalte begründet auswählen und anpassen
Kommunikation Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen	bekannte Informationen in verschiedenen fachlich relevanten Darstellungsformen erfassen und wiedergeben	Informationen erfassen und in geeigneten Darstellungsformen situations- und adressatengerecht veranschaulichen	Informationen auswerten, reflektieren und für eigene Argumentationen nutzen
Bewertung ²⁴⁶ chemische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten	Vorgegebene Argumente zur Bewertung eines Sachverhaltes erkennen und wiedergeben	geeignete Argumente zur Bewertung eines Sachverhaltes auswählen und nutzen	Argumente zur Bewertung eines Sachverhaltes aus verschiedenen Perspektiven abwägen und Entscheidungsprozesse reflektieren

Tab. B1: Kompetenzbereiche und Anforderungsbereiche im Fach Chemie

²⁴⁴ Der Philosoph und Physiker Nida-Rümelin sieht in den Kompetenzen, besser in den vier Kompetenzbereichen eine „Schrumpfform“ der Tugenden. So steht „Bewertung“ für die umfassendere Fähigkeit der „Urteilskraft“ (Nida-Rümelin, 2013, S. 163-178)

²⁴⁵ Die offiziellen Basiskonzepte (BK) sind hier feiner aufgeschlüsselt, sodass sie differenzierter anwendbar werden

²⁴⁶ Der etwas eckige und weniger alltagstaugliche Begriff „Bewertung“ ließe sich besser übersetzen in „Urteilsfähigkeit“

	Standard I	Standard II.	Standard III.	Standard IV.	Standard V.	Standard VI.
Reading*	To read a short paragraph from a book, not confined to words of one syllable.	To read with intelligence a short paragraph from an elementary reading book.	To read with intelligence a short paragraph from a more advanced reading book.	To read with intelligence a few lines of prose or poetry selected by the inspector.	Improved reading.	Reading with fluency and expression
Writing	Copy in manuscript character a line of print, on slates or in copy books, at choice of managers; and write from dictation a few common words.	A sentence from the same book, slowly read once, and then dictated. Copy books (large or half-text) to be shown.	A sentence slowly dictated once from the same book. Copy books to be shown (small hand, capital letters and figures).	Eight lines slowly dictated once from a reading book. Copy books to be shown (improved small hand).	Writing from memory the substance of a short story read out twice; spelling, grammar, and handwriting to be considered.	A short theme or letter, the composition, spelling, grammar, and handwriting to be considered.
Arithmetic†	Notation and numeration up to 1,000. Simple addition and subtraction of numbers of not more than four figures, and the multiplication table, to 6 times 12.	Notation and numeration up to 100,000. The four simple rules to short division (inclusive).	Notation and numeration up to 1,000,000. Long division and compound addition and subtraction (money),	Compound rules (money) and reduction (common weights and measures).+	Practice, bills of parcels, and simple proportion.	Proportion, vulgar and decimal fractions.

Notes:

- * 'Reading will be tested in the ordinary class books, if approved by the Inspector; but these books must be of reasonable length and difficulty and unmarked. . .'
- † 'The work of girls will be judged more leniently than that of boys. . .'
- + 'The "weights and measures" taught in public elementary schools should be only such as are really useful; - such as Avoirdupois Weight, Long Measure, Liquid Measure, Time Table, Square and Cubical Measure, and any measure which is connected with the industrial occupations of the district.'

Tab. B2: Bereits 1879 gab es in britischen Schulen „Standards“, mit denen die Anforderungen gestaffelt wurden (May, 2011)

„Kompetenzen“ können –wie schon an anderen Stellen erfolgt- unterschiedlich definiert bzw. beschrieben werden. Die NBS-offizielle Definition stammt von F. E. Weinert (2001) und lautet: „Kompetenzen sind die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“²⁴⁷. Kürzer, dasselbe meinent, definiert Leisen

²⁴⁷ Klieme et al. (2001) nimmt sich einer unveröffentlichten Beschreibung von Kompetenzen von Weinert (1999e) an, die er zu Arbeitsdefinitionen verdichtet:

(2010) den Begriff: 'Kompetenz als willentlich handelnder Umgang mit Wissen'. Oder „'Kompetent' heißt sachkundig, versiert und klug“ (Gigerenzer, 2013, S. 28). Der Direktor am MPI für Bildungsforschung in Berlin ergänzt mit einer „Risikokompetenz“²⁴⁸, der die „Risikointelligenz“ zugrunde liegt. Beide sind nach seiner Meinung unentbehrlich für die Bewältigung der Problemlagen des 21. Jahrhunderts; „risikokompetent ist mehr, als gut informiert zu sein. Man braucht *Mut*, um einer ungewissen Zukunft zu begegnen, um sich gegen Experten zu behaupten und um kritische Fragen zu stellen“ (S. 28).

Für die Naturwissenschaften fügt sich hier lückenlos die Forderung der OECD an: „Naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific literacy) ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommenen Veränderungen betreffen“ (Sieve et al., 2012, S. 2; zit. aus Wilhelm et al., 2010, S. 39). Dem wiederum folgt sehr konsequent die Notwendigkeit des Kompetenzbereichs „Bewertung“: „Lernende sollen nicht nur Kenntnisse haben und anwenden, sondern sie sollen unter Rückgriff auf dieses Wissen selbst Entscheidungen treffen (und verstehen) – sie sollen also befähigt werden, auf der Grundlage naturwissenschaftlicher Kenntnisse zu urteilen und zu bewerten“ (S. 2; zitiert aus Menthe, 2006, S. 15). Von R. W. White (1959) stammt die kürzere Definition: „Kompetenzstreben entspricht der intrinsischen Motivation, mit der Umwelt effektiv umzugehen. Es geht einher mit Selbstwirksamkeitsüberzeugungen“²⁴⁹. In jedem Fall besteht Kompetenz aus einem Zusammenwirken von Können und Wollen bzw. Verpflichtetsein: Können ist Verpflichtung!

Im Zuge der neuen Lehrplan*Plus*-Genese (Start für GY: Schuljahr 2017/18) gibt es nun auch eine „bayerische Kompetenzdefinition“: „Kompetent ist eine Person, wenn sie bereit ist, neue Aufgaben und Problemstellungen zu lösen, und das auch kann. Hierbei muss sie Wissen bzw. Fähigkeiten erfolgreich abrufen, vor dem Hintergrund von Werthaltungen reflektieren sowie verantwortlich einsetzen“.

Demnach müssen Kompetenzen erworben²⁵⁰ werden, und zwar aus den Vorstufen Fähigkeiten und Fertigkeiten.

Ihre fachliche Ausprägung führt zur Qualifikation. Überfachliche oder transdisziplinäre Problemlagen führen Qualifikationen zusammen. In der komplexen Problemlösung

„a) Kompetenzen sind funktional definiert, d.h. Indikator einer Kompetenz ist die Bewältigung bestimmter Anforderungen

b) Der Begriff 'Kompetenz' wird für kognitive Fähigkeiten, Fertigkeiten usw. reserviert. Motivationale Orientierungen werden getrennt davon erfasst.

c) Kompetenzen sind prinzipiell bereichsspezifisch, d.h. auf einen begrenzten Sektor von Kontexten und Situationen bezogen,

d) Kompetenzen sind gleichwohl als - begrenzt - verallgemeinerbar gedacht, d.h. als Dispositionen. Die Zuschreibung einer Kompetenz geht über die Feststellung einzelner konkreter Leistungen ('Performanz') hinaus“ (S. 182).

²⁴⁸ Es macht in diesem Kontext Sinn, eine wichtige Unterscheidung zu treffen! In einem Aufsatz verweist Bonß (2022) „auf ein erstes Charakteristikum des Risikokonzepts, nämlich auf die Handlungs- und Entscheidungsbezogenheit von Risiken. Ungewissheiten vom Typus 'Gefahr' existieren unabhängig von den Handelnden, Ungewissheiten vom Typus 'Risiko' hingegen entstehen erst und nur im Lichte von Handlungsabsichten und deren Umsetzung. Oder anders ausgedrückt: Gefahren sind subjekt- und situationsabhängig; Risiken setzen demgegenüber stets die subjektbezogene Entscheidung für eine Unsicherheit voraus“ (S. 5-6)

²⁴⁹ Ausführliche Kommentierungen und Schemata zum Begriff „Kompetenz“ finden sich bei Leisen (2017) unter <http://www.lehr-lern-modell.de/kompetenzorientierung>. Eine „Ausdifferenzierung“ der Kompetenzbereiche findet sich bei Sommer et al., 2018, S. 104-107.

²⁵⁰ In einem Flyer des BLLV wird Christian Fahse zitiert: „Kompetenzen werden nicht unterrichtet, sie werden von den Schülern erworben“ (2018)

äußert sich die Kompetenz (Vgl. auch: Geißler & Orthey, 2002). Qualifikationen sind eher inhaltspezifisch, während Kompetenzen eher subjektspezifisch angelegt sind. Bei Sander (2020) heißt es sinngemäß 'Ohne Qualifikation gibt es keine technisch richtige Problembearbeitung, ohne Kompetenz (als Fähigkeit, Wissen und Können zusammenzudenken) gibt es keine Beurteilung möglicher sinnvoller Problemlösungen' (S. 19).

Zuletzt soll hier noch eine eher pragmatische Beschreibung kompetenter SchülerInnen gegeben werden. Noch vor den NBS war man am Ziel seines Unterrichts, wenn Schüler die Inhalte in reproduktiver (40%) und reorganisatorischer (40%) Form formulieren konnten. Transfer- (15%) und Problemlöseaufgaben (5%) waren besonders anspruchsvollen Prüfungssituationen wie Schlussprüfung und Abitur vorbehalten; 20% durften es dann sein, bezogen auf die Gesamtprüfung.

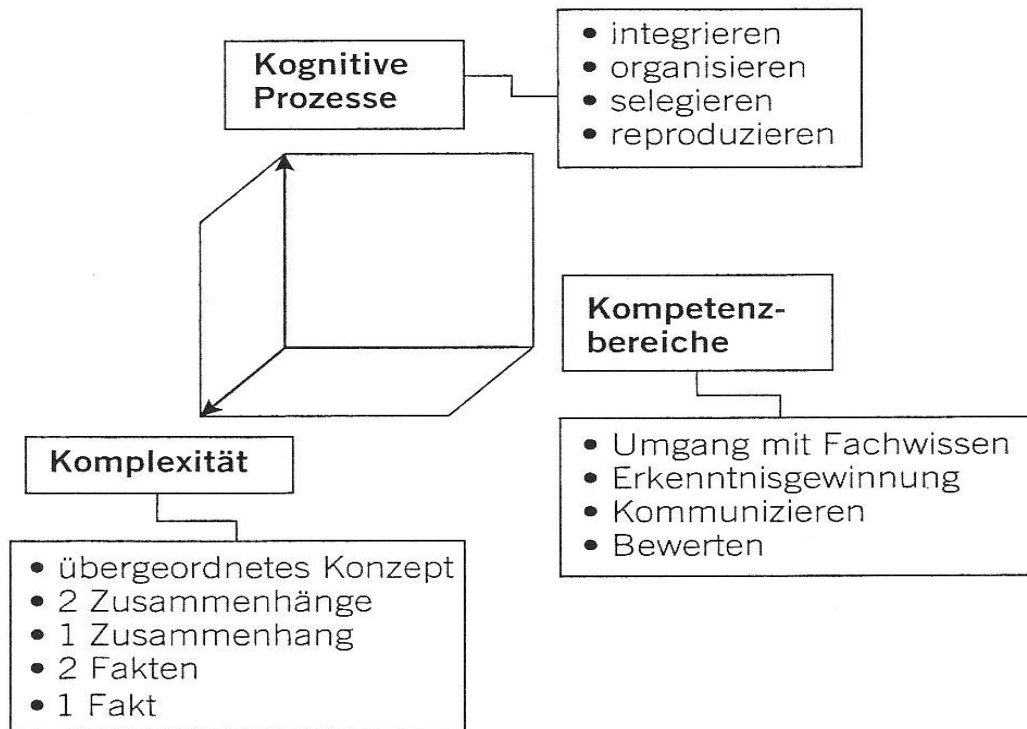
Mittlerweile gilt, dass das Bildungsziel (NBS) erst dann erreicht ist, wenn das erworbene Wissen, insbesondere die erkannten Prinzipien aus dem Fach entweder innerfachlich zur Lösung bisher nicht gestellter (Transfer-)Aufgaben eingesetzt werden kann oder wenn es sich außerfachlich in komplexen Aufgabenstellungen, „transdisziplinär“ bewährt²⁵¹ (Prenzel, 2001). Bei den 'notorischen PISA-Gewinnern', Beispiel Singapore „wird in den Schulen bis zum Jahr 2023 ein Programm des 'Anwendungslernens' ('applied learning') in Gang gesetzt“ (Beck, 2020, S. 83). Beck zitiert dazu den früheren Bildungsminister des Stadtstaates Heng Swee Keat: „Es geht nicht darum, dass man lernt, schlau zu sein, sondern dass man ein besserer Mensch wird“.

Kompetenzorientierung im Zusammenhang mit der Konstruktion von Lern- und Prüfungsaufgaben stellt eine wichtige Neuerung innerhalb der Entwicklung einer neuen Lern-, Aufgaben- und Prüfungskultur dar. Reitinger (2013) bringt mit der Lernkultur die Kompetenzorientierung, den fächerübergreifenden Unterricht und innovative Lernumgebungen in Beziehung: „Der Begriff [Neue Lernkultur]... lässt sich ... in weitgehend allen Anwendungsansätzen zumindest mit selbstständigkeitsorientierten, offenen und handlungsorientierten Unterrichtsformen assoziieren“ (S. 63).

²⁵¹ So heißt es im Abstract zu einem WS-Vortrag des Autors am 15.2.2018 an der PH Wien: „Um sich die Unvorstellbarkeit des Lebens auf der Erde zumindest ein wenig zugänglich zu machen, bedient sich der Mensch letztlich vierer Welterklärungswege: Religion, Kunst, Geistes- und Naturwissenschaft. Je nach Kulturkreis und Entwicklungsstand einer Gesellschaft verschieben sich die Gleichgewichtslagen zwischen diesen Deutungsinstrumentarien. Der Zugang über Biologie, Chemie und Physik soll hier im Vordergrund stehen. Dabei geht es um das, was der Einzelne wissen und können soll, also lernen muss, um in der aktuellen Gesellschaft individuell glücklich zu werden und seinen Beitrag für ihre Weiterentwicklung zu leisten. Dies muss auf zwei Ebenen erreicht werden: Beruf und Bildung. Beides, der Gewinn an äußerem und „innerem Wohlstand“, bedarf als seiner Grundlage einer organisierten Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten, also einer bestens ausgestatteten Schule und in Theorie *und* Praxis, universitär und schulpraktisch bestens ausgebildeter Lehrkräfte. Die Qualität der zu generierenden Könnerschaften hat sich zudem gewandelt. Das erfolgreiche Reproduzieren faktenreichen Fachwissens ist allein nicht mehr zielführend. Das heutige Ziel ist erst erreicht, wenn sich das schulische Wissen auch außerhalb des Unterrichts gewinnbringend, weil kreativ problemlösend erfolgreich anwenden lässt. Diese komplexe Könnerschaft oder besser Kompetenz steht im Zentrum einer richtig verstandenen modernen Output-Orientierung“. Sie wirkt sich auf das Lernen sinnstiftend aus.

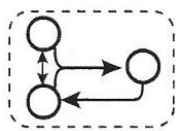
B 1.3.2 Kompetenzmodelle

Die für die Evaluation der NBS erforderlichen Kompetenzmodelle²⁵² sind weiterhin in der Diskussion und in der Entwicklung begriffen, allerdings noch nicht standardisiert (Schecker & Parchmann, 2006). Dennoch lassen sich beispielhaft zwei herausstellen. Es handelt sich hierbei um das von Bernholt (2010) an die Chemie adaptierte „Model of Hierarchical Complexity (MHC-C)“ und das dreidimensionale Kompetenzmodell „ESNaS“ (Evaluation der Standards in den naturwissenschaftlichen Fächern der Sekundarstufe I; Kauertz et al., 2010) (Abb. B3).



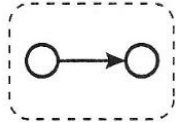
1: Das drei-dimensionale Kompetenzmodell „ESNaS“

²⁵² 'Gefüge der Anforderungen, deren Bewältigung von SuS erwartet wird und Systematisierung der Abstufungen, über die diese erreicht werden können' (nach Maik Walpuski, Vortrag in der Jahrestagung der ABayCD am 26.3.2015, Uni Regensburg)



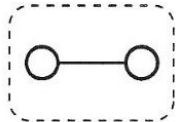
(5) Wechselseitige Kausalität

Komplexe Wirkzusammenhänge mit mehreren Variablen



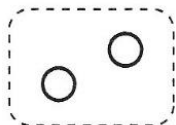
(4) Lineare Kausalität

Lineare Ursache-Wirkungs-Ketten mit Begründung



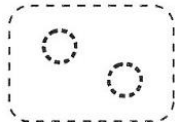
(3) Prozessbeschreibungen

Vorgänge mit zeitlichem Verlauf, Prozess, Mechanismus



(2) Fakten

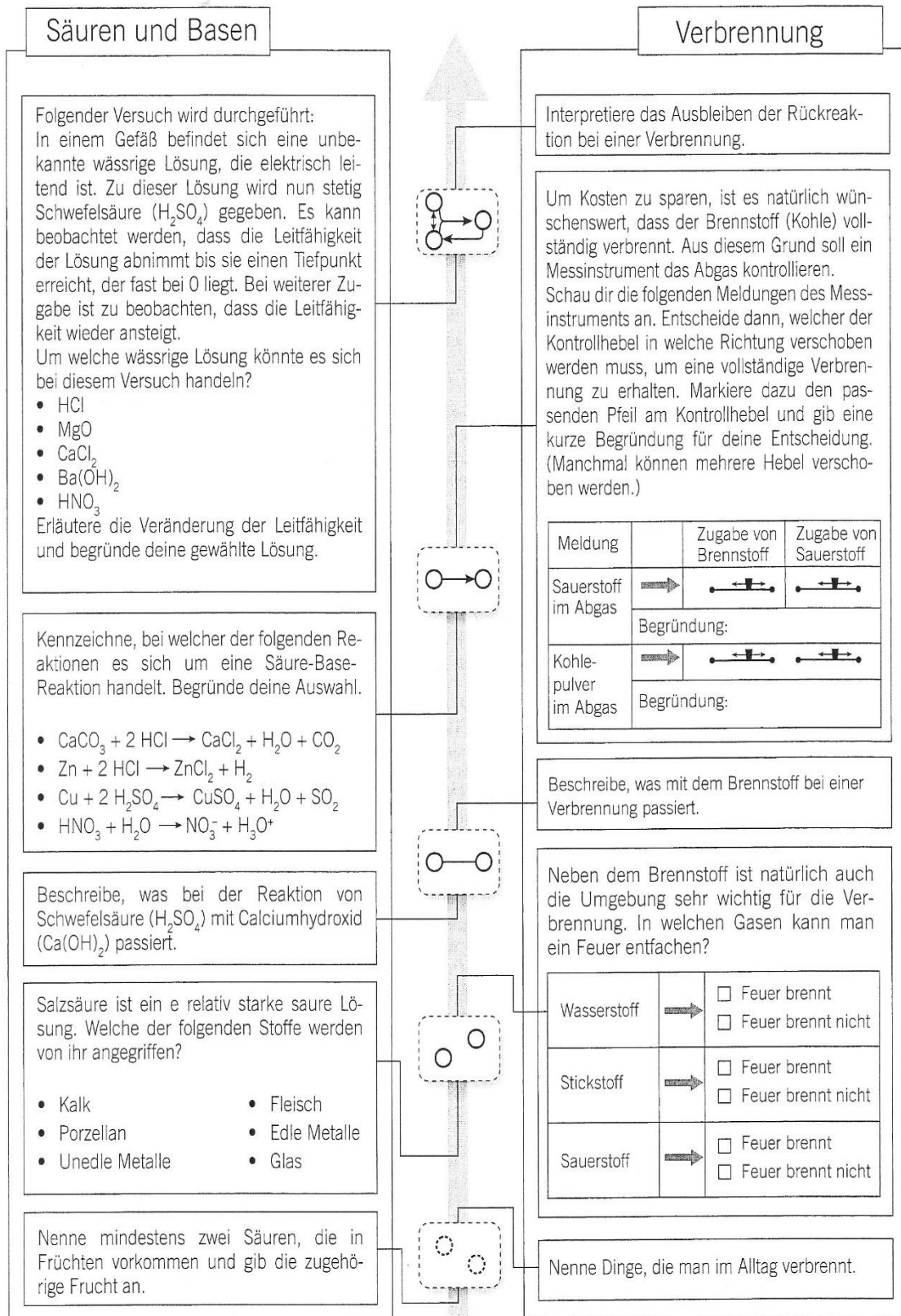
Isolierte Begriffe, Gesetzmäßigkeiten, Definitionen



(1) Unreflektiertes Erfahrungswissen

Nicht-unterrichtliche Wissensbestände, Beispiele, Beobachtungen

2: Adaptierte Modellstufen mit Beschreibung



3: Beispielaufgaben zu jeder Komplexitätsstufe aus den Themenbereichen „Säuren & Basen“ bzw. „Verbrennungen“

Abb. B3: Schematische Darstellung zweier Kompetenzmodelle mit einem Beispiel für das MHC-Modell) zur Unterscheidung von Kompetenzqualitäten (Bernholt et al., 2009).

Beide Modelle besitzen eine ausgeprägte Praxisrelevanz und stellen damit eine Hilfe dar für die Leistungsdifferenzierung von SchülerInnen (Bernholt et al., 2009). Ein weiteres Kompetenzmodell findet sich bei Reitinger (2013), welches sich vornehmlich auf das „Forschende Lernen“ (S.65) bezieht. Grundsätzlich besteht berechnete Kritik an einer Überbetonung der „Kompetenzen“ bzw. am Ersatz des Eigenwerts von Inhalten durch ihren Anwendungs- und Nutzenbezug. „Wer sich nur dem widmet, was er unmittelbar benötigt, wer sich immer nur an Brauchbarkeit und an Verwendbarkeit orientiert, wird letztlich beschränkt bleiben“ (Liessmann, 2014, S. 41).

Vielleicht ist es dem richtigen Verständnis von „Kompetenz“ zuträglich, wenn man den ausreichenden bis guten innerfachlichen Kenntnisstand mit „Qualifikation“ beschreibt und erst dann von Kompetenz spricht, wenn es sich um die Fähigkeit handelt, auf fächerverbindende bzw. transdisziplinäre Weise Problemlagen zu bearbeiten. Solches kann einmal geschehen, indem die Qualifikationen zu einem Berufsbild verdichtet werden, aber auch, indem sie ein vertieftes, philosophierendes Nachdenken wie auch ein kreatives Neudenken ermöglichen. In beiden Fällen erweist sich eine Qualifikation als nützlich und schafft die Grundlage für die ‚kompetente Expertise‘. Expertise kann ‚intradisziplinär‘ ausgebildet werden, indem das erworbene Wissen vornehmlich zur Vertiefung („vertikaler Wissenstransfer“ Weinert, 1998b) innerhalb des Fachbereichs dient. Als ‚extradisziplinäre Kompetenz‘ ist dann der Wissenseinsatz zu bezeichnen, wenn er jenseits des Fachgebiets, also im Alltag und bei transdisziplinären Problemlagen geschieht („lateralen Wissenstransfer“). Typisch für den Erwerb von Expertenwissen ist der Wechsel von schnellen Lernfortschritten und vorübergehenden Leistungsstagnationen, in denen die vorhergehenden Wissensstrukturen aufgebrochen und durch neue ersetzt werden müssen. Die intellektuellen Unterschiede beeinflussen die Qualität der Informationsverarbeitung, werden aber in ihren Auswirkungen zunehmend stärker durch inhaltspezifische Kompetenzen überlagert (Weinert, 1987).

Die Feststellung des Outputs, also der Lern- und Verstehensleistungen bei den absolvierenden SchülerInnen erfordert standardisierte Aufgabenstellungen, welche zu wiederum möglichst vergleichbaren Messergebnissen führen. Der Einsatz solcher Aufgaben lässt sich sodann als Diagnoseinstrument bei der Lernstandserhebung und damit zur „Therapeutik“ des Förderbedarfs heranziehen.

Auch wenn die Kompetenzbereiche der NBS (auch „BiSta“) untereinander gleichwertig zu betrachten sind, stellt der Kompetenzbereich (KB) „Bewertung“ besonders hohe Ansprüche an die entsprechende Aufgabenkonstruktion, da es hierfür in der Regel keine eindeutige „Musterlösung“ gibt, anders als das beispielsweise im KB „Fachwissen“ der Fall ist. Als Hilfestellung formulieren Heitmann & Schwanewedel (2014) eine evaluierte Schrittfolge:

1. ‚Ein geeignetes Thema auswählen
2. Die Anzahl der möglichen Handlungsoptionen abstecken
3. Die Anzahl und Art der Fachinformationen (Kriterien) festlegen
4. Einführungstext formulieren
5. Teilbereich festlegen und Item konstruieren
 - 5.1 Bewertungskriterien sachbezogen erschließen
 - 5.2 Bewertungskriterien perspektivisch erschließen
 - 5.3 Optionen identifizieren
 - 5.4 Optionen abwägen und die begründete Position beziehen
 - 5.5 Reflexion von Kriterien
 - 5.6 Reflexion eines Entscheidungsprozesses
 - 5.7 Reflexion einer Entscheidung‘

Handelt es sich hier um die Konstruktion einer sogenannten Prüfungs- oder Leistungsmessungs- bzw. Prüfungsaufgabe, so widmen sich Luthiger et al. (2014) der Entwicklung von Lernaufgaben, die in die Bearbeitung von Prüfungsaufgaben münden (können). In ihrer Abfolge werden sie als „kompetenzorientierte Aufgaben“ mit „zehn lernrelevanten Merkmalen“ (S. 58) nach dem KAFKA-Modell bezeichnet:

- `Kontakt herstellen (→ Konfrontationsaufgabe)
- Aufbau von Kompetenzaspekten unterstützen (→ Erarbeitungsaufgabe)
- Flexibilisieren (Kompetenzaspekte vernetzen) (→ Vertiefungsaufgabe)
- Konsolidieren (Üben, Wiederholen) (→ Übungsaufgabe)
- Anwenden in beschreibbaren Situationen (→ Transfer-, Synthesaufgabe: formativ oder summativ) (S. 57)

Die „zehn lernrelevanten Merkmale“, von denen jedoch nicht alle gleichzeitig auf jede Aufgabe angewendet werden müssen, sind:

- „Kompetenzabbild
- Lebensnähe
- Arbeit an (Prä-)Konzepten
- Wissensart
- Strukturierung
- Repräsentation
- Offenheit
- Lernunterstützung (Scaffolds)
- Vielfalt der Lern- [bzw. Lösungs-] wege“ (S. 58, tabellarische Zusammenfassung: S. 62)

Allen Aufgaben ist gemein, dass sie an Lernprozesse gebunden sind, welche der Aufgabenbewältigung vorausgehen haben oder mit ihr synchron verlaufen. Keinesfalls sollten mit dieser Aufgabenart neue Themenerarbeitungen begonnen werden.

B 1.3.3 Alternative Kompetenzorientierungen in der Diskussion

Im Zusammenhang mit der kritischen Auseinandersetzung mit dem Kompetenzbegriff soll kurz auf zwei Zielsetzungen von Kompetenzentwicklungen eingegangen werden. Der historische Kompetenzbegriff (hK) geht zurück auf die Sprachwissenschaften (N. Chomsky, *1928) und beschreibt dort die „Summe aller sprachlichen Fähigkeiten, die ein Muttersprachler besitzt“²⁵³.

Im Laufe von Jahren hat sich hieraus die Begrifflichkeit verändert über die fachspezifische Qualifikation (Q) zur inhaltsneutralen Schlüsselqualifikation (SQ) und letztlich hin zum heutigen Kompetenzbegriff (K), dessen Definition(en!) schon angeführt wurden. Aber es geht noch weiter. So sprechen wir von Kompetenzentwicklung, (KEnt), Kompetenzerfahrung (KE) und Kompetenzforschung (KF). International tritt der Begriff „Schlüsselkompetenz“ (SK) auf den Plan mit Zentralen Kompetenzen (ZK) sowie Kernkompetenzen (KK).

Im Schema (Abb. B4) soll gezeigt werden, wie sehr der Kompetenzbegriff auf **Ausbildungsziele** hin beschlagnahmt wird. Klafki spricht hier von einer „berufsgruppentypischen Grundbildung“ (zit. aus Drechsler, 1967, S.66).

Dem gegenüber steht die Bildungsrelevanz der Kompetenzen²⁵⁴, die eben nicht berufs- und wirtschaftsorientiert, sondern bewusst individuell auf „Persönlichkeitsbildung“ ausgerichtet ist: „Bildung ist nicht das rasche Anhäufen von Wissen, um so schnell wie möglich dem Arbeitsmarkt zur Verfügung zu stehen – wichtig ist vielmehr die Formung der Persönlichkeit“ (Lesch & Forstner, 2020)²⁵⁵. So haben die Nationalen Bildungsstandards (NBS) mit ihren Kompetenzbereichen (KB) und Basiskonzepten (BK) einen allgemein gesellschaftlichen Bedeutungshorizont. Damit stehen sie der „Ökonomisierung des klassischen Bildungsbegriffs“ entgegen²⁵⁶. Gerade als Lehrkraft ist es unbedingt nötig, dass man sich in der Schule (Sch) gegen die ausschließliche Instrumentalisierung des an das Individuum gebundenen Bildungs- sowie Kompetenzbegriffs ausspricht und dazu beiträgt, dass gerade im Zusammenhang mit der Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (nawiGB) primär Grundsätzlichkeiten wie Verstehen von Prinzipien (inhaltlich (FI) und methodisch (FM)) in den Vordergrund des Lehrbemühens gestellt sind. „Bildung geht nicht ohne Kompetenzen, aber Kompetenz ist noch lange nicht Bildung“ (El-Mafaalani, 2020, S. 39). Bildungspolitik kommt vor Wirtschaftspolitik; denn Berufswahlreife (BWR) ist erst die Folge von Grundbildung und nicht deren Voraussetzung!²⁵⁷

Nebenbei ist es interessant, diese Beziehung auch auf der philosophischen Ebene wiederzufinden. So heißt es bei Nietzsche (1967), der die Zusammenhänge äußerst kritisch sieht „die Menschen sollen zu den Zwecken der Zeit abgerichtet werden, um so zeitig als möglich mit Hand anzulegen; sie sollen in der Fabrik der allgemeinen Utilitäten arbeiten, bevor sie reif sind, ja damit sie gar nicht mehr reif werden – weil dies ein Luxus wäre, der `dem Arbeitsmarkte` eine Menge von Kraft entziehen würde“ (S. 54).

²⁵³ <https://www.duden.de/rechtschreibung/Kompetenz> (14.9.2018)

²⁵⁴ ... und weil man ja nicht alles kompetent beherrschen kann, gibt es auch die „Inkompetenzkompensationskompetenz (IKK)

²⁵⁵ Gigerenzer (2013) spricht von äußeren (Fremdkontrolle) und inneren Zielen (Selbstkontrolle) und davon, dass sich seit den 1960ern eine subjektiv empfundene Verlagerung auf die Seite einer eher von Angst und Ungewissheit getragenen Fremdbestimmung vollzieht (S. 112)

²⁵⁶ „Derzeit dominiert in der Bildungspolitik als auch in der Bildungsforschung ein Begriffsverständnis, das auf ökonomische Verwertbarkeit, Messbarkeit und gesellschaftlichen Nutzen ausgerichtet ist“ (El-Mafaalani, 2020, S. 26).

²⁵⁷ Für eine umfassende Diskussion des Bildungsprozesses(!) und der Bildungstheorie sei verweisen auf Koller (2018). Bildung anders denken – Einführung in die Theorie transformatorischer Bildungsprozesse



Legende:

158

B 1.3.4 Basiskonzepte

Innerhalb des Kompetenzbereichs „Fachwissen“ sind vier sogenannte Basiskonzepte²⁵⁸ aufgeführt.

- Fachwissen

Chemische Phänomene, Begriffe, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen

- Erkenntnisgewinnung

Experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen

- Kommunikation

Information sach- und fachbezogen [*fachsprachlich*] erschließen und austauschen

- Bewertung

Chemische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten.

Dabei dienen das Fachwissen der *Inhaltsorientierung* und die drei anderen KB zur *Handlungsorientierung*. In Österreich spricht man beim Fachwissen von *Inhaltsdimension* mit den Lehrplaninhalten:

Aufbauprinzipien der Materie

Einteilung und Eigenschaften der Stoffe

Grundmuster chemischer Reaktionen

Rohstoffquellen und ihre verantwortungsbewusste Nutzung

Biochemie und Gesundheitserziehung

und differenziert die *Handlungsdimension* nach

Beobachten, Erfassen, Beschreiben

Untersuchen, Bearbeiten, Interpretieren

Bewerten, Entscheiden, Handeln

Die Basiskonzepte des Fachwissens sind `vertikal vernetzte, hierarchisch konstruierte Fachkonzepte, deren Inhalte mit Beispielen aus den verschiedenen Erschließungsbereichen der SchülerInnen, wie beispielsweise Technik, Alltag, Lebenswelt, Natur und Umwelt, erarbeitet werden´ In verschiedenen Bundesländern und Institutionen haben sich daraus spezifiziertere Formulierungen der Basiskonzepte ergeben (Anton, 2008, S. 17):

- Stoff-Teilchen-Konzept
- Fachsprachen-Konzept
- Struktur-Eigenschaften-Konzept
- Donator-Akzeptor-Konzept
- Energie-Konzept
- Größen-Konzept
- Gleichgewichts-Konzept
- Technik-Konzept.

In einem SINUS-Papier²⁵⁹ wird das „Teilchenkonzept“ als „das grundlegendste und wichtigste Denkkonzept der Chemie“ bezeichnet. Es wird auch darauf hingewiesen, dass „der strengen Unterscheidung der beiden Denkkategorien Stoffebene/Teilchenebene

²⁵⁸ Zu „Grundbegriffe und Basiskonzepte“ gibt es ein Themenheft: NiU-Ch 23 (2012) 128, herausgegeben von M. Rehm und L. Stäudel

²⁵⁹ Aus einem nicht veröffentlichten internen Arbeitsbericht der BLK-SINUS Fachgruppe Chemie im bayerischen Schulset 4 (Pilotstudie) mit dem inhaltlichen Schwerpunkt aus dem Modul 5 „Zuwachs von Kompetenz erfahrbar machen – Kumulatives Lernen“ von W. Habelitz-Tkotz vom 10.4.2002

Die Bund-Länder-Kommission (BLK) für Bildungsplanung und Forschungsförderung ist Autorin von: Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (SINUS) vom Dezember 1997 (www.blk-bonn.de/materialien.htm)

bzw. Kontinuum/Diskontinuum ... im gesamten Chemieunterricht - nicht nur im Anfangsunterricht - ein zentraler Platz eingeräumt werden“ muss. Hierzu werden drei Fragenschwerpunkte formuliert:

1. Wie sind die Stoffe aufgebaut?
2. Wie lassen sich *Reaktionen* (Stoffumbildungen) deuten?
3. Welche Rolle spielt dabei die Energie?

und daraus wiederum vier Problemfelder abgeleitet:

1. Beschreiben und Klassifizieren von Stoffen aus Kontinuumssicht
2. Beschreiben und Klassifizieren von Reaktionen aus Kontinuumssicht
3. Erste Deutung von Stoffen und Reaktionen aus der Sicht des Diskontinuums
4. Differenzierte Deutung von Stoffen und Reaktionen aus Diskontinuumssicht.

Wie dieser berechtigten Forderung explizit(!) nachgekommen werden kann, soll im Kapitel D beantwortet werden.

B 2 Erscheinungsformen der Chemie

Ziele und Inhalte des Chemieunterrichts unterliegen stets einem zeitlichen Wandel. Dennoch lässt sich „die Chemie“ in ihrer Entstehung und Vielfalt und in ihrer Entwicklung in grobe Abschnitte unterteilen. Sie repräsentieren wiederum die Bereiche, für die Chemieunterricht nach wie vor von großer Bedeutung ist. Der historische Werdegang dessen, was Chemie und Chemieunterricht ausmacht, soll in großen Schritten nachvollzogen werden (Vgl. auch: Schöler, 1970).

B 2.1 Chemie als Wissenschaft

Chemie als Wissenschaft impliziert nicht ausschließlich Erkenntnisgewinnung und Machbarkeitsoptionen mit Blick auf einen Fortschritt in Wirtschaft und Kultur; sie beinhaltet ebenso Aussagegrenzen und Kritik an ihren Zielen und Methoden. Im Bereich der „Natur der Naturwissenschaften“ (Nature of Science²⁶⁰; NOS) finden solche limitierenden Faktoren Beachtung wie etwa die Scientific epistemological views (SEVs) (Bruns, 2009):

- Naturwissenschaftliches (Nawi) Wissen weist eine empirische Natur auf
- Es gibt keine alleinige naturwissenschaftliche Methode
- Nawi versuchen, natürliche Phänomene zu erklären
- Nawi Theorien sind nicht gleichzeitig Gesetze
- Nawi sind sozial, kulturprägend und von Kultur geprägt
- Nawi Wissen wird veröffentlicht und geteilt
- Nawi Wissen ist theoriebeladen
- Nawi Wissen beruht auf Kreativität & Modellanwendung
- Nawi Wissen ist ausdauernd, aber vorläufig
- Nawi ist nicht gleichzeitig Technik.

Dennoch sind es Kreativität, Mut sowie Wissen und Fleiß, welche die Wissenschaft zu einem stets attraktiven und dynamischen Motor der Menschheitsgeschichte machen. So erschließt sich das, was ChemikerInnen unter einer Säure verstehen, nicht aus der Geschmackswahrnehmung. Es bedarf neuer Ideen und experimenteller Ansätze, um objektive Aussagen treffen zu können. „Die Wissenschaft ordnet die Welt nach Ideen, die sich nicht ohne weiteres aus der Erfahrung ergeben. Dadurch entstehen Zusammenhänge und Unterscheidungen, die dem common sense verborgen bleiben“ (Muckenfuß, 2003, S.8).

Mit „Qualia“ beschreibt die Neurophilosophie das Glücksgefühl beim Erkennenden, den „subjektiven Erlebnisgehalt geistigen Erlebens“ (Wildermuth, 2010)²⁶¹. „Erkenntnis ist kein bloßes Abbilden; es ist ein Erobern, ein Gestalten, ein Schaffen – in sich selbst und ganz abseits von seinen vielleicht unabsehbaren Auswirkungen auf das praktische Leben. Es kann wie ein Rausch sein und ist die Befriedigung eines menschlichen Urtriebs“ (Störig, 1953, S. 15). Dieses Begehren hat zwei Aspekte. Es zielt auf das Wissen des Menschen über die ihn umgebende Natur (→ Naturwissenschaft) und deren Auswirkungen in der Technik und über die von ihm zusätzlich selbst geschaffene Welt (→ Geisteswissenschaft). Mit der technischen Entwicklung von Werkzeugen über Maschinen (als Kombination von Werkzeugen) bis zu Maschinensystemen nimmt die Bedeutung der Theorie zu diesen praktikablen Lebenshilfen zu, auch weil mit ihr durch Antizipation und Deduktion die Erfindung neuer Maschinen erleichtert wird. Folgen dieser Entwicklung sind existenzielle Sicherheiten (Nahrungsbevorratung u.a.). Die sich damit öffnenden gesellschaftlichen Freiräume begünstigen schöpferische geistige Leistungen und begründen damit auf einer zivilisatorischen Grundlage (Hygiene, Ernährungssicherung, materieller Wohlstand) kulturelle Entwicklungen. Über die handgreifliche Beschäftigung mit Stoffen aus der Umgebung entstanden im zweiten vorchristlichen Jahrtausend erste Voraussetzungen für die Metallgewinnung und die Herstellung metallischer Gerätschaften. Das bewusste Sammeln von Erfahrungen geht

²⁶⁰ Der Begriff „scientist“ geht zurück auf den britischen Universalgelehrten William Whewell. Er verwendete ihn in der Rezension von Somerville, M. (1834). On the Connexion of the Physical Sciences (Wulf, 2018, S. 296)

²⁶¹ Die amerikanische Entwicklungspsychologin Alison Gopnik spricht von „Erklärung als Orgasmus“

über in das aktive Gestalten von Eingriffen in einen Naturablauf. Ziel ist das Auffinden von Kausalitäten. Sehr zurückhaltend begann man ca. 500 v. Chr. zu „experimentieren“, was letztlich mit Beginn des dritten Jahrhunderts auch die Entwicklung alchimistischer Bemühungen um eine Veredelung der Stoffe und um das Auffinden einer materiellen Grundlage von Weisheit (Stein der Weisen) in Gang setzte. Obwohl eher obskur, realisierte die Alchimie am ehesten die Grundsätze einer modernen Naturwissenschaft. Man experimentierte verhältnismäßig gezielt, stellte Fragen, beobachtete und protokollierte und traf Schlussfolgerungen. Die entstehenden Aufzeichnungen sowie ihre Verbreitung sowie die parallel verlaufende Verbesserung der Technik führten gemeinsam zu kulturell relevanten Erfindungen und Entdeckungen (Glas, Porzellan, Schwarzpulver etc.), vor allem ab dem 13. Jahrhundert. Bergbau und Metallurgie (Agricola, 1495-1555), Pharmazie und Medizin (Paracelsus, 1493-1541) haben im 16. und 17. Jahrhundert erstmals dazu beigetragen, dass man hier die Wurzeln einer wissenschaftlichen Chemie vermuten darf ... und der Besonderheiten ihrer Vertreter! (Abb. B5).

Gerade diesen brachte man aber keine besondere Achtung entgegen, ganz im Gegenteil. Das Verändern von Stoffen, von ihren Wesenseigenschaften beruhte nach Auffassung schon früherer Zeitgenossen auf Schöpfungswissen. Tertullian (Kirchenvater, ca. 155-225 n. Chr.) behauptete „Gott mag nichts, was er nicht selbst geschaffen hat“. Damit ist die „Veränderung der Natur, alles Unnatürliche, ... gegen den Willen Gottes und satanisch“ (Schummer, 2017, S. 11). Der „verrückte Wissenschaftler“ ist charakterisiert durch „Naivität, Hochmut und mangelnde Moral“ (S. 15).

**„Die Chymisten bilden ein Volk für sich,
das sehr wenig zahlreich ist,
seine eigene Sprache, seine Gesetze,
seine Geheimnisse hat,
und das beinahe isoliert inmitten
eines großen Volkes lebt.“**



Abb. B5: Auch unter ausgewiesenen Naturwissenschaftlern mussten die Chemiker immer noch die Bürde der alchimistischen Quacksalberei aushalten (D. Diderot (1713-1785) & d'Alembert: Enzyklopädie 1745 (zitiert nach: E. F. Schwenk 1998, S. 80).

Etwa 15-25% der Geschichte der heutigen Chemie haben sich bis dahin abgespielt. Der Sprung in eine solide chemische Wissenschaft begann mit dem Buch „The Sceptical Chymist“ von Robert Boyle (1627-1691). Im Rollenspiel wird gefolgert, dass ein Stoff, der nicht vollkommen homogen ist, nicht Element genannt werden darf. Die Devise lautete „Sucht die Elemente und sucht sie mit dem Experiment!“

Nur langsam formierte sich die Chemie unter diesem Postulat. Im Verhältnis zur Physik konnte sie sich sehr spät durch eine Theorie ausweisen, welche sich auf die vordergründige Erklärbarkeit der Verbrennung beschränkte und aufgrund der Autorität eines Dr. Georg Ernst Stahls (1659, Ansbach-1734, Berlin), der sich 1718 ausdrücklich

von der „Goldmacherei“ abkehrte (Broich, 1975), trotz ihrer Fehlerhaftigkeit fast 100 Jahre Bestand hatte. Diese „Phlogiston-Theorie“ (grch. *phlox* für „Flamme“ und „Glut“), vorbereitet durch Überlegungen eines autodidaktischen Chemikers, namens Johann Joachim Becher (1635, Speyer-1682, London) war ableitbar von offensichtlichen Beobachtungen, was im Unterricht überzeugend nachvollzogen werden kann (Anton, 2005, 2007)²⁶²

Über diese Theorie entwickelte sich die Chemie im 18. Jahrhundert zu einer deutschen Wissenschaft. Die Verlagerung des Forschungsschwerpunkts nach Frankreich wie auch nach England verdanken wir Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794, Paris: Guillotine: „Nous n’avons plus besoin des savants!“). Er führte erstmals die Waage als objektivierendes Messinstrument ein zur Erfassung quantitativer Verhältnisse beim Stoffumsatz. Die Folge war eine Umdeutung desselben Phänomens: Anstelle des „freiwerdenden Phlogistons“ und eines übrigbleibenden „Kalks“ erkannte man die Verbrennung als Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff, sodass der Kalk als Oxid gedeutet werden konnte²⁶³. Weizsäcker (1970) verdeutlicht das Prinzip dieses Umdenkens: „Ein Experiment hat den Zweck, das bisher nicht Wahrgenommene zu erforschen“ (S. 171).

Im Grunde folgte dies einem Prinzip, beginnend mit Aristoteles, wonach man dasselbe immer wieder neu zu erklären versuchte: In heutigen Spiralcurricula (Säure-Base, Redox, Atommodelle) machen wir diese `Konstanz der Veränderung` jeweils nachvollziehbar (Reiners, 1999).

Mit solcher Neuorientierung konnte sich die Chemie u. a. auch von der Alchimie nachhaltig distanzieren. Sie entwickelte sich dennoch nicht sofort zur eigenständigen Naturwissenschaft, sondern war auch an Universitäten, beispielsweise in München zunächst nur integraler Bestandteil von Medizin (1807), Philosophie (1892) und Naturwissenschaft (1937). So war die Chemie (zusammen mit Pharmazie) die letzte eigens und vollständig eingerichtete Fakultät 18 (1971) an der Ludwig-Maximilians-Universität in München (1826), vormals Ingolstadt (1472) und Landshut (1800). Heute ist sie eine unangefochtene Wissenschaft, die als einzige, insbesondere auch aufgrund der Forschungsergebnisse sowie der Geschäftstüchtigkeit von Justus von Liebig (1803-1873) (Schwedt, 2002) auch zur Entwicklung einer ganzen Industrie geführt hat²⁶⁴.

In „Die Schule der Chemie“ (Stöckhardt, 1881) findet sich eine immer noch gültige Definition von `Chemie`: „Solche Vorgänge, bei welchen, oft unter Erwärmung oder Feuererscheinung, das Gewicht, die Form, die Festigkeit, die Farbe, der Geschmack, der

²⁶² Eine umfassende und detaillierte Auseinandersetzung mit der Phlogiston-Theorie, auch im Kontext der dramatischen Entwicklung bzw. Emanzipation der wissenschaftlichen von der alchemistischen Chemie findet sich bei Ströker (1967); vgl. auch: Krafft, 2014, S. 109

²⁶³ Am 1. August 1774 beschrieb Priestley (1733-1804) die Entwicklung eines Gases, das die Verbrennung unterstützt, wenn man Quecksilberoxid (HgO) erhitzt. Als Anhänger der Phlogistontheorie nannte er es „dephlogisticated air“. Scheele (1742-1786) hatte das Gas schon ein Jahr vorher dargestellt, dies aber erst 1777 veröffentlicht. In einem Vortrag am 26. April 1776 berichtete Lavoisier von der Entdeckung des Sauerstoffs als Element.

Bereits am 1.11.1772 hinterlegte Lavoisier (1743-1794) beim Sekretär der Akademie der Wissenschaften eine Notiz zu den Ergebnissen seiner Experimente, mit denen er den Sauerstoff als oxidierendes Prinzip nachgewiesen hatte. Etwa 50 Jahre nach dem Tode von Stahl veranstaltete er 1789 in Paris eine öffentliche Gerichtsverhandlung, in der er selbst als „Richter“ den „Ankläger `Sauerstoff`“ auf den „Angeklagten `Phlogiston`“ treffen ließ. Das von ihm gefällte Urteil hieß „Tod durch Verbrennen“. Der „Henker“ (Mme Lavoisier) warf die Abhandlung Stahls in das offene Feuer. Vgl. Djerassi, C.; Hoffmann, R. (2001). Oxygen – Ein Stück in zwei Akten. Weinheim.

²⁶⁴ Insgesamt gesehen liefert die Wissenschaft Chemie einen wichtigen Beitrag zum weltweit 3. Rang, den Deutschland mit 8790 wissenschaftlichen Veröffentlichungen in hochrangigen Journals (1.10.14-30.9.15) hinter den USA (26460) und China (9690) einnimmt (SZ v. 19./20.12.2015, S. 37)

Geruch und die Wirkung der Körper verändert werden, so dass aus ihnen neue Körper mit ganz neuen Eigenschaften entstehen, nennt man chemische Vorgänge oder chemische Prozesse“ (S. 4).

Bezieht man das Prinzip „Lernziele“ auf den praktischen Chemieunterricht und fokussiert auf ein „naturwissenschaftliches Modell“ der Erkenntnisgewinnung, den Forschungszyklus (Anton, 2009b, ‚Inquiry cycle‘: Krajcik, 1991), so ist es hilfreich, es vom „Ingenieurs-Modell“ (Schauble, Klopfer & Raghavan, 1991; Kizil & Kattmann, 2014, S. 311) zu unterscheiden. Im ersten Fall gilt es, nach Ursachen und Zusammenhängen zu suchen, im zweiten soll ein gewünschtes Phänomen erzeugt werden (Hammann, 2012, Zollfrank, 2014, S. 299). Diesen Unterschied zwischen Naturwissenschaft und Technik gilt es stets im Auge zu behalten, wenn etwa in das „naturwissenschaftliche Denken und Arbeiten“ (Jgst. 5 GY, Bay) eingeführt werden soll oder die Behauptung „Das bedeutende Wissen liegt im Praktischen“ (Dobelli, 2012, S. 143) kritisch diskutiert wird. „Denn warum und wie ein technisches Objekt erdacht und gefertigt wird, warum es gerade so beschaffen ist, wozu es dient, liegt nicht im naturwissenschaftlichen Fragehorizont“ (Schmayl, 2013, S. 53).

In einem Übersichtsartikel weist Wagner (2004) eindrücklich nach, dass sich ‚Technik‘ eben nicht auf „angewandte Naturwissenschaften“ reduzieren lässt; schon deshalb nicht, weil technische Errungenschaften viel früher Zivilisation und Kultur der Menschheit prägten, als dies durch methodisch-systematische Exploration der Fall war (Burgmer, 2005).

Der aufscheinende –hier nicht zu vertiefende– „Konflikt zwischen natur- und ingenieurwissenschaftlichen Erkenntnissen einerseits und den kulturellen beziehungsweise religiösen Wertvorstellungen des Menschen andererseits“ (Hopp, 1984) basiert u. a. auf dem nicht beidseitig erfolgten Wandel des Weltbilds. Dabei geht es einmal um den Wechsel vom geozentrischen Weltbild zum heliozentrischen (Nikolaus Kopernikus, 1473-1543); jedoch auch von der hermeneutischen (Aristoteles, 384-322 v. Chr.) zur empirischen Erkenntnisgewinnung (Albertus Magnus, 1193-1280). Wurden ehemals die Experimente zur Bestätigung einer Theorie angenommen oder verworfen, so wurde das Experiment nun zur Grundlage für die Entwicklung einer Theorie (Galileo Galilei, 1564-1642).

Fortan gab es immer wieder Versuche, objektive Forschungsergebnisse mit religiösen Haltungen in Einklang zu bringen (Joseph Priestley, 1733-1804; Jean Senebier, 1742-1809; Pierre Teilhard de Chardin, 1881-1955) und ein Gleichgewicht herzustellen zwischen der Rationalität und der Irrationalität des Menschen. Beide Erkenntnisebenen sind an Wertesysteme gekoppelt, mit deren Hilfe Bedeutungen entstehen und Aktivitäten ausgelöst werden. Rationale und irrationale Erkenntnisfortschritte beeinflussen diese Wertesysteme. Die traditionell dominierende Wertesystematik des Irrationalen muss sich den rationalen, also den naturwissenschaftlich-technischen Errungenschaften, welche als faktische (!) materielle Grundlage die zivilisatorische und kulturelle Entwicklung des Lebens auf der Erde maßgeblich beeinflussen, öffnen und sich kritisch um Neuinterpretationen bemühen.

So plädiert der Doyen der wissenschaftlichen Ökologie, Wolfgang Haber für eine ganzheitliche Sichtweise von Ökologie als ein Zusammenspiel aus den biologischen und mentalen Ansprüchen des Menschen, aus Biologie und Geist oder Natur und Kultur (Haber, 2010, S. 30-31; vgl. hierzu auch Wulf, 2018, S.296 ff).

Es geht nicht darum, Galileo Galilei nach 400 Jahren (durch päpstliches Dekret) ‚zuzulassen‘, sondern aus ihm eine neue realistischere Perspektive auf die Welt zu entwickeln und sich der Tatsache zu stellen, dass das Leben ein offenes System darstellt und dass Demokratie [als „öffentlicher Vernunftgebrauch“ (Nida-Rümelin, 2020, S. 18)]

diejenige Staatsform darstellt, welche diesem Faktum und der Notwendigkeit einer biologischen und kulturellen Evolution am ehesten und ausreichend kritisch Rechnung trägt (vgl. Hopp, 1984). Vielleicht ist das auch der Weg, um die oftmals feststellbare „Lehmschicht“ zwischen Geistes- und Naturwissenschaften zu durchdringen bzw. zu beseitigen. Nach Kirschfeld (2013) erweist sich auch der unterschiedliche Zugang von Philosophie und Hirnforschung gegenüber dem Prozess des Denkens als kulturell beeinflusst (Vgl. hierzu auch Scobel, 2016, S. 199-209, zit. aus Madeja & Müller-Jung, 2016).

Daraus leiten sich grundsätzliche Forderungen an ein modernes Bildungssystem ab. Sie umfassen die Gleichbewertung von naturwissenschaftlichen, geisteswissenschaftlichen und künstlerischen, auch religiösen Weltzugängen und Weltgestaltungen vor dem Hintergrund eines gemeinsamen Wertekonsenses²⁶⁵. Hierzu bemerkt Hoimar von Ditfurth (1989): „Gemeint ist hier die fast immer ignorierte Tatsache, dass das von der Summe naturwissenschaftlicher Einzelerkenntnisse gebildete Wissen einer bestimmten Epoche ohne jegliches Zutun der Zeitgenossen seinen Niederschlag in einem „Weltbild“ findet, das als unbewußte Handlungsanleitung wirksam wird. Dieser Zusammenhang zwischen dem Stand unseres Wissens über die Welt und der Beschaffenheit der Maßstäbe, mit deren Hilfe wir uns in dieser Welt zurechtzufinden versuchen, wird nicht nur meist ignoriert. Er wird auch heute noch nicht selten rundheraus bestritten“ (S. 105). Die Rassenlehre des deutschen Nationalsozialismus lässt sich als Beispiel heranziehen.

Aktuelle Auseinandersetzungen greifen diesen Sachverhalt auf. „Die Produktion wissenschaftlichen Wissens ist stets in eine soziokulturelle und so auch religionskulturelle Umgebung eingebettet. Welche Wahrheitsangebote gesellschaftlich akzeptiert werden, hängt ebenfalls von dieser Umgebung ab. Für Forschung heißt dies umgekehrt, dass empirische Analysen zum Verhältnis zwischen Wissenschaft und Religion²⁶⁶ zentrale Erkenntnisse über die normativen Grundlagen in modernen Gesellschaften versprechen“ (Gülker, 2015, S. 15). Die jahrtausendlange Entwicklung von religiösen Weltinterpretationen, etwa von poly- zu monotheistischen Sichtweisen folgt der Zunahme von logischen Phänomenerklärungen. So brauchte man keinen „Regengott“ mehr, nachdem man die meteorologischen Zusammenhänge erkannt hatte.

Auf der Basis wissenschaftsphilosophischer Denkmodelle lassen sich Konzepte entwickeln, mit denen Studierende in die Prinzipien einer Wechselwirkung von Wissenschaft und Gesellschaft eingewiesen werden können. „The SSI [socio-scientific issues] movement in science education suggests that students should learn more comprehensively about the potentials and limitations of science and technology, and how both interact with society“ (Eilks et al., 2008; Marks & Eilks, 2009; Eilks & Byers, 2010; Stuckey et al., 2014).

²⁶⁵ „Die naturwissenschaftlichen Kenntnisse werden zwar in der Schule gelehrt; sie tragen auch einiges zum Verständnis der Natur, aber wenig zum Verständnis der Kultur bei. ... So bedauerlich es manchem erscheinen mag: Naturwissenschaftliche Kenntnisse müssen zwar nicht versteckt werden, aber zur Bildung gehören sie nicht“ (Schwanitz, 2002, S. 617-618) Diese Aussage zeugt von einer sehr einseitigen Sicht von Bildung und Kulturwerkzeugen! Präziser und differenzierter findet sich eine Formulierung bei Roß (2020): „In der Tat ist die mathematisch-naturwissenschaftliche Blindheit vieler Intellektueller ein ärgerlicher kultureller Defekt“ ... „Trotzdem bleibt die Vorstellung legitim, dass Bildung nicht primär mit Dingen zu tun hat, sondern mit Menschen: was sie ausmacht und antreibt, wie sie zu dem wurden, was sie heute sind; was sie geschaffen haben, wie sie sich in der Welt zurechtfinden“ (S. 123).

²⁶⁶ An dieser Stelle sei verwiesen auf eine weitergehende Sichtweise auf Religionen und Ethik bei Franz Alt (2015): *Der Appell des Dalai Lama an die Welt – Ethik ist wichtiger als Religion*. Wals bei Salzburg: Benevento Publishing

Benner (2014, 2012) fasst seine Forderungen an einen wissenschaftspropädeutischen Unterricht in sechs Punkten zusammen. So sollen SuS lernen, „(1) zwischen lebensweltlichen und wissenschaftlichen Erfahrungen und Problemstellungen zu unterscheiden,

(2) Theorien neuzeitlicher Wissenschaft als hypothetische Aussagesysteme zu begreifen,

(3) wissenschaftliche Aussagesysteme im Hinblick auf die in sie eingegangenen historisch-gesellschaftlichen Erfahrungen zu reflektieren²⁶⁷,

(4) Vermischungen szientifischer [*wissenschaftlicher*] und hermeneutischer Sachverhalte ideologiekritisch zu analysieren,

(5) Hypostasierungen [*Verselbstständigungen*] wissenschaftlicher Aussagen zu erkennen und

(6) die Verwendungssituationen neuzeitlicher Wissenschaft unter ökonomischen, pädagogischen, ethischen, politischen, ästhetischen und religiösen Perspektiven zu diskutieren“ (S. 94, 256).

In einem entsprechenden Schema wird diese gegenseitige Abhängigkeit von wissenschaftlichen Forschungsschwerpunkten und gesellschaftlichen Entwicklungstrends deutlich gemacht. Verstehen, Interesse usw. führen bei z.B. Journalisten und Politikern zu unterschiedlichen Erklärungen und Darstellungsformen für den Bürger, den Laien. Umgekehrt begründen politisches Engagement, Konsumentenverhalten u.a. wiederum politische Diskussionen über dieselben Vermittlungsfiler erneut wissenschaftliche Trends und Deutungssysteme. Solches Zusammenwirken kann u.a. auch in Form von Rollenspielen in den Unterricht implementiert werden. „Namely, they can personally use science-related information to influence a socio-scientific controversy in which they themselves take an active part“ (Abb. B6).

Beziehungen



Abb. B6: Grobe Zusammenhänge zwischen Weltinterpretationen und der Gesellschaftsform. Die gestrichelten Pfeile weisen auf den umgekehrten Einfluss von Gesellschaft und Politik auf die Art der Welterklärung hin.

²⁶⁷ Untersuchungen von Reiners et al. (2018) zeigen auf, dass gerade die Begrifflichkeiten innerhalb und zwischen den einzelnen Naturwissenschaften (und Mathematik) traditionell sehr unterschiedlich definiert und gehandhabt werden und dass es auch deshalb für eine Lehrkraft (mit einem Zweifachstudium) nicht zu den einfachsten Übungen zählt, hier ein verbindliches Maß an Begriffsakzeptanz und –verwendung von den SchülerInnen einzufordern!

In Abhängigkeit vom jeweiligen Entwicklungsstand eines Landes können auf der Basis einer umfassenden Allgemeinbildung zukunftsoffene Schwerpunkte gesetzt werden. „Ökologie ... [muss] auf aufgeschlossener Bildung und nicht auf `Ein´-Bildung beruhen ...“ (Haber, 2010, S. 67; vgl. hierzu auch: Lenzen, 2014: Bildung statt Bologna).

B 2.2 Chemie als Unterrichtsinhalt

Was man als „kurvenreiche Wegstrecke“ der Fachwissenschaft Chemie bezeichnen könnte, spiegelt sich in der Entwicklung des Chemieunterrichts in noch stärkerer Ausprägung wider (Brock, 1997; Pfeifer et al., 2002; Dahlmann, 2003; Sommer et al., 2018). Erste Anzeichen eines geordneten Chemieunterrichts finden sich 1823 an der Berliner Realschule. Seine Einrichtung war auch die Folge der erfolgreichen Chemieforschung sowie des wirtschaftlichen Aufschwungs Westeuropas am Beginn des 19. Jahrhunderts, mit denen neue Bildungsbedürfnisse des Bürgertums entstanden, die vornehmlich über die Gründung „realistischer Bildungsanstalten“ befriedigt werden sollten. Man erkannte in den damaligen chemischen Grundkenntnissen, etwa der „Scheidekunst“ vielfachen Nutzen für eine Reihe von Berufen vom Handwerk über Landwirtschaft bis zur Kunst.

Im Zuge der Industrialisierung war Konkurrenzfähigkeit angesagt! Zwischen 1850 und 1860 entstanden in Sachsen sechs Realschulen. „Durch die Unterrichts- und Prüfungsordnung vom 6. Juni 1859 wird der Chemieunterricht formal als eigenständiges Fach im Lehrplan eingeführt“ (Just, 1989; S. 13). Es war allerdings damals bereits deutlich, dass sich die Chemie in der Schule von einem universitären Lehrgang des Faches unterscheiden sollte (Loth, 1874; Gramm, 1989).

Der ausgesprochene Praxisbezug der damaligen Chemie verhinderte eine automatische Ausweitung des Chemieunterrichts auf die Gymnasien. In den „Lateinschulen“ dachte man, sich nicht mit den Stoffen abgeben zu müssen, eher mit den geistigen Gesetzmäßigkeiten der Logik und ihrer Historie. Es war ein anderer Zugang zur Welt, der von stofflichen Prozessen abstrahierte. Noch heute werden diesbezüglich Fragen gestellt und vor diesem geschichtlichen Hintergrund diskutiert: „Does Chemistry Have a Logical Structure?“ (Jensen, 1998). Der Bildungswert der Realien wurde angezweifelt. „Gefragt sind nicht die Anschaulichkeit und Lebensnähe der naturwissenschaftlichen Inhalte, sondern jene Kenntnisvermittlung, durch welche die allgemeinen Grundlagen der Naturwissenschaften erworben werden können, welche auch im Vergleich zu den philologischen Fächern als zweitrangig angesehen wurden, was 1840 Anlaß für Justus von Liebig²⁶⁸ Kritik an dem Zustand der Chemie in Preußen war“ (Voglhuber, 1994, S. 16).

Im Gymnasium wird Chemie ab 1882 als verbindlicher Bestandteil des Faches Physik aufgeführt. Haben sich fortan die Anteile der Chemie in den Realschulen und Oberrealschulen sowie Realgymnasien etabliert, inhaltlich ausgeformt und zu einem festen Bestandteil der Stundentafel entwickeln können, so ist das Fach Chemie in den Gymnasien bis heute, scheinbar immer noch diskutabler Teil der Schulpolitik²⁶⁹.

²⁶⁸ Justus von Liebig (1803-1873) kam 1852 an die Universität in München und erhielt dort einen eigenen Institutsneubau in der Innenstadt.

²⁶⁹ „Mehr Weitblick am neuen G9“

Zum Artikel von Dirk Walter „Mehr Geschichte am neuen G9“ im Münchner Merkur vom 21.7.2017

Jeder weiß, der gesellschaftliche Auftrag an die Schule und an die darin arbeitenden Lehrkräfte ist vielschichtiger und nachdrücklicher geworden. Das bildungspolitische Instrument „Stundentafel“ befindet sich gerade in Umbruchzeiten auf dem Prüfstand. Aktuell handelt es sich um eine neue Gleichgewichtseinstellung zwischen Naturwissenschaften und Sozialwissenschaften, beispielsweise vertreten durch Chemie/Physik und Geschichte/Sozialkunde. Die aktuelle Angst vor dem Anwachsen der sogenannten Ingenieurslücke wird momentan dominiert von der akuten Angst vor einem Auseinandertriften gesellschaftlicher Extremlagen. Hier soll die Schule die erforderlichen Kenntnisse aber auch die grundsätzlichen demokratischen Haltungen konvergierend vermitteln und erleben lassen. Mit den so entstehenden Bewertungskompetenzen können diese Ängste versachlicht werden. Diesem Ansinnen wird keineswegs widersprochen. Zweifelhaft ist es jedoch, zugleich den Naturwissenschaften das Wasser abzugraben. Was erwartet man von SchülerInnen, die gezwungen werden, sich zwischen Chemie und

Dabei konzentriert sich die (schulpolitische) Diskussion immer wieder auf die Frage, ob Chemie als Fach „Chemie“ oder im Verbund mit den anderen Naturwissenschaften als „Naturwissenschaften“ oder ‚noch integrativer‘ als MINT-Fach²⁷⁰ eingerichtet werden soll. Neben den bildungspolitischen Zielen muss hierbei immer mitgedacht werden, dass in der angeführten Aufzählung eine Abnahme der LehrerInnenstellen, eine Vereinfachung der LehrerInnenausbildung und eine Bedeutungs nivellierung chemiespezifischer Inhalte impliziert sind.

Dem steht entgegen, dass gerade mit der Fachpräsenz auch die Ausbildung eines „akademischen Selbstkonzepts in den naturwissenschaftlichen Fächern“ verbunden ist (Jansen et al., 2014). „Als Charakteristika des interdisziplinären Naturwissenschaftsunterrichts, die zu der einheitlichen Selbstkonzeptstruktur geführt haben könnten, kommen die stärkere Ausrichtung auf fächergemeinsame Kompetenzen und die Möglichkeit, im Unterricht explizit auf Bezüge zwischen den Fächern hinzuweisen, in Betracht“ (S. 48; Hervorhebung durch den Autor). Das jeweilige Fach muss also sichtbar und für den Lerner erkennbar sein!

In diesem Zusammenhang erscheint es als interessante (Forschungs-)Aufgabe, nicht nur die Präkonzepte der Lernenden, also ihre vorunterrichtlichen Vorstellungen von ausgewählten Fachinhalten, sondern auch ihre Vorstellungen von dem, was „ihm Chemieunterricht bringen soll“ zu ermitteln. Hierzu gibt es noch wenig belastbare Untersuchungen (Fieberg, 2009). Bisher geht man aus von der logischen und alternativlosen Vermittlung naturwissenschaftlicher und damit auch chemischer Grundkenntnisse, von den schularttypischen Bildungszielen und von den Aufgaben der beruflichen Orientierung, welche alle in die Lehrplankonstruktion einfließen müssen. Gibt es aber auch grundsätzliche Erwartungen (Hoffnungen und Ängste), mit denen Schüler und Schülerinnen den Chemieunterricht beginnen? Es wäre wichtig, das hier aufgeworfene Problem explizit zu untersuchen.

Forschungsarbeiten von Kessels & Hannover (2006) lassen es als sehr wahrscheinlich annehmen, dass zumindest drei „Imagefaktoren“ die Fachbeliebtheit beeinflussen: „für wie schwierig sie gelten (Imagefaktor „Schwierigkeit“), ob sie als maskulin oder feminin angesehen werden (Imagefaktor „Geschlechtskonnotation“) und in

Kunst/Musik wahlpflichtig zu entscheiden? Macht es irgendeinen Sinn, die drei Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik so unterschiedlich mit Stunden auszustatten, dass in einem naturwissenschaftlich-technologischen Gymnasium für die Fächerwahl im Abitur keine vergleichbaren Entscheidungsgrundlagen mehr vorliegen? Sollte es nicht so sein, dass ein ausgeglichener geistes- und naturwissenschaftlicher Bildungskanon, zusammen mit Religion/Ethik, Sport und Künsten zur Verwirklichung der seit 2004 geltenden Bildungsstandards weitaus besser beiträgt als ein hektisches Überbetonen und letztlich auch Überfordern eines einzelnen Fachs. Wir alle wissen, dass die Einflussnahme auf Stundentafel und Lehrplan durch unterschiedliche Interessen unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Dennoch sollten die allgemeinbildenden Ziele von Unterricht nicht zu sehr dem Zeitgeist geopfert werden. Unsere technisch geprägte Zeit braucht historisch fundierten Sachverstand sowie Demokratie sichernde Überzeugungen. Genauso dringend ist jedoch auch das N in MINT, sind solide chemische, biologische und physikalische Grundkenntnisse, mit denen sich Fortschritt verstehen und sinnvoll nutzen lässt, mit denen verhindert wird, dass die Schere zwischen Experten und Laien noch weiter aufgeht, die Kontrolle ermöglichen sowie den Nachwuchs und die wirtschaftliche Weiterentwicklung unseres Landes sicherstellen. Erfolgreicher Fachunterricht in Theorie und Praxis, insbesondere in Chemie, Physik und Biologie braucht mindestens zwei Wochenstunden, eine kontinuierliche, parallele Präsenz über Jahrgangsstufen hinweg und letztlich die Arbeit gut ausgebildeter Lehrkräfte. Stundentafeln, Lehrpläne und Prüfungsmodalitäten sind hierfür qualitätsbestimmende Rahmenbedingungen. Sie werden von der Politik festgelegt und müssen von ihr verantwortet werden!

23.7.2017, Prof. Dr. Michael A. Anton

²⁷⁰ MINT steht für „Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik; im Englischen werden diese Fächer (Wissenschaft, Technologie, Engineering, Mathematik zu „STEM“ zusammengefasst. In Österreich wurde MINT zu MINDT erweitert: D steht für das Fach Deutsch

welchem Ausmaß sie nach Ansicht der Schülerinnen und Schüler Möglichkeiten bieten, persönliche Werte und Überzeugungen zum Ausdruck zu bringen bzw. auszubilden (Imagefaktor „Selbstverwirklichung“)“ (S. 352). Der zweite und dritte Imagefaktor scheinen bisher zu wenig beachtete Auswirkungen zu haben. Da die Fächer Physik und Chemie vorrangig maskulin konnotiert werden, mag es für Mädchen nicht attraktiv sein, sich innerhalb der peergroup gerade in diesen Fächern hervorzutun (Paeschke & Anton, 2016). Kessels & Hannover fordern daher, dass der weibliche Anteil von Naturwissenschaftsengagierten zumindest in eine Fifty-fifty-Situation gebracht werden sollte, sodass die Attribuierung „... ist für Mädchen nichts“ neutralisiert werden könnte.

Es bedeutet dies aber auch, dass sich vornehmlich bei Kontakten mit SchülerInnen (SchülerInnentage etc.) Forscher und Forscherinnen in ihrem wissenschaftlichen Umfeld unmittelbar einbringen, sich sehen und ansprechen und die eigene Person in ihrer Ganzheitlichkeit erkennen lassen. Der unmittelbare Kontakt und eben nicht nur die tradierte Vorstellung erleichtern den Zugang zu dem Personenkreis, zu dem man später einmal gerne gehören würde ... oder eben keinesfalls!

Aus dem Imagefaktor „Selbstverwirklichung“²⁷¹ ergibt sich, dass die vermeintliche „Unverrückbarkeit“ naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, die von der Mehrzahl der Schüler als unwidersprechbare Fakten wahrgenommen werden, gerade durch die Eigentätigkeit im Untersuchen und Hypothesenprüfen relativiert werden könnte, etwa nach der Devise „Ich kann mich irren!“²⁷². Ein „Weg“ vom reinen Faktenvermitteln und ein „Hin“ zum eigenen, selbst erlebbaren „Aha“-Erlebnis wäre eine Chance für ein mehr selbst bestimmbares Chemielernen.

So lässt sich eine ganze Reihe von Fakten zusammenstellen (Abb. B7), welche letztlich mit verantwortlich sind, dass die Chemie (und andere Fächer) einen nur eingeschränkten Akzeptanzbonus erhalten.

²⁷¹ „Von einem oft überoptimistischen positiven Selbstkonzept eigener Tüchtigkeit entwickeln sich fast alle Kinder zu kleinen immer noch optimistischen Realisten. Zugleich zeigen sich verstärkt intraindividuelle (gegenüber den Anforderungen verschiedener Fächer) und interindividuelle Unterschiede: Wie kulturvergleichende Studien belegen, spielt die Schule bei der Veränderung des Selbstkonzepts eigener Tüchtigkeit eine wesentliche Rolle, ermöglicht und fordert sie doch soziale Vergleichsprozesse bei der Beurteilung von Leistungen; sie orientiert sich an einem normativen curricularen Standard und vergibt institutionell autorisierte Bewertungen. ... Kinder lernen, ihre Selbsteinschätzung (auch) an sozialen Maßstäben zu orientieren. Illusionäre Überschätzungen der eigenen Fähigkeiten müssen zugunsten realistischer Einstellungen und Erwartungen korrigiert werden, wobei eine große Variationsbreite dispositionaler Tendenzen zu mäßigen Unter- oder Überschätzungen der eigenen Leistungsfähigkeit erkennbar ist. Nach den vorliegenden Befunden dominieren am Ende dieser Entwicklung aber im Durchschnitt Merkmale eines optimistisch getönten Realismus“ (Weinert, 2001d, S. 272).

²⁷² ... gemäß der philosophisch begründeten Anschauung, wonach es keine unfehlbare Erkenntnisinstanz gibt: *Fallibilismus* (fallibel = dem Irrtum unterworfen)

Akzeptanzfaktoren für das Fach Chemie



Abb. B7: Sieben Bedingungen, welche in ihrer jeweils betont positiven Ausprägung den Weg ins Fach Chemie bei Jugendlichen nachhaltig fördern.

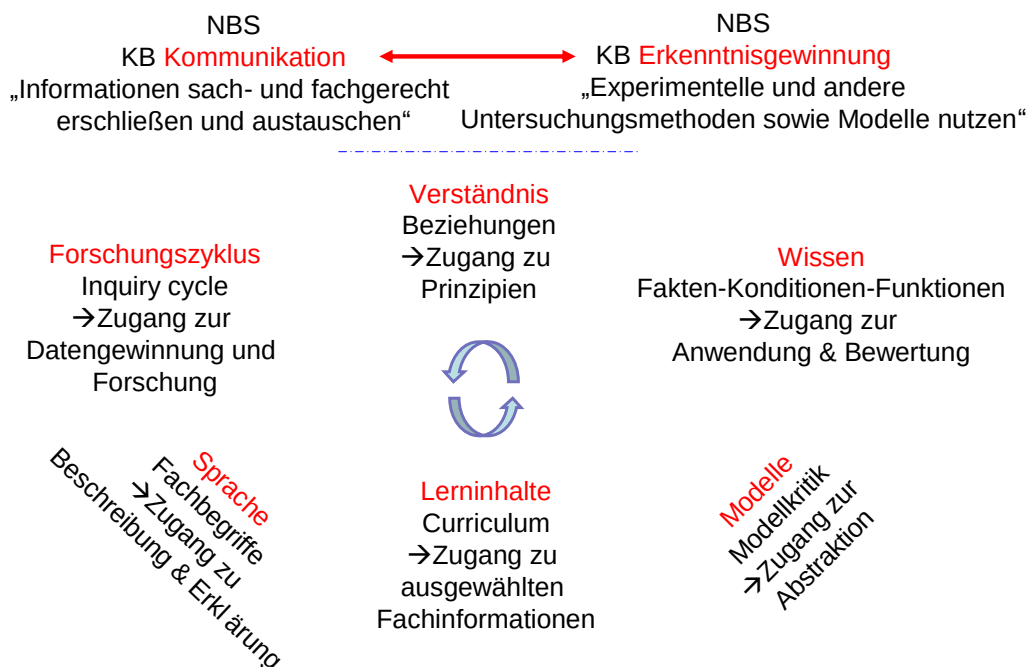


Abb. B8: Sieben Bedingungen, welche in ihrer jeweils positiven Ausprägung den Weg durch das Fach Chemie bei Jugendlichen nachhaltig erleichtern und festigen können (NBS = Nationale Bildungsstandards mit hier zwei von vier Kompetenzbereichen (KB)).

Abb. B8 beschreibt die unterschiedlichen Schwerpunkte, über die es möglich ist, den wissenschaftspropädeutischen Charakter bei der Unterrichtsführung zu verdeutlichen und sukzessive handlungsorientiert erlebbar zu machen. In allen Bereichen handelt es sich um Möglichkeiten, das „Verstehen von Chemie“ zu vermitteln und zu vertiefen. In der Praxis heißt dies, dass es sich um Unterrichtsziele handelt, die so nicht in den Fachlehrplänen zu finden sind. Vielmehr lassen sie sich in den Präambeln der Lehrpläne finden.

Einige kritische Anmerkungen zur Rolle der Chemie im Fächerkanon der Naturwissenschaften: Von den Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik mit all ihren Spezialitäten stellt die Chemie besondere Ansprüche an die Denkleistungen des Lehrenden und Lernenden. Der Fachwissenschaftler und Chemiedidaktiker Hans Rudolf Christen (1924-2011) hat dazu den Begriff „Zwiedenken“ vorgeschlagen. Gemeint ist damit die Fähigkeit, zwischen den makroskopischen Beobachtbarkeiten und den submikroskopischen Modellierungen sicher und rasch zu vermitteln. Mit einem gut ausgebildeten Abstraktionsvermögen lassen sich die Zusammenhänge und Gemeinsamkeiten chemischer Prozesse entdecken, induktiv zu Regeln verdichten, die dann deduktiv zur Hypothesenbildung und für Vorhersagen genutzt werden können. Hierzu passt: „Unser Gedächtnis und unsere Fähigkeit zur Abstraktion nutzen dieselben Verarbeitungsprozesse“ (Pietschmann, 2023, S. 25).

Werden solche Ansprüche erfüllt, so lässt sich die Hirnarbeit als Genuss empfinden. Man bekommt Mut, diese Denkleistung auch auf andere Gebiete zu übertragen und dort gewinnbringend anzuwenden. Derartige erzieherische Effekte lassen sich nicht mit derselben Konsequenz aus der wissenschaftlichen Physik oder Biologie herleiten. Die Physik ist zu sehr mathematisiert und die Biologie weist beim Weg von der Beobachtung zur Begründung zu große Brüche auf, ist zu komplex. Beide sind zu voraussetzungsabhängig, wenn man in die Tiefe des Fachs eindringen möchte. In der Chemie lässt sich dieser Weg an vielen lehrplanrelevanten Stellen explizit ausgestalten. Wichtig dabei ist, dass genügend Zeit sowohl für Beobachtung als auch für deren erklärende Durchdringung zur Verfügung steht.

Diese scheinbar triviale Bedingung wird meist nicht erfüllt, sodass das Verstehen weniger ausgebildet wird als die Anhäufung von meist unverbundenen Fakten. Die hieraus sich ableitende Aversion hat viele Folgen. Eine der unangenehmsten und dennoch stabilsten ist die pauschale Ablehnung des Fachs in allen Erscheinungsformen wie Industrie, Wirtschaft, Forschung und Schulfach! Dies hat bekanntlich weitreichende Folgen, u.a. Rundumurteile, die meist negativ ausfallen. So erscheint das falsche Anschneiden eines Rohres mit Inbrandgeräten des Inhalts in der Betriebsanlage der BASF als „Chemieunfall“ und die Gesellschaft bringt damit ein schlechtes Image der Chemie per se in Zusammenhang. Kein Mensch würde bei der Kollision einer Bergungsgondel mit der neuen Gondel der Zugspitzbahn von einem „Physikunfall“ sprechen und damit die ‚Physik‘ verunglimpfen wollen. Analoges gilt für einen einfachen Auffahrunfall zwischen zwei Autos. Auch in der Medizin führen „Kunstfehler“ nicht zur gesamten Ablehnung der ‚Medizin‘ als solcher. Eigentlich sind das ja alles „Biologieunfälle“. Sind doch in solchen Bereichen ‚mangelnde Aufmerksamkeit‘, ‚Vergesslichkeit‘, ‚Unerfahrenheit‘, ‚Unqualifiziertheit‘, ‚Ideologieverhaftung‘ etc. als letztendliche Ursache heranzuziehen. Es gilt die Befürchtung, dass die grundsätzliche chemiespezifische Denkart und das damit einhergehende Entdecken von Zusammenhängen sowie das Verstehen-Können von Beziehungen, Leistungen sind, die die Betreffenden insgesamt selbstbewusst, kritisch, mitwirkungsbereit und politisch wirksam werden lassen (könnten). Unterlässt man es deshalb, die Schulchemie anspruchsgerecht in der Studententafel aufscheinen zu lassen? Bleibt man deshalb dabei,

den Lehrplan randvoll auszustatten, um Zeit für das gründliche Behandeln von Details vorzuenthalten? Die mehr und mehr sichtbar werdenden außerschulischen Lehrernangebote für die handlungsorientierte Auseinandersetzung mit innovativer Chemie können nur dann erfolgreich genutzt werden, sind nur dann rentabel, wenn der Schulunterricht in der Lage ist, die hierzu erforderlichen soliden Grundwissensbedingungen an ausgewählten Lehrplaninhalten gründlich und nachhaltig zu erfüllen. In Bayern gibt es Zeichen für einen solchen Paradigmenwechsel!

Ist Chemie also nicht deshalb gefährlich, weil sie auf der Stoffebene durchaus Risiken in sich bergen kann, sondern viel mehr, weil sie das vernetzte Denken mehr als andere Fächer befördern kann? Wie ließe sich sonst erklären, dass 1790 die kurfürstliche-bayerische Regierung an der Universität Ingolstadt die Chemie zum `Pflichtfach für die Hörer aller Fakultäten -insbesondere auch der Theologen- erhob, da man hierin ein wirksames Mittel zur Bekämpfung des Aberglaubens in der Bevölkerung sah´ (Krätz, 1981)? Und, dass noch im 19. Jahrhundert in `Großbritannien beispielsweise auf Flugblättern davor gewarnt wurde, dass Wissen die Armen über `ihre niederen und mühseligen Pflichten´ erhebe´ (Wulf, 2018)? In einem Artikel der SZ v. 23./24.2.2019 zum Mord des Schriftstellers August von Kotzebue 1819 heißt es: „denn die deutschen höheren Bildungsanstalten galten als Stätten staatsgefährdender Unruhe, ...“. Man sollte –nicht nur als angehende Lehrkraft für Chemie- darüber länger und gründlicher als bisher nachdenken!

B 2.3 Chemie im „Fach“ Science oder Naturwissenschaften

In nahezu regelmäßigen Abständen wird sowohl öffentlich als auch auf bildungspolitischer und ökonomischer Basis die Frage nach der Notwendigkeit von Fachunterricht auf den unterschiedlichen Jahrgangsstufen und in den unterschiedlichen Bereichen des gegliederten Schulsystems gestellt. Im Besonderen trifft dies auf die Stellung der naturwissenschaftlichen Fächer innerhalb der Stundentafel zu. So wurden Ende der Neunziger in Bayern die zwei „Fächer“ Chemie/Physik und Biologie zum Fach PCB zusammengefasst, nachdem man errechnet hatte, dass damit in Bayern 500 Planstellen für damalige HauptschullehrerInnen eingespart werden können. Seinerzeit wurde diese Maßnahme als eine moderne interdisziplinäre Errungenschaft „verkauft“. Auch in Baden-Württemberg gibt es mittlerweile das neue Fach „Science“.

Die immer wieder aufflammende Diskussion „Chemie“, „Physik“ und „Biologie“ als Fächer oder „Naturwissenschaften“ als Fach hat also nicht ausschließlich didaktisch-pädagogische Hintergründe; sie ist auch im Bezug auf die öffentliche Bewertung des einzelnen Fachs in Relation zu den anderen Schulfächern relevant. So weist die Untersuchung von Pütz et al. (2016) deutlich aus, dass Schüler sehr klar unterscheiden zwischen „Lieblingsfächern“ und „Hauptfächern“ (Abb. B9).

Beliebtheit & Wichtigkeit

• Ratingskala 1 – 4	• Ratingskala 1 – 4
• N = 606 SuS Sek.st. I	• N=606 SuS Sek.st. I
• Vorgabe: 14 Fächer	• Vorgabe: B, C, P, D, E, M
• Lieblingsfächer:	1. M: 73%
M (2.76)	2. E: 69%
E (2.81)	3. D: 64%
D (2.71)	BCP: 9%
B (2.76), C (2.67), P (2.4)	• MED:BCP→7:1
• MED:BCP→1:1	• Arbeitszeit:
	MED: 70%
	BCP: 20%

Abb. B9: SchülerInnen unterscheiden sehr wohl zwischen beliebten und wichtigen Fächern, was sich deutlich zeigt bei der aufzuwendenden Arbeitszeit. Hier wird sozusagen einsichtig, den wichtigen Fächern mehr Zeit zugestanden als den beliebten

Unter solchen Bedingungen sollte darüber nachgedacht werden, ob es nicht im Sinne einer soliden naturwissenschaftlichen Grundbildung zielführend wäre, die drei Fächer zusammenzulegen, allerdings mit einer zum MED-Bereich gleichwertigen Wochenstundenzahl sowie Benotungswertigkeit! Damit hätten die Naturwissenschaften eine gleichwertige Position wie die Fächer Mathematik, Deutsch und beispielsweise Englisch als eine der Fremdsprachen.

Dies könnte formal eine Lösung sein, um die Gleichwertigkeit von geistes- und naturwissenschaftlichen Bildungsschwerpunkten einigermaßen sicherzustellen. Dennoch ergeben sich im Bereich der Unterrichtsführung, also des Lehrplans und der unterschiedlichen methodischen Erkenntnisgewinnung neue Problemstellungen, deren Lösung zu mehrheitlich grundsätzlichen Umorientierungen führen müsste. Insbesondere die methodischen Eigenheiten der Fächer dürfen nicht auf der Strecke bleiben.

So sollte man nach Prokoph (1997) andere als die traditionellen Themenbereiche als Lehrplaninhalte anbieten, wie etwa die folgenden:

- `Entstehung der chemischen Elemente,
- Entstehung fossiler E-Träger
- Entstehung von Erzen (Fe-Erz) & Salzen (Kalk)
- Chemische Evolution
- Entstehung und Veränderung der Erdatmosphäre
- C-, N-Kreislauf; Geochemie der Verwitterung
- Biochemie der Photosynthese
- Stoffwechsel der Biomoleküle´
- etc.

mit neuartigen bzw. bisher weniger im Vordergrund stehenden Zielsetzungen:

- Fachrelevantes Orientierungswissen (Unterscheiden-können als Basis für Vernetzen-können)
- Berufliche Orientierung (Berufswahlreife)
- Wissen zur Entwicklung des Selbstwerts und Fähigkeitskonzepts
- Kritisierungswissen für demokratische Mitsprache

Bei den Inhalten handelt es sich vornehmlich um solche, die sich durch den Besitz von Fachadaptern auszeichnen, also Vernetzungsmöglichkeiten aufweisen zu den jeweils anderen Fächern, aus deren Blickwinkel sie mehr oder weniger gleichwertig aufgearbeitet werden können. Dies müsste dann nach den folgenden Kriterien erfolgen:

- `fachwissenschaftliche Bezeichnungen
- Erscheinungsformen von Stoffen & Prozessen sowie ihre Lokalisierung
- Zeitangaben
- Naturhistorische Aspekte & Bedeutungen
- Prozessbedingungen (*Reaktionsbedingungen*)
- Energetik
- Quantitative Aspekte
- Anthropogene Einflüsse
- Forschungsmethoden´

Diese plausiblen und sehr aktuellen Vorstellungen von modernen Unterrichtserfolgen bedingen zwangsläufig andere Ausbildungsbedingungen als bisher üblich. Neben den gleichwertigen fachlichen Qualifikationen, etwa auf dem Niveau guter RealschulschülerInnen in Theorie und experimenteller Praxis bedarf es auch einer inter- bzw. transdisziplinären, einer „Vernetzungskompetenz“.

In Bayern gibt es seit 2009 an der Universität Regensburg ein Projekt (Ausbildungsgang „Naturwissenschaft und Technik, NWT) für die naturwissenschaftsdidaktische Qualifikation von MittelschullehrerInnen. Es soll nun auch auf andere lehrerInnenbildende Unis in Bayern transferiert werden, was sich als nachweislich schwierig herausstellt, letztlich aber das Ziel einer qualifizierten Lehrkraft für die drei Fächer sein sollte.

Es darf dabei nicht übersehen werden, dass fachliche Sicherheit nicht erreicht werden kann durch eine vornehmliche Generalisierung fachlicher Analogien unter Hintanstellung

der fachspezifischen Ziele, Methoden und Aussagen. Hier gelten die folgenden fünf Gültigkeiten:

1. „Je allgemeiner eine Regel formuliert ist, desto weniger eignet sie sich zur Bearbeitung spezifischer Probleme“ (Weinert, 1997)
2. „Je schwieriger die geforderte Leistung ist, umso weniger können Defizite im inhaltlichen Wissen durch allgemeine Problemlösekompetenzen kompensiert werden“ (Weinert, 1987)
3. „Unklar ist bisher die Möglichkeit zum Erwerb von geordnetem Fachwissen in überfachlichen Unterrichtsformen“ (Obst, 1997)
4. Die heutige Bedeutung eines Faches ergibt sich aus seinem Beitrag, den es zum Verständnis anderer Fächer, d.h. zum Gesamtwissen leisten kann!
5. „Nur was sich unterscheidet, kann sich ergänzen!“ (Anton, 2012); denn: „Wer nichts als die Chemie versteht, versteht auch diese nicht!“ (G. Chr. Lichtenberg, 1742-1799)

Wie immer man es wendet, ein Fach `Science` (oder ähnlich) hat seinen Ursprung in den einzelnen Fächern!

Mit diesen Betrachtungen wird ein Dilemma sichtbar. Die so sehr gewünschten und als Bildungsstandards anvisierten Wissensanwendungen im Alltag lassen sich durch mangelndes Detailwissen aus den Fächern nicht erreichen! Es macht also Sinn, sich um eine neue Form der didaktischen Behandlung ausgewählter Inhalte (s.o.), etwa durch „interdisziplinäre LP-Kommissionen“ (Wessels, 1999) ebenso zu kümmern wie um eine konsequent neue Form der mathetischen Ausrichtung von Vernetzungen und Anwendungen derselben inner- und vor allem außerhalb des Fachunterrichts. Hierzu bedarf es einer anderen als der bisherigen Schwerpunktsetzung der Lehrqualifikationen, beispielsweise auf:

- Schlussfolgerndes Denken,
- Analogiebildung,
- kombinatorisches Denken,
- Nutzung von kognitiven Werkzeugen (Diagramme als Repräsentationsformen etc.; Beck, 2017; vgl. auch Rau, 2015),
- Techniken der Selbststeuerung,

und zwar an konkrete Inhalte aus einem überfachlichen Kontext geknüpft (Klieme, 2000?)²⁷³. Ein konkretes Beispiel „for chemistry teaching in technical schools with a chemical orientation“ findet sich bei Calascibetta et al. (2000), wo es um das „Wasser in einem Aquarium“ geht. Hieran wird in naher Zukunft zu arbeiten sein. „Chemie im Kontext“ (ChiK) wäre ein aktuelles Beispiel (Demuth et al., 2008).

Auch wenn Untersuchungen von Jansen et al. (2014) darauf hinweisen, dass ein Fach „Nawi“, das Biologie, Chemie und Physik im Fächerverbund anbietet, zu einer „homogeneren Selbstkonzeptstruktur auf Schülerseite“ führt sowie eher die Möglichkeit bietet zur „stärkeren Ausrichtung auf fächergemeinsame Kompetenzen“ (S. 48), darf nicht übersehen werden, dass Fächer per se Orientierung geben und es weder einen Beruf „Naturwissenschaftler“ gibt, noch „Naturwissenschaften“ studiert werden können (Ausnahme: für das LA an Mittelschulen, Universität Regensburg).

²⁷³ Am 6.4.2016 fand beispielsweise eine Expertenkonferenz des BLLV (München) statt mit dem Thema: Fachlichkeit & Bildung.

Wie konstruktiv es sein kann, Fachkompetenzen personell zu kombinieren, zeigt ein Zitat von Sigmund Freud (1927) über Albert Einstein: „Er ist heiter, sicher und liebenswürdig, versteht von Psychologie soviel wie ich von Physik, und so haben wir uns sehr gut gesprochen“; vgl. auch: Albert Einstein, Sigmund Freud. (1972) Warum Krieg? Ein Briefwechsel. Zürich: Diogenes-Verlag

In diesem Kontext sei betont, dass `fachübergreifender` bzw. `fächerverbindender` Unterricht (hier im NaWi-Bereich) eine ganz besondere Herausforderung für die Fach- und für die Methodenkompetenz der Lehrkraft darstellt. Dass die Annahme einer solchen `challenge` durchaus zu einem sehr erfolgreichen naturwissenschaftlichen Grundverständnis führen kann, soll nicht in Abrede gestellt werden (Stäudel, 1995).

B 2.4 Chemie als Praktikum

Die geschichtliche Seite des Chemieunterrichts wird erneut heterogener, wenn man sich auf die Einrichtung und Ausgestaltungen der so genannten „SchülerInnenübungen“ (Noack, 1892) bezieht. Sowohl ihre Zielsetzungen wie auch die Häufigkeiten und auch die Vernetzungsmöglichkeiten mit dem „normalen“ Unterricht sind höchst unterschiedlich.

Auf die ersten, allerdings fakultativen chemischen Schülerübungen stößt man 1825²⁷⁴ in einem Programm der Berliner Gewerbeschule, in der Friedrich Wöhler (1800-1882) Chemieunterricht erteilte: „Die Zöglinge müssen zugleich angeleitet werden, einfache Versuche selber anstellen zu können“ (Lautenschläger, 1963, S. 19-20; für österreichische Entwicklungen vgl. Soukop, 2013). Dabei war es den besonders guten Schülern gestattet, an den Praktika teilzunehmen, auch deshalb, weil häufig große Schülerzahlen gleichzeitig zu beaufsichtigen waren (50-60 Schüler in 16 Gruppen: Realschule am Zwinger zu Breslau, 1858). So unterschiedlich sich die Schülerübungen in der Art ihrer Abhaltung entwickelten, so vielfältig wurden die Ziele formuliert, welche mit den Übungen erreicht werden sollten.

1. Vorbereitung auf entsprechende Berufe, wobei es auf Fertigkeiten ankommt.
2. Erweiterung der unmittelbaren Anschaulichkeit der chemischen Phänomene und Festigung theoretischer Kenntnisse.
3. Übertragung der praktischen Studienanteile durch gut ausgebildete Chemiker, die an Schulen lehrten.
4. Bewerben von Schülern, um das Renommee des Schultyps sicher zu stellen.

Erst deutlich später addierte sich die Zielsetzung, wonach es darum gehen sollte „den Unterrichtsstoff mit grundlegenden Schülerübungen in engste Verbindung zu setzen“ (Dannemann, 1908). Andererseits gab es auch Bestrebungen, den gesamten Chemieunterricht praktisch auszufüllen, was 1848 der damalige Direktor einer höheren Bürgerschule zu Stettin, C. G. Scheibert einforderte. Es sollte jedoch nicht auf Kosten jeglicher theoretischen Unterweisung erfolgen. Nach einer Art einfacher Chemikalien- und Gerätekunde werden Versuche so konzipiert, dass Schülergruppen arbeitsteilig aufeinander zuarbeiten konnten. Pro Gruppe war immer jeweils ein Schüler erfahrener als die übrigen Gruppenmitglieder. Einzelne konnten sich bei anderen Gruppen Informationen holen und gleichzeitig diesen Tipps geben. Am Ende musste jede Gruppe referieren und eventuelle Fehlerdiskussionen ausführen.

Dem Lehrer und der Lehrerin kam nicht nur die Aufgabe der gewissenhaften Vorbereitung zu, sondern auch die einer Verdichtung aller Resultate zu einer Schlusssatzung. Im Verlaufe solcher Arbeit war es den Schülern verboten, ihre Vermutungen und Ergebnisse ohne Ankündigung auszusprechen, „um nicht den Untersuchenden ... das Bildende des Selbstsuchens abzuschneiden und so das Thun fruchtlos zu machen“ (Scheibert in seiner Schrift „Das Wesen und die Stellung der höheren Bürgerschule“). Solch durchdachtes Vorgehen fand allerdings keinen unmittelbaren Eingang in die damalige Praxis schulischer Chemieübungen. Offensichtlich waren der organisatorische und besonders der zeitliche Aufwand dieser „freien Methode“ zu hoch. Gerade der Zeitbedarf dirigierte die Entwicklung zu rationelleren Formen. Fallweise wurden Übungen vorgeschrieben, dann auch empfohlen, je nachdem wie es

²⁷⁴ Nach Recherchen von Schmitz-Wallrafen (2003) lassen sich noch weitere Protagonisten anführen, deren Anliegen es war, „den Chemieunterricht aus den Fesseln der Stoffsystematik der Hochschulen“ zu befreien: Carl Ferdinand Förstemann (1828); Franz Joseph Duhr (1841), Adolph Andriessen (1860), C. H. Hassenstein (1839) und F. Kleinert (1851). In Klammern jeweils das Erscheinungsjahr des einschlägigen Werks.

Schulausstattung und Lehrerbildung erlaubten. Die Einsicht, dass in einem Fach, welches einer empirischen Wissenschaft entstammt, auch empirisch gearbeitet werden muss, war den Verantwortlichen nicht abzusprechen. Nach welcher Art dies zu erfolgen hat, war aber schon von Anfang an ein Diskussionsthema der Didaktiken der Biologie, der Physik und der Chemie. Da die Chemie von allen dreien immer den größten und den vom Alltag am weitesten entfernten Sachaufwand verursachte, wurden ihr häufig die Übungen in Biologie und Physik vorgezogen. Sie musste sich also stets in ihren diesbezüglichen Forderungen rechtfertigen. Doch auch innerfachlich war man sich nicht einig, insbesondere hinsichtlich der Rolle der Theorie. In seiner Schrift „Organisation, Technik und Apparat des Unterrichts in der Chemie an niederen und höheren Lehranstalten“ (Leipzig, 1868) verlangte Rudolf Arendt, Lehrer der Handelslehranstalt zu Leipzig, dass zuerst eine sichere Theorielegung nachgewiesen werden muss, bevor man sich dem experimentellen Arbeiten in Schülerhand öffnen kann, sonst würde *„das praktische Chemisieren zu einer unnützen, ja nicht selten höchst gefährlichen Spielerei“*. Aufgrund dieser Bedenken schlug er ein gestuftes Vorgehen vor:

1. Anschauung (über Lehrerdemonstrationen),
2. Erklärungen (theoretische Grundlagen),
3. Selbständiges Experimentieren (Lehrer führt vor, Schüler machen nach).

Wenn Arendt das Experiment stets an den Beginn seiner theoretischen Ableitungen stellte, war es Ferdinand Wilbrand, der einmal den genetisch-historischen Nachvollzug der Entdeckung wissenschaftlicher Inhalte vermeiden und zugleich das Methodische der Naturwissenschaft in den Vordergrund stellen wollte. In seinem Artikel „Über die Stellung des Experiments im chemischen Unterricht“ von 1870 heißt es: „das Experiment soll nur zeigen, ob er richtig ist oder irrig, ob er auf rechtem oder falschem Wege vorschreitet“. Allerdings sollten die Gedankengänge hierzu nur durch das Lehrerdemonstrationsexperiment gekrönt werden! Deutlich ist zu erkennen, dass die vollständige experimentelle Initiative sich deutlich von den Schülerübungen zu den Lehrerdemonstrationen hin entwickelte. Was die Inhalte der Schulexperimente anbelangt, so bestand der Trend, sich von den vorrangig analytischen Versuchen und den ebenfalls ausschließlich induktiven Vorgehensweisen zu trennen. Es sollten einfache Versuche, die in einem gewissen Kontext mit dem theoretischen Unterricht stehen, von den Schülern arbeitsgleich ausgeführt werden.

In den 1890er Jahren begann man, die Ziele der Schülerübungen wieder neu zu diskutieren (J. Stöckhardt, 1881; F. Dannemann, 1893; E. Dennert, 1898). Anlässe hierzu waren u. a. Schriften aus England und Entwicklungen im Physikunterricht. Um nun die Übungen möglichst theoriebegleitend durchführen zu können, begann man die Anforderungen zu senken. Die Schüler sollten im Rahmen fakultativer Übungen einfache Versuche des Lehrers nachmachen. Diese Einstellung stand im krassen Widerspruch zu den Befürwortern einer Reform des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Federführend sei hier Henry E. Armstrong genannt. Er war Professor für Chemie am Central Technical College in London und führte die geringe Wertschätzung des naturwissenschaftlichen Unterrichts auf dessen Gestaltung zurück: „Wir müssen den Gebrauch der wissenschaftlichen Fakten lehren, nicht nur die Fakten an sich“ (Aus: „The Teaching of Scientific Method“, 1891). Auch damit konnte kein Durchbruch erzielt werden.

Um die Jahrhundertwende schaltete sich die Professorenschaft in die Diskussion um den Chemieunterricht ein. Wie heute andere Institutionen, beklagte sich damals die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte über den schlechten Wissensstand angehender Studierender. Man appellierte an „Anschauung“ und an die „Beschäftigung mit dem konkreten Objekt“. Es kam zur Einrichtung des ersten Lehrstuhls für Chemiedidaktik in Deutschland. An der Universität Leipzig hielt Julius Wagner (1903)

seine Antrittsvorlesung mit dem Titel „Über den Anfangsunterricht in Chemie“ (Vgl. auch Reiners, 1989). Ende der damaligen Diskussion war jedoch lediglich eine Empfehlung der „Unterrichtskommission“ (1907), in Zukunft mehr Zeit zu finden, um Übungen in „Chemie, Mineralogie, Botanik, Zoologie, Anthropologie und Geologie“ einzurichten. Als Vorbild gab man wiederum die fest installierten Übungen in Physik an! In diesem Fach entwickelt Hermann Hahn, Physiklehrer in Berlin neue Vorgehensweisen, auch aufgrund seiner umfassenden Kenntnis der amerikanischen Fachliteratur. Es wurden das „verwebende Verfahren“ (die praktische Arbeit der Schüler wird vollständig in den Theorieunterricht integriert, auch räumlich) und der „allseitige Angriff“ (eine Hauptaufgabe wird in Teilaufgaben zerlegt, die von einzelnen Schülergruppen gleichzeitig bearbeitet werden) propagiert. Dannemann übernimmt diese Zielsetzungen für den Chemieunterricht und spricht von der „praktisch-heuristischen Methode“ (1907), mit der die Wissenschaftspropädeutik in den Vordergrund gestellt werden sollte.

Neben den fachlichen Zielen wollte man den Schülerübungen auch erzieherische Aufgaben abverlangen. So sollten Vertrauen, Disziplin, Ordnungsliebe, Reinlichkeit, Gründlichkeit, Gewissenhaftigkeit, Entschlussfähigkeit, Sorgfalt, Fleiß, Geduld²⁷⁵, Bescheidenheit und Wahrhaftigkeit in ihrer Ausbildung unterstützt werden, wenn in Gruppen experimentiert würde. Erstmals taucht auch der Begriff vom „spezifischen Bildungswert“ des Faches auf. Er bezog sich primär auf ein Verständnis der Umwelt sowie auf den Beitrag zur Kultur ganz allgemein (Prölß, 1912).

Nach den Kriegen beginnen sich die Entwicklungen atavistisch zu wiederholen. Mit dem heutigen gesamtdeutschen LehrerInnenmangel in den sogenannten MINT-Fächern werden erneut zunächst alle praktischen Unterrichtsanteile zugunsten der prüfungsrelevanten Theorie der Fächer zurückgedrängt, fallen also als erstes aus. Es kann immer noch nicht wirklich davon gesprochen werden, dass mit dem traditionellen Chemieunterricht eine „Einführung in das Arbeiten und Denken eines Chemikers“ geleistet werden würde.

Die Beliebigkeit in der Variation von Theorie- und Praxisanteilen im Unterrichten von chemischen Inhalten innerhalb und außerhalb der Schule beruht auch darauf, dass die spezifischen Zielsetzungen dieser beiden methodischen Blöcke zu wenig deutlich unterschieden werden, etwa in Form eines „Theore- und eines Praxisfelds“. Dies sollte überwunden werden; denn erst dann wird es möglich sein, nicht nur das Erreichen solcher Ziele zu überprüfen, sondern auch die Nachteile beim Nichterreichen deutlicher aufzuzeigen.

²⁷⁵ Geduld, verstanden als „ein tatkräftiges Hinarbeiten auf etwas“ (Roos, 2020, S. 66)

B 3 Die Bedeutung von Frühbeginn mit Chemie

In der aktuellen schulpolitischen Diskussion zeigt sich deutlicher als bisher, dass die Bildungslaufbahnen der Kinder zunehmend relativiert werden. Sowohl das Alter, mit dem Kleinkinder in die Kinderkrippe gegeben werden können oder sollen, als auch der Zeitpunkt der Einschulung sowie des Übertritts in weiterführende Schulen, genauso wie der Berufsbeginn bzw. die erneute Aufnahme einer Schulbildung nach beruflicher Erfahrung sind keine absoluten Fixpunkte mehr, sondern stehen in der Diskussion. Die Individualisierung der Bildungsgänge nimmt deutlich zu und die Einzelberatungen werden wichtiger. Familienstrukturen brechen auf und die Eltern erhalten mehr Entscheidungsfreiheiten. Moderne Schulsysteme bieten vielfältigere Möglichkeiten des institutionalisierten Lernens an. Kindergärten, Kindertagesstätten und die Ganztageseschulen weiten ihre Angebote aus und schaffen eine zum Teil verwirrende Fülle an zusätzlichen Bildungsangeboten. Damit soll gut begründbaren bildungspolitischen Forderungen entsprochen werden („Neusser Thesen 2002“; Korczak, 2003). Zugleich will man die Eltern nicht nur mitentscheiden lassen, man will sie auch zur direkten Mitwirkung animieren. Elternbeiräte sind längst keine reinen Spendenverwalter, sondern bedeutsame Mitglieder einer aktiven Bildungsgemeinschaft: „Ganztageseschule ist kein `Eltern-Entlastungs-Programm´ (Podszun, 2003)²⁷⁶.

In diese Entwicklung fügen sich Bestrebungen ein, auch die Vielfalt in geordnete Bahnen lenken zu können. Für die Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten aus der Chemie im vorschulischen und außerschulischen Bereich gelten dabei besondere Bedingungen; es bieten sich aber auch besondere Chancen durch eine früh beginnende und sukzessive Anspruchssteigerung. Dies wird in der Stellungnahme der GDCh-Fachgruppe Chemieunterricht zur „Stärkung des Chemieunterrichts in den Schulklassen 5 und 6“ von 2017 besonders deutlich argumentiert. Dabei wird im Zuge der ersten Kontakte mit den Inhalten der Wissenschaft intensiv mit dem Kind gearbeitet, es wird angeleitet und mit einfachen Zusammenhängen praktisch wie theoretisch in Berührung gebracht. Die phänomenbasierten Primärerfahrungen stehen im Vordergrund. Die Auswahl der Themen richtet sich nach der Fragehaltung des Kindes. Zunehmend werden aufeinander aufbauende Sachverhalte thematisiert, geordnet und genauer in Augenschein genommen. Sprachliche Ungenauigkeiten werden ausgeschärft und erste Kontakte mit den fachlichen Spezialitäten erfolgen. Dabei nimmt die Eigenleistung, die Erfüllung der Holpflicht sukzessive zu. Die Eigenständigkeit im Lernprozess wird gefördert durch entsprechende Lernumgebungen und Aufgabenstellungen (Stäudel, 2007; Kleinknecht et al., 2013). Dieser Prozess nimmt über die Jahrgangsstufen hinweg an Geschwindigkeit zu und es können höhere Ansprüche erfüllt werden. Letztes Ziel ist die völlig eigeninitiierte Erarbeitung aktueller Frage- und Problemstellungen mit Recherche und Präsentation.

Im Schema (Abb. B10) würde dies bedeuten, dass die anfangs aufwändige didaktische Arbeit des Lehrers zurückgeht (langer roter, nach rechts gerichteter Pfeil wird kürzer) und zwar zugunsten der mathetischen LernerInnenleistung, welche das entsprechende Lernangebot zunehmend eigenverantwortlich nutzt (kurzer grüner, nach links gezeichneter Pfeil wird länger). Wann die Lernarbeit beginnt und wann die Lehrarbeit endet, ist nicht definierbar. Nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse kann

²⁷⁶ Sigmar Gabriel, bis 2017 Vorsitzende der SPD sprach in einem Interview, das am 30.8.2010 in der ARD-Tagesschau gesendet wurde, von der Notwendigkeit, den Kindergarten zum „Familienbildungszentrum“ auszubauen.

man davon ausgehen, dass der Lernprozess mit der Embryonalphase einsetzt (Roth, 2012) und erst mit dem Tod eines Menschen endet.

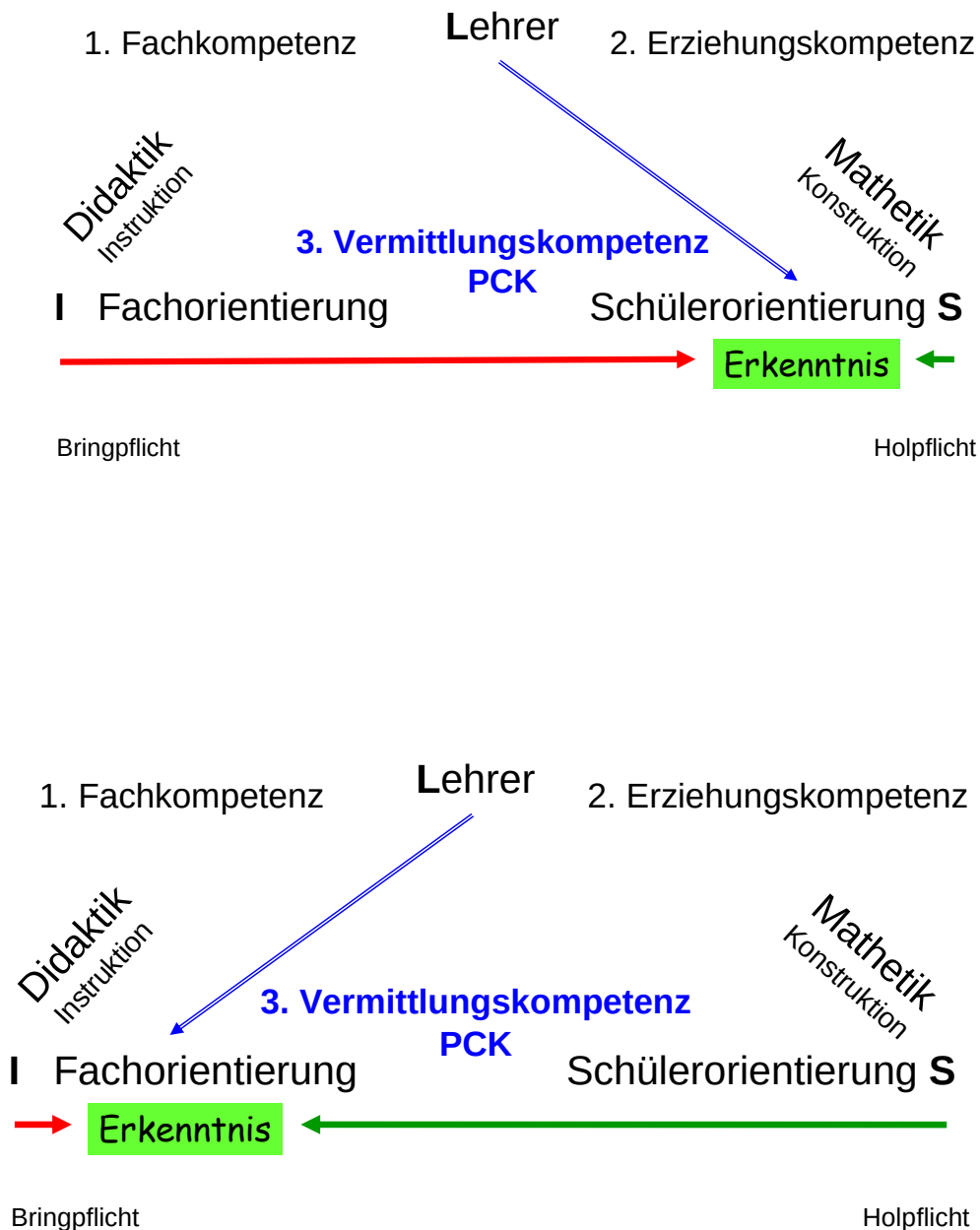
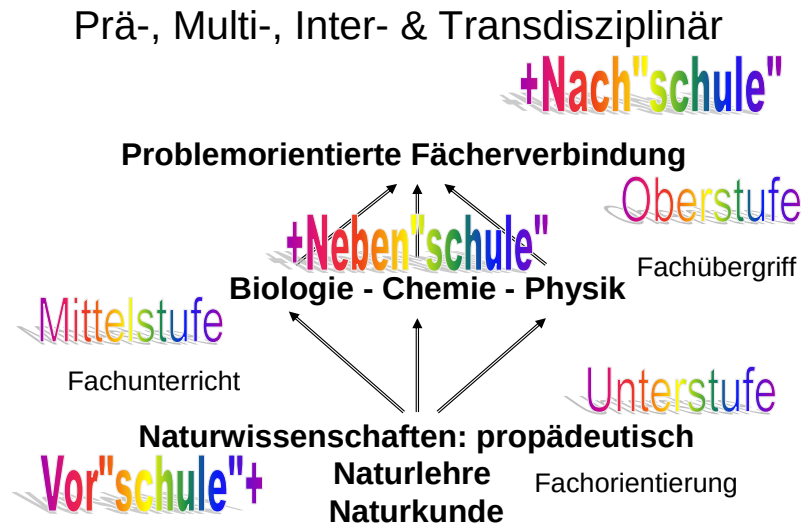


Abb. B10: Wechsel in der Intensität der didaktischen und mathetischen Betreuung der Schüler in Abhängigkeit von ihrer Fähigkeit zu eigenständiger Inhaltsbearbeitung. Je stringenter und faktenreicher der Lehrgang aufgebaut ist und je unsicherer und unselbständiger der Schüler ist, desto eher eignet sich die vornehmlich didaktisch orientierte lehrerzentrierte und am Schüler ausgerichtete Instruktion. Es dominiert dann die Erziehungsleistung, über die die Assimilation (Aebli, 1976) erleichtert werden kann (oben). Mit zunehmender Lernautonomie und routinisierten Fertigkeiten im Umgang mit Arbeitsaufträgen führen offenere Lehrernformen zum Erfolg. Damit verschiebt sich das Gleichgewicht mehr zur mathetischen Lerner-Aktivität der Akkommodation, in der die Erkenntnisschemata erweitert und spezifiziert werden.

Somit sind für die gewünschten Bildungseffekte inner- und außerschulische, vor- und nachschulische Lernangebote von Bedeutung und müssen –auch aus Rentabilitätsgründen- möglichst koordiniert zur Wirkung gebracht werden (Abb.B11).



Chemie in den Schularten

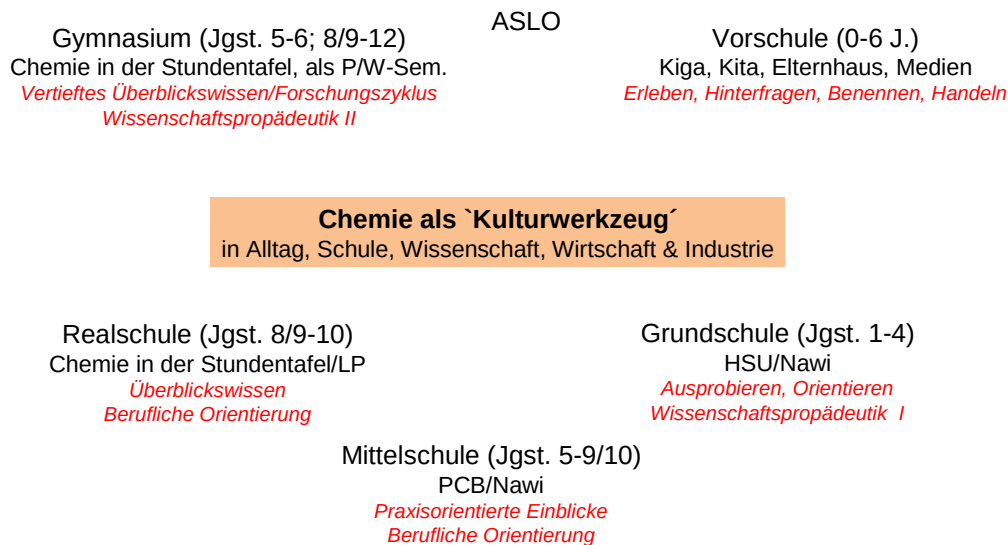


Abb. B11: Ausgehend von der familiären „Vorschule“ erfolgt über den Kindergarten und die Grundschule ein zunehmend geordnetes Arbeiten an natürlichen Phänomenen mit den ersten Erklärungen (vordisziplinär). Im Mittelstufenbereich, in dem die Fächer als solche deutlich in Erscheinung treten (multidisziplinär), wird auch außerschulisches Lernangebot integriert (interdisziplinär). Gegen Ende der Schulzeit, fallweise mit Blick auf Beruf und Studium, können die Fachinhalte zunehmend besser kombiniert und alltagsrelevant (transdisziplinär) eingesetzt werden (Anton, 2013b). Unten eine Übersicht zu den Positionen, die das Fach Chemie in den Schularten einnimmt.

Im Zuge einer frühzeitig beginnenden Beschäftigung mit kindgerechten Phänomenbeobachtungen und –untersuchungen fällt durchgängig auf, dass Kinder, etwa im Vorschulalter von fünf Jahren keinerlei extrinsische Motivationsimpulse benötigen um sich mit Stoffänderungen, also mit chemischen Erscheinungen aktiv auseinanderzusetzen. Die mittlerweile zahlreichen und über Jahre hinweg laufenden Experimentiertage an Kindergärten und Grundschulen zeigen stets dasselbe freudvolle Erleben selbst durchgeführter chemischer Reaktionen. Vergleichbares gilt auch für die Kontaktierung mit physikalischen und auch mit biologischen Prozessen. Die Chemie erfordert jedoch immer eine wesentlich intensivere Betreuung, weshalb sie in den international verbreiteten „Science-Centres“, die bevorzugt von Kindern und Jugendlichen besucht werden, immer nur ausschnittsweise vertreten ist.

Im fortgeschrittenen Alter, hinein in die Pubertät verliert sich diese `automatische Begeisterung`. Dies wird meist beklagt und häufig unreflektiert fatalistisch hingenommen. Ursache ist sicher eine natürliche Ausweitung des Interessenspektrums, welche auch durch die zunehmenden Erfahrungen und das Aufmerksamwerden auf die eigenen Talente verursacht wird. Nach neueren Untersuchungen (v. Maltzahn, 2014) muss jedoch auch in der Art und Weise, wie solche Entwicklungssprünge (Transitionen, Lebensbrüche; Weinert, 1989), etwa von der Grundschule in eine weiterführende Schule, gestaltet werden, ein wesentlicher Grund für einen Interessenverlust, gerade in den Naturwissenschaften und insbesondere im Bereich chemischer Lerninhalte gesehen werden.

So werden Interessenabnahme und enttäuschte Erwartungen begründet mit den eingesetzten Arbeitsformen und einem mangelnden Kompetenzerleben bei Mädchen (S. 218). Hierzu wird u.a. angeführt, dass die erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten in der weiterführenden Schule nicht aufgegriffen und weiterentwickelt werden, dass sich viele Inhalte wiederholen und dass die Eigentätigkeit weit hinter den gewohnten Erfahrungen zurückbleibt. Da Lehrkräfte aus weiterführenden Schulen Kinder aus mehreren Grundschulen ihres Sprengels zu unterrichten haben, ist es deshalb noch wichtiger, sich sehr ausführlich, um die konkreten Vorerfahrungen und bereits erworbenen Kompetenzen der Kinder zu informieren und diese in das eigene Unterrichtsgeschehen zu importieren. Gepflegte Kontakte zwischen den betroffenen Schulen im Sinne gegenseitiger Besuche, eines gemeinsamen „Lehrer*innenstammtisches“ u.ä. mildern diesen Aufwand und zeigen, dass das Kind per se im Vordergrund steht (Wiater, 1999) und nicht etwa ein Fachlehrplan. Erst nach solchen Orientierungsphasen werden neue und meist nachhaltigere Entscheidungen getroffen. Das ist auch die Zeit der Fächerwahl in der Schule und der Zielsetzung hinsichtlich des Schulabschlusses.

In den meisten Bundesländern werden hier aufgrund der Stundentafeln auch die Entscheidungen für oder gegen das Fach Chemie in der Mittelstufe der weiterführenden Schularten gefordert. Dabei ließe sich die Hypothese verfolgen, wonach dieses Fach, konnotiert als schwierig, unverständlich, abstrakt und letztlich unwichtig, mit größerer Wahrscheinlichkeit nicht gewählt wird, wenn sich die Wahl nicht auf positive Erinnerungen aus der Kindheitsphase rückbeziehen lässt. Oder anders formuliert: Das Wahlverhalten kann dann `prochemisch` gestaltet werden, wenn bereits gute Erlebnisse mit Chemie zugrunde liegen. Hiervon ist letztlich auch die Unterscheidung zwischen Lieblings- und Hauptfächern betroffen, bei der die faktische Aufwertung der sogenannten Kernfächer mit einer Abwertung von etwa Nichtvorrückungsfächern (oft abschätzig als „Lernfächer“ bezeichnet) verbunden ist (Pütz et al., 2016).

Diese Zusammenhänge lassen sich sehr überzeugend verbinden mit der Theorie der Affektlogik nach Ciompi (1993). Sie besagt, dass Gefühle, Affekte und Kognitionen stets gekoppelt abgespeichert werden. Geschieht ein Lernvorgang unter positiv erlebten

Rahmenbedingungen, so wird das Gelernte auch leichter erinnert. Es lässt sich nämlich zeigen, dass die Abspeicherung kognitiver Gedächtnisinhalte im positiv emotionalen Kontext im Hippocampus erfolgt, im negativen Kontext in der Amygdala, dem Mandelkern, der für die Ausbildung von Angst verantwortlich ist (Spitzer, 2002; S. 166). Affekte haben somit eine organisierende, also ordnende und wieder auffindende Funktion (Vgl. auch Kraft, 2010).

Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass frühe und begeisternde Kontakte mit chemischen Phänomenen auf der Handlungsebene ein späteres Interesse an der Weiterführung und Vertiefung chemischer Inhalte begünstigen können (Vgl. hierzu auch: Ziegler et al., 2000, Dabrowski & Anton, 2022).

B 3.1 Chemie in der Vor-, Primar- und Sekundarschulphase

Ein möglichst früher Start in die „Frühkindliche Bildung“ (Fthenakis, 2016) ist heute zu favorisieren. Das belegen nicht nur Untersuchungen von Lück (2000, 2003, 2006) und von Jaklin-Farcher (2009). Eigene Forschungen können dies für ausgewählte Gruppierungen erneut und nachdrücklich unterstreichen (Marx & Anton, 2010; Wagner & Anton, 2010). Wenn bei einer zeitlich offenen, gut strukturierten und betreuenden Vorgehensweise auch auf Kindergarten-, dann auf Grundschulebene so experimentiert werden kann, dass auch die kindgerechten Fragen und Interpretationen deutliche Beachtung finden, etwa beim Konzipieren und Protokollieren (Derflinger; 2010; Gerrer, 2014), verlieren sich diese Tätigkeiten nicht im Beschäftigungstherapeutischen.

Es zeigt sich immer deutlicher, dass schon im Kleinkind- und Kindesalter im Zuge einer „propädeutischen Chemie“²⁷⁷ überraschend hohe Anspruchsniveaus betreten werden können, wenn die Umgebung interessenfördernd und –leitend engagiert ist (Sodian et al., 2006; Giest & Wiesemann, 2008; Ansari, 2009; Schneider, 2009) (Abb. B12). Natürlich lassen sich auch Grenzen im Hinblick auf Interesse, Konzentrationsfähigkeit etc. erkennen, die von den Kindern selbst deutlich signalisiert werden (Isola, 2009). Zugleich zeigt sich, dass ungewohnte Umgebungen (Spielbus, „Kleine Chemiekiste“ etc.) wiederum neue Interessenschübe verursachen (Winkler, 2004; Hummel, 2006; Kantsperger & Schröder, 2006; Rentzsch & Grois, 2010).



Abb. B12: Schlagzeile der Süddeutschen Zeitung vom 4.7.2014

Die Reflexion vieler Praxisphasen mit Kindern und Jugendlichen aller Jahrgangsstufen und ganz besonders im Anfängerbereich hat gezeigt, dass die im Praxisfeld eingesetzten Versuche und Experimente mit dem Ziel des Erlebens von Stoffumwandlungen eine Reihe von Kriterien erfüllen sollten, über deren Einhaltung eine erhöhte Akzeptanz und Motivation für Chemie zur Auseinandersetzung erzeugt werden kann (Abb. B13).

²⁷⁷ Aktuelle Bezeichnung für die neuen Zielsetzungen des Unterrichts im Fach „Natur und Technik“ an bayerischen Gymnasien (Kontaktbrief 2010 des Instituts für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB): <http://www.isb.bayern.de/isb/index.asp?MNav=6&QNav=12&TNav=1&INav=0&Pub=562>

Akzeptanzkriterien für attraktive SchülerInnenversuche

- Versuchsablauf schlicht, über alle Phasen & mit mehreren Sinnen wahrnehmbar, langsam (sicher & ungefährlich)
- Prozess rasch wiederholbar
- höchstmöglich selbstbestimmbar („Entzündbarkeit eigener Ideen“)
- Fokussierung auf EIN Phänomen („Isolation der Schwierigkeit“)
- Edukt-Produkt- & Ursache-Wirkung-Vergleich möglich
- Energetik klar erkennbar
- selbst durchführbar (eindeutige Versuchsanleitung) und selbst kontrollierbar (Fehlerkontrolle)
- Produkt verwendbar, mitnehmbar (Alltagsbezug)
- Systematisierbar („Exp. gehört zu ...“)

Abb. B13: Neun Bedingungen für Versuche, wenn Sie unabhängig vom Lehrplanthema das Interesse der Schüler besonders und nachhaltig fördern sollen.

Besonders wenn ein Experiment in allen seinen Abschnitten nachvollziehbar und darüber hinaus mit einem Produkt endet, bietet es Gesprächsanlässe, die wiederum die Reflexion erleichtern und neue Fragen aufwerfen können. Gleichzeitig fördern sie das Kompetenzerleben der Kinder (Höffler et al., 2014), insbesondere der Mädchen (v. Maltzahn, 2014)²⁷⁸. Diese Pionierleistungen entsprechen exakt den Anforderungen von Seiten der Bildungspolitik: „Bildung fängt in der Familie an“ (Ebmeier, 2002) und „Die Familie ist die erste Bildungsstätte der Kinder, gerade auch im Hinblick auf Daseinskompetenzen“ (Krappmann, 2002). Aktuelle Erfahrungen zeigen, dass ein Experimentieren mit Vorschulkindern in Kombination eines experimentellen Elternabends mit Vätern und Müttern den größtmöglichen Effekt zu erzielen vermag, da solche Kombinationen zwangsläufig zu vertiefenden und weiteren innerfamiliären Beschäftigungen mit Chemie führen. Sie generieren vitalisierbare Erinnerungen.

Dass eine kommentierende und vor allem beobachtende Begleitung bei chemischen Versuchen besonders zielführend ist, zeigten Untersuchungen in einer Montessorischule. Hier sollte es darum gehen, den Kindern Versuche anzubieten, die sie nach freiem Lernwillen weitgehend selbstständig, also ohne fortwährende Beaufsichtigung durchführen können. Dabei stießen wir deutlich an Grenzen, was sich darin zeigte, dass aus den gewünschten Chemieexperimenten eher Physikexperimente wurden. Diese lassen sich ganz einfach gefahrlos durchführen und unter Vermeidung von Aufräumarbeiten fast beliebig wiederholen. Dennoch bleibt die Herausforderung bestehen, da die interviewten Lehrer selbst sehr an der Chemie interessiert sind und sich insbesondere um „idiotensichere“ Anleitungen bemühen (Dax, 2008). In einem Büchlein von Gerald Craig aus dem Jahre 1949 mit dem Titel „Die Naturwissenschaft bei der Erziehung des Kindes“ (Amerikanischer Originaltitel: Science in Childhood Education)

²⁷⁸ Um solche Gespräche möglichst wahrscheinlich zu machen, bietet die Chemiedidaktik an der Universität Regensburg einen Chemiekurs für Eltern an, speziell von Kindergarten- und Grundschulkindern (Eltern lernen Chemie: ElCh). Analog hierzu bietet die Bochumer Chemiedidaktik das Projekt „KEMIE“ (Kinder Erleben Mit Ihren Eltern Chemie) an (Sommer et al., 2010)²⁷⁸, für das es den Polytechnik-Preis 2015 gab. Entsprechendes wird auch auf dem Gebiet der Physik angeboten: ASIP (Advanced Science by Informed Parents; Fieser, 2005)

wird die Rolle der Lehrkraft besonders hervorgehoben und es findet sich das folgende Zitat: „Die Lehrerinnen sollten mit großen Unterschieden im Interesse für die Naturwissenschaft rechnen. ... Aber durch eine sorgfältige Vorbereitung kann die Lehrerin das Kind, das nur Tiere liebt, zu dem Wunsche veranlassen, mehr über Elektrizität usw. zu erfahren. Die Lehrerin kann dem Kinde helfen, Interesse und Wissbegier für fast jeden naturwissenschaftlichen Gegenstand zu entwickeln, wenn er seiner Fähigkeit und Erfahrung richtig angepasst ist“ (S. 20). Und unter der Überschrift „Wie man zwischen Tatsache und Erdichtung unterscheiden lehrt“ findet sich: „Die Naturwissenschaft verlangt gründliches Durchdenken, Beachten der Merkmale, Bereitwilligkeit, weitere Schlüsse nachzuprüfen, die Verbindung von Beobachtung und Erfahrung und mehr Nachdruck auf Richtigkeit als auf Schnelligkeit und Oberflächlichkeit zu legen“ (S. 30).

Man weiß heute, dass Transitionen, also beispielsweise der Übergang von Kindergarten zur Grundschule und von dort zu den weiterführenden Schulen per se sowohl physiologisch als auch psychologisch sehr problembehaftet sein kann (Ball et al., 2006; Hünnerkopf et al., 2006). Gerade deshalb macht es großen Sinn, wenn in den Bereichen, in denen unmittelbare Erfolgserlebnisse (beobachtbare Stoffveränderungen aufgrund eigener Manipulation), schnell erlernbare Fertigkeiten (Handhabung einer Pipette, Nutzung eines Spatels und sinngemäße Nutzung von Reagenzgläsern) sowie klare Kategorisierungen (Saure vs. alkalische Lösungen mittels Indikatoren unterscheiden können) den Kindern auf der Basis großer Motivation helfend und leitend beigestanden wird. Dass es sich hierbei auch um die Aktivierung wichtiger Eigenschaften der Lehrkraft wie „professionelle Wahrnehmung“ (Meschede et al., 2015) handelt, sei an dieser Stelle ebenso hervorgehoben.

Mit den bisher gemachten Ausführungen ergibt sich erneut ein starkes Plädoyer für eine gewissenhafte und frühzeitige Kontaktierung des jungen Menschen nicht nur mit dem Phänomen, über das durchaus gestaunt werden soll, sondern auch mit der Art, wie man aus Phänomenen Erkenntnisse extrahiert (Oerter, 2001). So erreichen nach TIMSS 2007 in den Naturwissenschaften neben zwei Drittel der Schüler mit Kompetenzstufe drei und vier bereits 10 % die Stufe fünf! (Bos et al., 2008). Für die chemischen Inhalte des Grundschullehrplans (Bayern) im Fach „Heimat- und Sachkunde“ liegt seit 2006 ein erprobtes Gesamtkonzept vor (Bolzmacher et al.²⁷⁹). Darin zeigt sich auch, dass der Forschungszyklus auf behutsame Weise und in einfachster Form an sehr frühen Stellen eingeführt werden kann (Schrempp & Sodian, 1999; Emden et al., 2010; vgl. hierzu auch Gopnik et al., 2001 und Elschenbroich, 2005) und auch sollte. So zeigte sich in einer Untersuchung von Höffler et al. (2014), „dass das Fachinteresse an Naturwissenschaften zu Beginn der 5. Jahrgangsstufe ein signifikanter Prädiktor für das Selbstkonzept am 2. Messzeitpunkt [nach 1 Schuljahr] war“ (Manuskript für ZfDN, 5.6.2014). Lück und Pahl (2015) zeigen überdies, dass der Einsatz differenzierter Experimentierkonzepte (Beobachtung wiedergeben, Versuchsausgang erklären, präexperimentelle Hypothesen und Schlussfolgerungen finden) nicht nur der Förderung, sondern auch der Diagnose naturwissenschaftlicher Kompetenzen auf Kiga- und Grundschulniveau dienlich gemacht werden kann. In diesem Kontext wird auch deutlich, dass das sachunterrichtsbezogene Fähigkeitsselbstkonzept mit den erklommenen naturwissenschaftlichen Kompetenzstufen zunimmt. Erfolgreiches Lernen im HSU (Heimat- und Sachunterricht)

²⁷⁹ Die vier Autorinnen erhielten 2013 den Preis für Innovationen im Grundschulunterricht mit Schwerpunkt Chemie, welcher von der GDCh ausgelobt wird.

führt demnach zur Ausbildung eines positiven Selbstkonzepts und unterstützt somit die Resilienz²⁸⁰.

Im Zusammenhang mit einer strukturierten Herangehensweise an die systematische Untersuchung einzelner chemischer und physikalischer Phänomene berichtet Lohrmann (2010) von den dabei einzuhaltenden Bedingungen. Das Erkennen von Ähnlichkeiten und Unähnlichkeiten induktiv eingesetzter Phänomene, etwa zum Auffinden gemeinsamer Merkmale (Generalisierung) ist abhängig von Voraussetzungen wie Vorwissen, Deutlichkeit der (Un-)Ähnlichkeiten und vom Grad der aktiven Auseinandersetzung mit dem Phänomen. Sie können nicht nur bei Grundschulkindern keinesfalls von vorneherein erwartet werden. Dies gilt zunächst für Oberflächenstrukturen, die am Phänomen unmittelbar erkennbar sind und dann auch für Tiefenstrukturen, welche sich auf der submikroskopischen bzw. modellhaften Ebene manifestieren. Lohrmann leitet aus ihren Untersuchungen ab, dass den Kindern hierzu instruktionelle Hilfe angeboten werden muss („guided discovery“) und dass die Extraktion von Prinzipien durch die Herstellung von Beziehungen zwischen den Ähnlichkeiten multipler Konkretionen eines Phänomens („alignable differences“; Markman & Gentner, 1996) Voraussetzung ist für dieselbe Leistung auf der abstrakten Modellebene.

Aktuell hat sich das Projekt „NaWi-aktiv“ am IPN in Kiel u.a. die Aufgabe gestellt, bei SchülerInnen der Jahrgangsstufe fünf und sechs an Haupt-, Regional- und Gemeinschaftsschulen in Schleswig-Holstein an ausgewählten Inhalten „das Vergleichen und Erkennen von Strukturen“ (zu) fördern, um eine Basis für spätere fachsystematische Kategorisierungen (...) zu legen²⁸¹. In diesem Kontext stellt sich eine enge Beziehung heraus zum „induktiven Denken“ (Klauer, 2014), bei dem –im Gegensatz zum „induktiven Schließen“– „die Erfahrungsgrundlage nicht überschritten“ wird und welches „eine zentrale Komponente der Intelligenz darstellt“ (S.6).

In diesem Zusammenhang spielt das Protokollieren eine nicht zu unterschätzende Rolle. Bereits in der ersten Jahrgangsstufe der Grundschule kann zeichnerisch festgehalten werden, was man gemacht, was man gesehen hat und wie man das Erlebte deutet. In Abb. B14 sind solche Beispiele aus Praktika („Experimentiertage“) zu sehen. Diese Protokolle zeigen, dass die hierzu nötige Anleitung durch Mentoren (hier: LA-Studierende) zur Festigung von Handlungsschritten sowie von neuen Begriffen (Geräte- und Substanznamen) nachhaltig beitragen kann. Groß (2013) zeigt in ihrer Dissertation, dass neben dem Protokollieren des Experiments per se bei Kindern (Jgst. 5-10) auch noch die Person des Experimentators integriert werden kann, was die vollständige ‚Entfaltung‘ von so genannten „Chemie-Foto-Stories“ ermöglicht. Auf diesem Weg kann es der Lehrkraft gelingen, neben der Fachspezifität auch noch die Perspektive des kindlichen Erlebens in die Auswertung solcher Protokolle mit einzubeziehen. Das eigenhändige Zeichnen und Schreiben erhöht nicht nur die Kontaktzeit zwischen dem Gegenstand und seinem Nutzer, sondern mit dem Schreiben per se müssen „Kinder Hände nutzen, um ihre mentalen Fähigkeiten zu entwickeln“ (Ritzer, 2014).

²⁸⁰ In diesem Zusammenhang kann auch auf das MindMatters-Programm (www.mindmatters-schule.de) zugegriffen werden, mit dessen Hilfe es gelingen soll, die psychische Gesundheit guter Schulen zu sichern (Schwarz, 2002)

²⁸¹ www.nawi-aktiv.de (Vgl. auch Höffler et al., 2014)

ALP²⁸², 2007) und getestet. Dabei geht es beispielsweise um die Verwendung von, das Mitdenken erleichternden narrativen Elementen, mit denen chemische Sachverhalte so mit einer Geschichte eingekleidet werden, dass sowohl die Schrittfolge der experimentellen Problemlösung einsichtig wie auch die diesbezügliche Merkbarkeit erhöht werden können (Binder & Steinkirchner, 2011). In einer etwas früheren Arbeit (Zimmermann, 2008) mit 20 Kindern im Alter von 8-12 Jahren, die an einem außerschulischen Chemietag teilnehmen konnten, wurde ersichtlich, dass die narrative Form einen roten Faden entstehen lässt, der den Schülern über weite Strecken aus erzählerischer Beschreibung, Problemstellung, Unterbrechung mit Lösungsvorschlägen („interrupted story“, Metz et al., 2007), Experiment und erzählerische Weiterführung hinweg klare Orientierung gibt und die gefundene Antwort leicht auf die ursprünglich entworfene Frage und damit auf die ursprüngliche Vermutung (Hypothese) zurückführen lässt. „Zu Geschichten fühlen wir uns hingezogen, von abstrakten Tatsachen abgestoßen“ (Dobelli, 2011, S. 54-55). Dies zeigt sich auch bei der Vermittlung historischer Episoden der Chemiewissenschaft (Schneider, 2006). Stellvertretend sei hier auf die Erzählerarbeit zum „Archimedischen-Dilemma“ hingewiesen (Heering, 2016). Überdies konnte herausgearbeitet werden, dass die Verwendung des Erzählmodus (Kober, 2010) deutlich disziplinierend wirkt und die Aufmerksamkeit überdurchschnittlich lange fokussiert (bis zu sechs Stunden). Beides ließ auch einen überzufälligen Anstieg des Selbstkonzepts zu, nämlich um knapp 80% gegenüber der ursprünglichen Einschätzung. Der parallele Wissenstest konnte dies unterstreichen. Zimmermann konnte mit einem Prä-Post-Test auch zeigen, dass die Klischees vom Chemiker und von der Chemikerin und die vorurteilbehaftete Meinung zu dem, was Chemie ist, über eine derartige Vorgehensweise deutlich korrigiert werden können.

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse lassen die Aussage zu, dass die Einblicknahme in Prinzipien chemischer Forschung das Experiment eher als Wesensmerkmal einer auf Empirie gestützten Erkenntnisgewinnung erkennbar macht (Oltmanns, 1992) und eben nicht als Beschäftigungstherapie oder reine „Handwerkelei“ (F. E. Weinert, 1930-2001) im Labor. Abschließend soll noch eine neuere Sichtweise auf die Transition von Kiga zu GS eingenommen werden. Hier handelt es sich nicht nur um einen Wechsel der Lehrernumgebung, vielmehr muss es für die Lehrkräfte auch darum gehen, aus Kindern SchülerInnen zu machen wie auch am Schulzeitende aus den SchülerInnen Lehrlinge bzw. Studierende werden zu lassen. Diese Persönlichkeitswechsel verdienen in Zukunft weitaus deutlichere Beachtung als dies bisher vielleicht unschwellig schon erfolgt ist.

²⁸² ALP = Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung, Dillingen (Bayern) ist Herausgeberin zahlreicher Handreichungen. In der HR Nr. 440 „Experimentieranleitungen für das Fach Physik/Chemie/Biologie an der Hauptschule in den Jgst. 7 bis 10“ findet sich auf S. 15 ein Schema anspruchsvoller empirischer Vorgehensweise.

B 3.2 Chemie im engen Verbund von Schule und außerschulischen Lernangeboten (ASLA)

Die Einmündung eines propädeutischen Vorgehens bei der vor- und primarschulischen Behandlung chemisch-naturwissenschaftlicher Inhalte und Themenbereiche aus dem Alltag in den Fachunterricht der weiterführenden Schulen, vornehmlich Realschule und Gymnasium wirft neue Fragen auf. In den vergangenen zwei Jahrzehnten um die Jahrtausendwende erweiterte sich der Markt an nichtschulischen, informellen Lernorten und –gelegenheiten, vornehmlich im Bereich der Medien sehr deutlich. Mit der gleichzeitig ansteigenden Versiertheit in der Nutzung von Medien durch Kinder und Jugendliche musste sich auch die Schule diesem „Kontrastprogramm“ stellen (Koring, 2000). Mittlerweile sind die allgemeinen Bildungsangebote, insbesondere in den Naturwissenschaften mehrheitlich von so deutlicher Qualität, dass sich die Schule dieses Angebots bedienen sollte und das auch verstärkt tut (Trautwein & Wild, 2009), insbesondere in Naturwissenschaft und Technik: „Application of technology to educational processes can result in a new teaching/learning environment characterized by: ... breaking down classroom walls and integrating home, town and world ...“ (Lagowski, 1998; Hofstein, 2009; Streller, 2009).

Die so genannten außerschulischen Lernangebote (ASLA) sind an vielen Schulorten fester Bestandteil des Unterrichtsangebots. Dabei erfüllen Sie eine Bedingung für die umfassende Förderung der SchülerInnen: „Leistungsintelligenz ist keine statische, sondern eine auf die Erfahrungs- und Lernmöglichkeiten angewiesene dynamische Größe, bei deren Ausgestaltung die Lehrbereiche eine wichtige Funktion übernehmen können“ (Stamm, 2010). Mit der bundesweiten Initiative „Lernort Labor“ (Lela) im November 2009 bleiben die bisher geschaffenen Potenziale landesspezifisch erhalten und können systematisch ausgebaut werden. Zu den ASLO²⁸³s, wie sie im ehemaligen „Schullabor Bayern“ vertreten sind, zählten von Beginn an auch viele Universitäten, die meist durch die Einrichtung von SchülerInnenlaboren in den naturwissenschaftlichen Fakultäten frühzeitig Erfahrungen sammeln konnten.

Ein aktuelles Projekt, welches sich insbesondere auf die enge Anbindung von Lebenswelt und wissenschaftlicher Erklärleistung konzentriert, stellen beispielsweise das SchülerInnenlabor ELKE (Experimentieren – Lernen – Kompetenzen Erwerben) der Uni zu Köln (Groß und Schumacher, 2018) und mittlerweile auch das „Wiener Lehrlern-Labor (WiLLLa) der Uni Wien dar. Zudem gelten eine Reihe wichtiger Bedingungen für die sinnvolle und vor allem nachhaltige, rentable Nutzung solcher ASLOs (Puchinger & Anton, 2016; vgl. hierzu auch: <http://www.kisoc.de/de/>).

In solchem Zusammenhang begann man an der LMU München bereits seit 1996 besondere Angebote für SchülerInnen auszugestalten und zu evaluieren (Seiffert, 2008). Neben weiteren punktuellen Einzelerfahrungen mit Experimentiertagen für einzelne SchülerInnengruppen wurden konkrete außerschulische Angebote für Schüler der Mittel- und Oberstufe in Zusammenarbeit mit chemischen bzw. chemisch-technischen Betrieben konzipiert, vor Ort ausgetestet und evaluiert (Geller, 2006; Khoshmaram, 2007; Forster, 2008; Langer, 2008).

Solches gilt auch für die Erstellung und Testung von speziellen Materialien außerschulischer Lehr-Lern-Partner: Schulversuchskoffer der WACKER-Chemie AG (Gymnasium: Moll, 2010; Realschule: Häußler, 2010) und Materialien zur Vor- und Nachbereitung eines Museumsbesuchs (Hohenester, 2010).

²⁸³ Aus den „Orten“ wurden in einer allgemeineren Formulierung „Angebote“

Eine Besonderheit stellt ein Projekt „EMotion“ dar, welches auf mehrere Jahre ausgelegt ist und sowohl die Chemiedidaktik (LMU) als auch ein Gymnasium und eine Realschule zusammenband (Vetrovsky & Anton, 2008). Mit „EMotion“ wird die Idee beschrieben, durch die außerschulische Ergänzung des Unterrichts im weniger beliebten Fach Chemie anhand von attraktiven Erlebnissen, die eher den beliebten Fächern (Biologie, Sport) entspringen, Fragehaltungen zu induzieren, die dann mit chemischen Inhalten und Methoden inhaltlich *und* motivational beantwortbar werden (Sperl, 2008; Becher, 2008). Dieser „Motivationstransfer“ wurde mit Schülern der Unterstufe begonnen und über mehrere Schuljahre weitergeführt. Dabei zeigte sich, dass diese Kombination zwar nicht zu einer signifikanten Leistungssteigerung der einzelnen SchülerInnen führt, wohl aber zu einem überzufälligen Interessenerhalt und einem schnelleren Problemerkennen im Verlauf der Mittelstufe (Härtter, 2010). Dies kann fast als noch erfreulicher gewertet werden, wenn man die Bedenken gegenüber dem Interessenmangel bei hochkompetenten SchülerInnen aus der PISA 2006-Studie berücksichtigt (Prenzel et al., 2008).

Auf eine interessante Auswirkung von „outdoor science teaching“ auf `wenig motivierte Schüler´ weisen Dettweiler et al. (2015) hin: „Our data suggest that lower self-regulated pupils in `normal` science classes show a significantly higher self-regulated learning motivational behaviour in the outdoor educational setting (...), and that the outdoor teaching has generally been perceived as more practical than teaching at the normal school context (...), irrespective of gender or school culture“ (S. 1). In dieselbe Richtung wirken sich wohl auch die Maßnahmen aus, mit denen es gelingt, dass von didaktisch versierter Seite ein „Science Camp“ in einer Schule aufgeschlagen wird (Tirre et al., 2015). So wird berichtet, wie das IPN ein mehrtägiges Sommercamp organisiert, in dem die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit erhalten, zur Nanochemie eigene Forschungsfragen zu entwickeln und diese sukzessive mit Hilfe von Lehramtsstudierenden und Fachleuten empirisch zu bearbeiten. Dabei gelingt es nicht nur, fachliche Innovationen in SchülerInnennähe zu bringen, sondern auch Grenzen des Kompetenzbereichs „Erkenntnisgewinnung“ der NBS mit Blick auf „Nature of Science“ (NOS) in die Betrachtungen miteinzubeziehen.

Mittlerweile sind die Ansprüche an die Integration und an die Kontinuität eines Zusammenwirkens zwischen Universität und Schule deutlich angestiegen²⁸⁴. Eine Konsequenz ist die Einrichtung so genannter „Kooperationspartner“. Davon sind in München aktuell nicht nur zwei Grundschulen, zwei Realschulen und drei Gymnasien betroffen, sondern auch ein Kindergarten. Ziel dieses Unterfangens ist es, den SchülerInnen direkte Zugänge zu den Naturwissenschaften, vorrangig der Chemie zu eröffnen (SchülerInnen experimentieren an der Universität, Studierende der Lehramter experimentieren mit SchülerInnen in der Schule; Derflinger, 2010). Die Schule eröffnet im Rahmen einer win-win-Situation den Studierenden die Möglichkeit, methodische Varianten vor Ort auszuprobieren und zu evaluieren. Zugleich erhalten die LehrerInnen dieser Bildungsstätten bevorzugt bedarfsorientiert Fortbildungsmöglichkeiten, so genannte SchiLFs (schulinterne LehrerInnenfortbildung).

In diesem Kontext sei auch auf ein Projekt der Chemiedidaktik an der Uni Bielefeld verwiesen, welches sich um die Interessenentwicklung gegenüber der experimentellen Chemie von Kindern und Jugendlichen kümmert. Das Projekt „Experimentier´ nach 4“ richtet sich an Jugendliche, welche die Einrichtungen der „Offenen Kinder- und Jugendarbeit“ (OKJA) aufsuchen, um dort Freizeitgestaltung zu erleben. Dieses Erleben

²⁸⁴ Im Rahmen des britischen SALTERS-Projekt (Salters Advanced Chemistry website www.york.ac.uk/org/seg/salters/chemistry) wurden durch Videoanalyse 12 Varianten außerschulischer Erfahrungsquellen extrahiert (Mayoh & Knutton, 1997, zit. nach Sennebogen, 2012; S. 27; Anton, 2010a)

wird von Mitarbeitern der Einrichtung aber vor allem von Vertretern der Chemiedidaktik durch die Bereitstellung von Experimentiergelegenheiten über eine Sequenz von 10 Terminen detailliert gestaltet. Dabei zeigt sich, dass zwar die kognitive Resonanz weniger bedient werden kann, jedoch die affektive Zuwendung zum handlungsorientierten naturwissenschaftlichen Arbeiten außer Frage steht (Lück & Wehmeier, 2015). Es kann vermutet werden, dass genau diese Reihenfolge einer Auseinandersetzung mit Chemie positive Konsequenzen beinhaltet.

Mit einer so genannten „schulartübergreifenden LehrerInnenfortbildung“ wird ein weiteres Ziel verfolgt. Es hat sich im Rahmen der üblichen LehrerInnenfortbildungen immer wieder in unterschiedlicher Brisanz herausgestellt, dass gerade in den Grund- und Haupt- bzw. Mittelschulen die fachliche Kompetenz der Lehrkräfte als limitierender Faktor für die Begeisterung wirksam ist, mit der die fachlichen Inhalte vorbereitet, unterrichtet und geprüft werden. Über die Zusammenführung aller Lehrer der Schulen eines Sprengels lässt sich dieses Problem einer Lösung näherbringen. Die Erfahrungen haben hier gezeigt, dass es bei den Teilnehmern nicht Kompetenzüberschüsse und Kompetenzmängel gibt, sondern vielmehr unterschiedliche Fokussierungen auf eher fachliche bzw. eher pädagogisch-psychologische Qualitäten. Hier gilt es auszugleichen. Das funktioniert wiederum dann, wenn alle Lehrergruppierungen einen gemeinsamen Ansprech- und Kooperationspartner an ihrer Seite wissen. Für dieses „Abflachen“ von Transitionen (Weinert, 1986) der Lehrqualifikation ist die Vermittlungswissenschaft des Faches geradezu prädestiniert.

Gerade diese direkte Bindung zwischen Schule und ASLO unterstreicht das Kontinuum nicht nur in der Nutzung vielfältigerer Bildungsangebote durch die Schule, sondern es macht die Allgegenwart der Chemie und der Naturwissenschaften jenseits der rein fachlichen Präsenz einer Stundentafel für die Kinder und Schüler jeglicher Altersgruppe fortgesetzt erfahrbar, d.h. durch sie wird die Lernzeit verlängert (Anton, 2011). Auch sorgt diese Maßnahme langfristig dafür, dass von Schulbeginn an (Isola, 2009) bis hinein in die Oberstufe, besonders wenn es sich um innovative und transdisziplinäre Fragestellungen handelt (Marks et al., 2007, 2010; Marks & Eilks, 2009), auch in den Familien der SchülerInnen der Gesprächsanlass „Chemie“ nicht versiegt (Sommer et al., 2010). Die Beziehungen zwischen Schule, Wirtschaft und Wissenschaft werden weiterhin intensiviert (Weßnigk & Euler, 2014). Hierbei geht es sowohl um die Nachwuchsförderung im MINT-Bereich als auch um die verstärkten Praxisbezüge des Chemieunterrichts und damit verbunden um eine realistische Sicht auf Chemie in all ihren Erscheinungsformen (Pietsch & Barke, 2014):

Wirtschaft: Wie können wir helfen? Über welche Wege kann Schule erreicht werden? Was eignet sich aus unserer Produktpalette für den Unterricht? Welche eigenen Ziele können über Schulkontakte grundsätzlich erreicht werden?

Schule: Was brauchen die Lehrer? Welche Ansprüche kann die Schule an die ASLOs stellen?

Universität: Wie können die Fachdidaktiken in diese Beziehungen integriert werden?

Unter dem Motto „Lehrmaterialien aus der Wirtschaft – Praxisplus für den naturwissenschaftlichen Unterricht“ veranstaltete tecnopedia im Auftrag der DIHK am 21.1.2014 eine Fachtagung in Berlin. Grundsatzreferate und sechs Arbeitsgruppen setzten sich mit den Bedingungen auseinander, welche für das produktive Zusammenwirken von Schule und Wirtschaft zu erfüllen sind. Die sehr realistische Überschrift einer Podiumsdiskussion „Unternehmer sind keine Didaktiker – Lehrkräfte sind keine Unternehmer“ - Ist eine Zusammenarbeit von Schulen, Didaktikern und

Lehrmaterialentwicklern mit Experten aus der Unternehmenspraxis denkbar?“²⁸⁵ kann mit der sehr erfolgreichen Entwicklung eines Schulversuchskoffers der WACKER-CHEMIE AG für Gymnasien, Realschulen und nun auch für Mittelschulen bereits beispielhaft entsprochen werden (Tausch & Anton, 2015; Kröger et al., 2017).

Im Rahmen dieser Kontakte zwischen Schule, Wirtschaft und Forschung tritt eine Leistung immer mehr in den Vordergrund, und zwar die der Wissenschaftskommunikation. Dabei handelt es sich laut einer Definition von Burns et al. (2003) um „die Nutzung angemessener Fähigkeiten, Medien, Aktivitäten und (Zwie-) Gespräche, um einen oder mehrere der folgenden persönlichen Reaktionen zu erzielen: Awareness (Bewusstsein), Enjoyment (Vergnügen), Interest (Interesse), Opinion-forming (Meinungsbildung) und Understanding (Verständnis)“ (zit. aus Tirre et al., 2015, S. 180). Im „Bezugssystem des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns“ (Wildt, 2009) spricht man von „interner Wissenschaftskommunikation“ (Hagenoff et al., 2007); die „externe Wissenschaftskommunikation“ bedient das „Bezugssystem des individuellen Lerngewinns“ (Begriffe zitiert aus Tirre et al., 2015, S. 181, 183).

Die Institution „Deutsche Akademie für Technikwissenschaften“ („acatec“) hat sich zum Ziel gesetzt, wissenschaftliche Erkenntnisse, insbesondere solche, die in der Öffentlichkeit zu kontroversen Reaktionen führen, besonders unter die Lupe zu nehmen und für den aufgeklärten Laien verstehbar darzustellen. Dies gilt etwa für die Nanotechnologie²⁸⁶ wie auch für die damit eng verbundene Nanobiotechnologie („Nano2Bio“ und „Bio2Nano“). Hier gelingt es auch, die sogenannten ELSI-Fragen („ethical, legal and social implications“) einer differenzierten Betrachtung zu unterziehen (Heckl & Weitze, 2012; Remenyi et al., 2017)²⁸⁷.

Das folgende Zitat stammt aus einem Artikel von dem Wissenschaftsjournalisten Chris Mooney, (2010; zit. aus v. Campenhausen, 2014, S. 2). „Ein wissenschaftlich besser informiertes Publikum ist nicht unbedingt ein Publikum, das für die Wissenschaft Partei ergreift. Vielleicht brauchen wir stattdessen eine Öffentlichkeit, die mit Wissenschaftlern vertrauter ist, sich wohler mit ihnen fühlt und ihnen vertraut*. Eine, die regelmäßig von der Scientific Community eingebunden [ist], wenn es um potentiell kontroverse Themen geht und vor allem, eine die eingebunden ist, bevor wirklich aufreibende Konflikte überhaupt entstehen können“. Es beschreibt prägnant und eindrucksvoll, dass zum wissenschaftlichen Dialog zwei aufeinander zugehende Partner gehören, also die didaktische Verständniserleichterung von beiden Partnern, von der Fachwissenschaft und von etwa der Schule geleistet werden muss. Denn, nach dem Philosophen Gadamer soll gelten: „Ein Gespräch setzt voraus, dass der andere recht haben könnte“ (zit. aus: van Gehlen, 2018, S. 131) und: „Vertrauensverluste lassen sich nicht durch Information ausgleichen“; (Renn, zit. aus Weitze, 2012).

²⁸⁵ <http://www.tecnopedia.de/fachtagung2014/>

Hierzu gibt es eine umfangreiche Dokumentation mit „Best Practice“-Beispielen

²⁸⁶ Hierzu existieren eine Vielzahl von schulrelevanten Experimentiersets, Veranschaulichungen und Medien wie „Nanobox“ des FCI; „NanoSchoolBox“, „LearningNANO“, „nanoTRUCK“ und „nanospots“ (Vgl. auch: Schwarzer, S., Liedtke, P. & Adelung, R. (2017). Untouchable: Erstaunliches auf der Oberfläche - Benetzbarkeit von unpolaren, mikro- und nanostrukturierten sowie heißen Oberflächen im Chemie- und Physikunterricht untersuchen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 70(5), 327-334.

²⁸⁷ Das Deutsche Museum München (DMM) veranstaltet zusammen mit der TUM-School of Education (seit 2009) (jetzt: Department of Educational Sciences) nunmehr regelmäßig Seminare unter dem Motto „**Wissenschaftskommunikation in Theorie und Praxis**“ zur Auseinandersetzung mit der Verbreitung wissenschaftlicher Erkenntnisse aus Technik und Naturwissenschaften:

WiSe1415: Fallbeispiele aus der Chemie; WiSe1516: Schule als Ort der Wissenschaftskommunikation (*In beiden Veranstaltungsreihen konnte auch der Autor grundsätzliche Vortragsbeiträge leisten*)

B 3.3 Chemie als Beruf

Die enge und vielschichtige Vernetzung von Privatleben, Arbeitsleben, Neigungen, Qualifikationen, Ehrenamt, persönlicher Entfaltung und Weiterbildung einerseits und die damit einhergehenden zeitlichen Flexibilitäten bringen es seit den vergangenen 40 Jahren mit sich, dass die Berufswahl nicht mehr die Antwort ist auf die Frage „Was möchtest du werden?“ Diese lautet heute vielmehr „Wie möchtest du später leben?“ (Herdegen, 1999, S. 10). In dieser Fragestellung spiegelt sich die neue Relativität von Persönlichkeitsentwicklung, Erwerbstätigkeit, Familienbild und gesellschaftlichem Engagement wider. „Die Jugend als Symbol der Zukunft ist in einer Zeit, in der Arbeit massenhaft freigesetzt wird, vom gesellschaftlichen Hoffnungsträger zu einer sozialen Risikogruppe geworden“ (Bodenmeier, 1999, S. 37). Den damit einhergehenden Bedürfnissen und notwendigen Vorbereitungen, muss sich auch die Schule widmen. Mittelschule, Realschule bzw. Sekundarschulen stellen sich diesen Anforderungen traditionell, indem sie berufswahlvorbereitende Fächer wie etwa „Arbeitslehre“ anbieten, Berufspraktika verlangen und im Bereich Berufsberatung mit den Arbeitsagenturen zusammenarbeiten (Dibbern, 1983). Auch die Gymnasien müssen sich mit Studiumsalternativen auseinandersetzen und deren ausführliche Beschreibungen frühzeitig, etwa im Chemieunterricht der Mittelstufe integrieren (Burmeister et al., 2011). Mittlerweile können sich Schulen mit dem „Berufswahl-SIEGEL“ `schmücken`, d.h. zertifizieren und beraten lassen, wenn sie überdurchschnittlich gute Konzepte parat haben (Kluxen-Pyta, 2015). Speziell die schulinternen Bemühungen erfordern ein sehr überlegtes und differenziertes Vorgehen, da bedauerlicherweise nicht davon ausgegangen werden kann, dass gute Leistungen im und ausgeprägtes Interesse an Chemie mehr oder weniger automatisch den einschlägigen Berufswunsch `Chemie` unterstützen. So weist die internationale ROSE-Studie (Relevance of Science Education; 2010²⁸⁸) zwar für 50% der befragten Deutschen ein hohes Fachinteresse nach, bezüglich des berufsrelevanten Sachinteresses reduziert sich dieser Wert auf knapp über 20%. Obwohl dies als bedenklich erscheinen mag, so ist es psychologisch gesehen nicht überraschend. Jeder Mensch will nicht primär über seine berufliche Tätigkeit die Wertschätzung seiner Umgebung erlangen. Er wünscht sich, dass er in seiner menschlichen Persönlichkeit gewürdigt, anerkannt, geachtet und letztlich geliebt wird. Dies gilt für jedes Alter und jedes Geschlecht. Für Kinder und Jugendliche hat es eine exponierende Bedeutung; denn sie haben noch keinen Beruf! Letztlich heißt das, dass vor einer Ausbildung die bildende Kraft von Familie und Schule wirksam werden muss.

Bei der Berufswahl spielen also noch ganz andere Faktoren eine entscheidende Rolle. Das sind die Eltern, die Peergroup, das Fähigkeitsselbstkonzept²⁸⁹ und der Abgleich zwischen Selbstbild und beruflichem Prototyp. In einer neueren Untersuchung von Spitzer und Gröger (2018) an SchülerInnen der Jgst. 8 und 11 zeigt sich, dass bei den Schülern der Jgst. 8 das „Image des Chemieunterrichts“ und das „Chemische Selbstkonzept“ signifikanten Einfluss auf die Vorstellung der eigenen Berufswahl aufweisen. Bei den Schülern der Jgst. 11 sind es „Image des Chemieunterrichts“ und der geringere „Abstand zwischen Selbstkonzept und Prototypenvorstellung“ (S. 267). Zumindest vorsichtig interpretiert hieße das, dass der Unterricht per se keinen unwesentlichen Einfluss ausübt auf die Schülervorstellungen von beruflichen Tätigkeiten eines Chemikers. Dies generalisierend, spricht Schöber (2018) von der „Bedeutung selbstbezogener Kognitionen für die Leistungsentwicklung“.

²⁸⁸ <http://www.uio.no/ils/english/research/projects/rose/>

²⁸⁹ Nagy et al. (2012) sprechen dem „Interessen- und Fähigkeitsprofil“ große Bedeutung zu, die sich auch in der Wahl der Schulart und der Ausbildungsrichtung manifestiert

Dieser ausgedehnten Komplexität werden das „RIASEC-Modell“ (Realistic, Investigative, Artistic, Social, Enterprising, Conventional) (Holland, 1997; zit. nach Parchmann et al., 2014, S. 2) (Tab. B3) und seine Erweiterung, das „Individuelle Konzept der Naturwissenschaften“ (IKoN) (Dierks et al., 2015; Haucke, 2013; Wentorf et al., 2015) eher gerecht.

Interessendomäne	Interesse an Tätigkeiten, die typischerweise ...
praktisch-technisch (Realistic)	... die Arbeit mit technischen Geräten und Maschinen involvieren und handwerkliches Geschick erfordern.
intellektuell-forschend (Investigative)	... eine genaue Untersuchung von Themen und komplexes Problemlösen erfordern.
künstlerisch-sprachlich (Artistic)	... kreatives und künstlerisches Schaffen und/oder Darstellen erfordern.
sozial (Social)	... die Arbeit mit oder für Menschen (pflegen, helfen, unterrichten) in den Vordergrund stellen.
unternehmerisch (Enterprising)	... die Führung und Leitung von Menschen oder Unternehmen involvieren.
konventionell (Conventional)	... einen hohen Grad an Strukturierung aufweisen und festen Routinen folgen.

Tab. B3: Das RIASEC-Modell nach Holland (1997). Individuelle Profilbildung beruflicher Interessen gelingt durch den jeweiligen Grad der Zustimmung in den einzelnen Interessendomänen (nach: Etzel, 2019, S. 26)

Dieser umfassenden Analyse gangbarer Wege zu einer abgesicherteren Nachwuchsförderung im Chemiesektor²⁹⁰ entspricht auch die empirische Untersuchung konkreter unterrichtlicher Maßnahmen zur Entwicklung einer Berufswahlreife. Albertus (2015) stellt sich dieser Aufgabe durch die Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines „Berufe-NaWigators“. Mit diesem auf fünf Tage ausgelegten Interventionsinstrument, bestehend aus fünf schul- wie berufsnah ausgearbeiteten Modulen, werden schulische Experimentieroptionen und ausgesuchte berufstypische Anforderungen in Verbindung gebracht. Zudem werden Arbeitsergebnisse der Gruppenarbeit präsentiert und verteidigt sowie außerschulische Berufssimulationen bewusst in Anspruch genommen. Dies erfolgt vor dem Hintergrund einer systematischen Darstellung von chemiebezogenen Berufen (S. 81-85); vgl. hierzu auch: Laudonia & Eilks, 2015, S. 121). Damit wird aktuellen Forderungen nach einer weiteren Ausrichtung der Chemiedidaktik gerecht zu werden versucht. Laudonia und Eilks (2015) führen überzeugend aus, dass der „Bereich der *Vocational Education* [national wie] international in der Literatur auch nicht selten als ein vernachlässigtes Feld chemiedidaktischer Forschung beschrieben [wird]“ (S. 120). Aber auch auf sehr pragmatischer Ebene wird von der aufnehmenden Seite (Arbeitgeber) beklagt, dass die Kooperation mit den Schulen deutlich hinter den Angeboten und Erwartungen der Firmen zurückbleibt (Gayk, 1999).

Mit der Zunahme des Kenntnisstandes über die heute definierbaren chemiebezogenen Berufe (Albertus, 2015, Laudonia & Eilks, 2015) und aufgrund der Tatsache, „dass ein wesentlicher Anteil der Lehramtsstudierenden für den allgemeinbildenden Sekundarbereich in der beruflichen Bildung Beschäftigung findet“ (S. 119), werden auch die Möglichkeiten einer fachdidaktischen Aufbereitung von

²⁹⁰ Im Jahr 2018 stellt die Chemische Industrie einen Riesen unter den Wirtschaftszweigen dar: Drittgrößte Industriebranche in Deutschland mit ca. 460 000 Beschäftigten und einem Umsatz von 202 Mrd. €, davon ca. 10 Mrd. € für Forschung und Entwicklung (lt. SZ v. 5./6.9.15) (Bayerisches Landesamt für Statistik im Jahresbericht 2018/2019 der Bayerischen Chemieverbände

berufswahlorientierenden Inhalten im Verlauf des Chemieunterrichts der Mittelstufe zu einer konkreten Aufgabenstellung für die LehrerInnenbildung und damit Fortbildungsinhalte für die AusbilderInnen von LehrerInnen. Vgl. hierzu auch Küsel et al. (2023).

Es sollte aber auch darüber reflektiert werden, inwiefern die Konzeption von Lehrplänen die Bedarfe einer beruflichen Fortführung des Schulwissens ausdrücklich zu unterstützen im Stande ist. Hierzu lassen sich gerade im Chemieunterricht von Mittel- und Realschule Defizite aufzeigen (Lidl, 2006), die nicht immer durch sogenannte „PLUS-Kurse“ (Ressel, 2008) ausgeglichen werden können. Oldau et al. (2015) berichten von der erfolgreichen Gestaltung einer Art „Sommerschule“, über die es möglich gemacht werden soll, grundsätzliche und berufsrelevante Kompetenzen der Schüler explizit zu fördern²⁹¹. Mittlerweile macht der Blick in die Nationalen Bildungsstandards (NBS) für Chemie, insbesondere in den Kompetenzbereich ‚Bewertung‘ Hoffnung auf eine schulverbindliche Berufsorientierung. Konkret heißt es dort „Die Schülerinnen und Schüler ... stellen Anwendungsbereiche und Berufsfelder dar, in denen chemische Kenntnisse bedeutsam sind, ... (KMK, 2004, S. 13). Hierzu lassen sich heute umfassende Informationen erlangen, welche sehr gezielt auch für die Berufswahlorientierung im Unterricht der Mittelstufen einsetzbar sind²⁹². Zu besagten ‚berufswahlorientierten Inhalten‘ zählen nicht nur die Spiegelstriche des Lehrplans, sondern ebenso die chemischen Innovationen, die im Lehrplan (noch) nicht vertreten sind, jedoch deutliche Relevanz im Alltag besitzen²⁹³ (z.B. Rauber et al., 2018: „Ionische Flüssigkeiten“). Die tiefere Kenntnis chemischer Hintergründe von Lebensmittelergänzungstoffen, Reinigungssubstanzen, Werkstoffen, techn. Besonderheiten, Medikamenten, Baustoffen etc. wirkt dann motivierend und interesselördernd, wenn es gelingt, LehrerInnen und SchülerInnen mit schulisch leicht umsetzbaren Lehr- und Lernmitteln zu versorgen, die sowohl unter gängigen unterrichtlichen Experimentierbedingungen als Schülerübung erlebbar sind, als auch klare Einblicke in industriell relevante Arbeitsweisen vermitteln können.

Im Idealfall erfüllen diese Materialien die folgenden Kriterien:

1. Exemplarische Vorstellung von Arbeitsprozessen, etwa durch die Vorwegnahme ausgewählter Arbeitsabläufe in der Chemikantenausbildung als Teil von chemischen Schülerübungen (→situiertes Lernen)
2. Kontextualisierung von Lehrplaninhalten mit Blick auf konkrete Ansprüche aus der Arbeitswelt im Zuge einer engeren Verknüpfung von beruflichem Sachinteresse und schulischem Fachinteresse (→Lernfeldorientierung)

²⁹¹ Im folgenden Zitat eines international geschäftsführenden Chemikers und Freundes des Autors zeigt sich, was chemische Kenntnisse für die Innovationskraft der chemischen Forschung und Industrie beizutragen vermögen: „das ist schon erstaunlich was die Chemie kann, wenn jemand die Chemie kann!!“

²⁹² So findet sich auf der Homepage der „Agentur für Arbeit“ unter <https://statistik.arbeitsagentur.de/Statistischer-Content/Grundlagen/Klassifikation-der-Berufe/KldB2010/Printausgabe-KldB-2010/Generische-Publikationen/KldB2010-Printversion-Band1.pdf> (S. 376) eine Liste von **40 Berufsgruppen mit chemischem Hintergrund bzw. mit Chemiekenntnissen als Bedingung**. Die Unterteilung erfolgt nach „Berufsbereich, Berufshauptgruppe, Berufsgruppe, Berufsuntergruppe und Berufsgattung. Dabei bedeutet die 4. Ziffer die jeweilige Berufsuntergruppe (0: Berufe in der Chemie ohne Spezialisierung; 1: ... Chemie- und Pharmatechnik; 2: ... im chemisch-technischen Laboratorium; 3: ... Steuerung von chemischen Anlagen) und die 5. Ziffer beschreibt die Berufsgattung, zu der jeweils noch eine vierstufige Einteilung der Anforderungsniveaus kommt: 1: Helfer- und Anlertätigkeiten; 2: fachlich ausgerichtete Tätigkeiten; 3: komplexe Spezialistentätigkeiten; 4: hochkomplexe Tätigkeiten) (Vgl. auch Albertus, 2015).

²⁹³ Seit 1990 existiert an vielen Schulen das Buch „CHAMBA – Chemieaufgaben mit Bezug zur modernen Technik und Arbeitswelt“ von Engerer & Lederer, das den chemischen Berufsalltag über Aufgabenstellungen zu erschließen versucht

3. Mediengestützte Veranschaulichung der Nutzung schulspezifischen Chemiewissens und Unterrichtsgänge bzw. Exkursionen zur Berufsfelderkundung
4. Schulpraktische Lehrmaterialien zur Implementierung von chemischen Innovationen in den Chemieunterricht
5. Nutzung von betrieblichen Praktikumsplätzen für Lehrkräfte (!). Im Zuge der Lehrerbildung in Bayern kann auch die verbindliche Ableistung des „Betriebspraktikums“ als diesbezüglicher Beitrag gesehen werden.

Alle fünf Punkte in der obigen Aufzählung finden ihre konkrete Umsetzung im seit 2014 vorliegenden Schulversuchskoffer für die Mittelschule (in Bayern). Initiiert von der weltweit agierenden Firma WACKER-CHEMIE, wurde er von der Fachdidaktik Chemie der LMU und der Universität Wuppertal auf der Basis eines umfangreicheren und bereits in überarbeiteter Form vorliegenden Vorläufers (Tausch & Anton, 2015; Anton & Tausch, 2015) für die Mittel- und Oberstufe konzipiert und evaluiert. Das Versuche-Set zeichnet sich dadurch aus, dass es die Versuchsanleitungen zu schulpraktischen Experimenten zur Thematik „Silicone“ so aufbereitet anbietet, wie es den betrieblichen Ausbildungsinhalten zum Chemikanten entspricht. Damit können SchülerInnen der Mittelschule bereits in der schulischen Situation berufsorientierende Erfahrungen sammeln, die eine Entscheidung für die Berufswahl absichern helfen.

C Chemie lehren

Mit all den Forderungen an die Lehrqualität sind auch die Verantwortlichkeiten, Qualifikationen und Kompetenzen der LehrerInnenbildnerInnen, an welchen beispielsweise die in Bayern tätigen, 111000 LehrerInnen „vorbeigezogen“ sind, angesprochen. Von denen ist nicht immer mit der gleichen Intensität die Rede wie von denen der LehrerInnen: „Während sich die Voraussetzungen für effizientes Lehrhandeln bereits recht gut beschreiben lassen, liegt in Bezug auf die effektive Vermittlung der notwendigen Kompetenzen noch viel Forschungsarbeit vor uns“ (Spinath, 2012, S. 311). Sich diesbezüglich mehr als bisher Gedanken zu machen und einer Systematisierung hinsichtlich Ablauf, Qualifikation und Entwicklung zuzuarbeiten, lohnt sich aus mindestens zwei Gründen: Zunächst wird viel Geld in die LehrerInnenbildung investiert, etwa 1.3 Mrd. Euro waren es bereits 2011 in Deutschland und zum anderen liegen lehrerInnenbildungsrelevante Forschungen im Überschuss vor, deren Umsetzung in der Praxis nicht dem Zufall überlassen werden sollte. Schmid (2016) formuliert hierzu „vier notwendige Bedingungen der Expertiseentwicklung ..., die Pädagogische Hochschulen und universitäre Studiengänge verstärkt konzeptionell berücksichtigen sollten: 1. Fokussierung auf langfristige Lernprozesse, 2. Praxiseinbettung, 3. Wissenschaftliches Studium und 4. Deliberate²⁹⁴ Practice“ (S. 10).

Es wird immer deutlicher, dass gerade in den notwendigen Begründungen für unterrichtliches Handeln gegenüber SchülerInnen, Eltern, KollegInnen, Vorgesetzten und nicht zuletzt sich selbst gegenüber das jeweils „beste verfügbare Wissen“ (Neuweg, 2015, S. 55) eingesetzt werden können muss; denn „Lehrer stellen den Rahmen her, der die emotionale und geistige Entwicklung entweder unterstützt oder behindert“ (Salzberger-Wittenberg et al., 1997, S. 15). Nicht nur nach Weinert (1994) hängt die Qualität des Unterrichts „weitgehend vom Lehrer ab; von der Wirksamkeit einer störungsarmen, lernförderlichen Klassenführung; von seiner Fachkompetenz, also der Beherrschung der zu vermittelnden Lerninhalte; von den diagnostischen Fähigkeiten, also von der Zuverlässigkeit der Urteile über die Lernvoraussetzungen, Lernfortschritte und Lernprobleme der einzelnen SchülerInnen, und von seiner unterrichtsmethodischen Kompetenz, d.h. von der Fähigkeit, unterschiedliche SchülerInnen durch verschiedene Methoden wirkungsvoll zu unterstützen (S. 279). Hierzu wird hervorgehoben, dass Chemieunterricht in drei Felder gegliedert ist, die sich keinesfalls gegenseitig ersetzen lassen, sondern nur in Form ausgeglichener Gleichgewichte lehrplanrelevante Unterrichtsziele erfüllbar machen.

Darüber hinaus ist es –vorsichtig formuliert- von großem Vorteil, wenn Wissenschaft, Fach- wie Lehrlernwissenschaft so vermittelt werden, „dass die Menschen sie mit dem Herzen verstehen können. Dafür muss man als Wissenschaftler seine eigene Freude und Leidenschaft vorführen“ (Fischer, 2016; S. 50²⁹⁵).

²⁹⁴ mit genauem Nachdenken verbunden

²⁹⁵ Zitat aus einem Interview des Wissenschaftshistorikers Ernst Peter Fischer von Christian Sywottek in „Das Unternehmensmagazin“ (Evonik) (2016) 2, 48-51

C 1 Qualifikationen der Lehrkraft

Der domänenspezifische Ausbau Lehrexpertisen ist keineswegs geringer zu veranschlagen als jener der FachwissenschaftlerInnen oder der ErziehungswissenschaftlerInnen aus den Bereichen Schulpädagogik und Pädagogische Psychologie. Hat man bisher dem „plötzlichen Auftreten“ von Verantwortlichen der LehrerInnenbildung eine eher gleichgültig-beruhigte Auffassung entgegengebracht, so widmet man sich mittlerweile doch systematischer der Expertisegenese von LehrerbildnerInnen, die dieses `Auftreten´ zu moderieren haben (Kraler, 2015). Schratz (2015) formuliert hierzu folgende Kompetenzliste:

- „Lehrkompetenzen erster Ordnung (SchülerInnen unterrichten)²⁹⁶
- Lehrkompetenzen zweiter Ordnung (Lehren über das Lehren)
- Generierung von (neuem) Wissen (Forschung)
- systemische Kompetenzen
- transversale Kompetenzen
- Leadership-Kompetenzen
- Kompetenzen in der (interdisziplinären) Zusammenarbeit“ (S. 42).

Schratz bezieht sich in seinen Argumentationen auf die Arbeit einer von der EU eingesetzten AG „Teacher Professional Development“, welche die Situation von LehrerbildnerInnen in den Mitgliedsländern beschreiben und in Form von „Peer Learning Activities“ (PLA) internationale Zusammenarbeit lancieren soll: 2010 in Island „The Profession of Teacher Educator in Europe“. Hieraus ergibt sich folgerichtig eine Reihe von Anforderungen für die lehrerInnenwissenschaftlichen („fachdidaktischen“) Qualifikationen der VertreterInnen der Didaktik eines jeden Fachs (Teml, 2003), die auch von der aktuellen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ aus dem bundesdeutschen Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt werden sollte (vgl. hierzu eine kritische Übersicht bei Jorzik, 2015). Hierzu sei auch verwiesen auf den sechsten Internationalen Gipfel zum Lehrberuf („International Summit on the Teaching Profession“), der im März 2016 in Berlin stattfand: www.istp2016.org/en/documentation.

Für das Fach Chemie ist die folgende Auflistung solcher Qualifikationen zwar nicht vollständig aber dennoch charakterisierend:

- Fachexpertise (notwendige, jedoch keinesfalls hinreichende Bedingung!)
- Lernbiologisch aktuelle Basiskenntnisse
- Schulunterrichtserfahrung über alle ausbildungsrelevanten Jahrgangsstufen hinweg
- Erfahrung aus dem Bereich der schularttypischen und schülerInnenorientierten Arbeitsmöglichkeiten im Theorie-, Praxis- und Reflexionsfeld
- Nachweisbare Akzeptanz durch die Betroffenen in der Unterrichts-, Schüler- und Klassenführung (Haag & Streber, 2012)
- Direkte oder indirekte Mitwirkung in der fachspezifischen LehrerInnenbildung
- Sichere Anwendung moderner Medien (Spannagel, 2013; Sommer et al., 2018)
- Erfahrung in exemplarischer Unterrichtsforschung auf qualitativer und quantitativer Ebene
- Schul- und wissenschaftsrelevante Veröffentlichungen.

Es liegt auf der Hand und entspricht allen Erfahrungen bei der Besetzung von Fachdidaktiken an Universitäten und Pädagogischen Hochschulen wie auch bei der

²⁹⁶ In diesem Zusammenhang sei auf die Klassifizierung der aktuellen Generationen verwiesen: `Matures (geb. 1933-1945), Babyboomers (1946-1964), Generation X (65-76), Generation Y (Millennials) (77-98), Gen. Z (ab 1998)` (zit. aus Hullinger, 2018, S. 92)

Zuteilung der Funktion SeminarlehrerInnen im Studienreferendariat bzw. der Aufgabe von SeminarrektorInnen im Vorbereitungsdienst, dass solche Forderungen einen sehr engmaschigen Raster darstellen und letztlich in der Praxis immer wieder zahlreiche Zugeständnisse (hauptsächlich in Bezug auf Schulerfahrung!) gemacht werden müssen, um das Netz –zumindest bedarfsgerecht- gröber werden zu lassen

Neuweg nennt zudem fünf Probleme, die diese Umsetzung in die Praxis systematisch zumindest erschweren:

1. „Kausalanalytische Forschung im strengen Sinne stößt im Bildungsbereich auf grundsätzliche methodische Schwierigkeiten.
2. Vieles wissen wir nicht und was wir wissen, ist oft trivial oder zu abstrakt
3. Wirksamkeit ist nur begrenzt transsituativ [auf neue Situationen übertragbar]
4. Regelwissen ist auf Fallverstehen und Anwenderkompetenz verwiesen
5. Geteilte Vorstellungen von Zweckrationalität setzen Einigkeit über die Ziele voraus“ (S.55-57).

Um solches berücksichtigen zu können, bedarf es grundlegender Verbesserungen bei der Anbahnung entsprechender Qualifikationen. Aktuell sind das optimal ausgestattete Fortbildungen, deren Anliegen es auch sein muss, die Ambition zu stärken, die Studierenden zu den besten LehrerInnen ausbilden zu wollen, die das Fach (Chemie) haben kann. Hier zeichnen sich aus der Sicht einer modernen Lehrerbildung auch in der Praxis schon erfreuliche Maßnahmen ab, etwa im Lehrangebot des „Münchener Zentrums für Lehrerbildung“ (mzl^{LMU}) der LMU sowie im „LMU-Center for Leadership and People Management“. Und warum sollte man nicht auch in diesem Bereich über eine „Lehrbegabtenförderung“ (Anton, 2005) nachdenken, etwa im Rahmen der jährlichen „Bayerischen Chemiedidaktischen Forschungskolloquien“²⁹⁷.

Es mag in diesem Zusammenhang vielleicht befremdlich wirken, wenn man hinsichtlich der Rolle von LehrerInnenbildner und Studierenden bzw. ReferendarInnen einmal hypothetisch von „Führungskraft“ und „MitarbeiterInnen“ spricht (Schratz & Posse, 1999; Bueb, 2000). Mit dieser Perspektive ließen sich die für die freie Wirtschaft empfohlenen „drei Kulturen einer Organisation“ (Frey, 2015) anwenden:

- Kultur von Exzellenz, Leistung, Innovation, Nachhaltigkeit²⁹⁸ und Qualität
- Kultur von Wertschätzung, Fairness und Transparenz
- Kultur von ethikorientierter Führung durch Vorbild, Verantwortung und Verpflichtung.

Hierzu werden sechs Thesen aufgestellt:

1. Exzellenzkultur und Wertschätzungskultur schaffen
2. Für eine hierarchiefreie Kommunikation sorgen
3. Durch kluge Führung die intrinsische Motivation fördern
4. Die Kleinigkeiten nicht vergessen
5. Wichtige Führungswerkzeuge zur Motivation anwenden

²⁹⁷ ... in der Abtei Frauenwörth auf Frauenchiemsee, einer Insel im Chiemsee, an denen seit 2006 bisher ca. 230 Lehramtsstudierende (mit Zulassungsarbeit in Chemiedidaktik) aus allen Unis in Bayern sowie mehr als 20 namhafte Referenten ausgesucht unterschiedlicher Disziplinen, unterstützt von bedeutenden Sponsoren, teilnehmen konnten (Anton, 2015).

²⁹⁸ Auch in der LehrerInnenbildung zeigt das Prinzip der Nachhaltigkeit und zwar in der Definition der UN-Kommission von 1987: „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne die Fähigkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen!“²⁹⁸ Das Motto des 22. Sommersymposiums zur Naturwissenschaftsdidaktik (Uni Bremen, 19.-21.6.14) lautete bezeichnenderweise „Science Education Research and Education for Sustainable Development“ (Eilks & Ralle, 2014). Bereits 1979 wurde vom Philosophen Hans Jonas eine entsprechende Definition vorgeschlagen: „Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden“ (S. 36).

6. Nicht jeder kann motivieren [– Die Autorität zur Führung muss man durch sein eigenes Verhalten erlangen]

Beginnen könnte das Ganze vielleicht mit zehn Schritten zum „guten Umgang“ (Klejbor, 2015):

- die eigenen Wünsche formulieren
- den aktuellen Zustand ermitteln
- bewerten mit Beispielen
- Bedürfnisse erkennen
- analysieren der Ergebnisse
- vorleben statt predigen
- nicht überfordern aber dranbleiben
- Analyse nach jeder Woche
- bewusst entscheiden
- visionär werden.

Diese Schritte äußern sich dann konkret in der Gestaltung der klassischen Lehrakte:

- Vorstellen, Systematisieren & Herstellen der Adaptierbarkeit des Faktenwissens
→ „*preparing mit knowledge-mapping*“
- Explizite Erklärungen zum Konstruieren & Anwenden von Fachwissen geben
→ „*coaching*“
- Fachunabhängige, metakognitive Hilfen, die den Lernprozess bewusst machen → „*prompts*“
- Entwicklung und Lösung von Problemen begleiten & unterstützen → „*scaffolding*“
- Kreativität zulassen & beobachten → „*fading*“

„Die Umgangskultur einer Schule bedarf bewusster Pflege und nicht selten einer Neustrukturierung“ (S. 93).

In diesem Zusammenhang soll auch auf die Verantwortung der Universitäten hingewiesen und an sie appelliert werden. Die Zukunft der Qualität von Forschung und Lehre liegt letztlich in der Qualität der Schulen und damit in der Professionalität und Kompetenz der Lehrkräfte. Es möge irgendwann möglich sein, dass die LehrerInnenbildung im Bewusstsein der Universitäten, denen diese Aufgabe ja verbindlich obliegt, den ihr gebührenden Stellenwert einnimmt und die Qualität der Schulbildung von Studienanfängern auf das Können der LehrerInnen zurückgeführt wird, welches maßgeblich von universitären Bedingungen mitgeprägt wird²⁹⁹. So gilt in Finnland: „Nur wenige Universitäten dürfen Lehrer ausbilden“ (Gigerenzer, 2013, S. 321). In diesem Kontext müssen wohl auch ‚Lehrer-Stereotypen‘ Berücksichtigung finden (Hansen, 2018). Erst wenn dieser Kreisschluss, der sich im Motto „Forschung, Lehre, Lehrerbildung“ manifestieren könnte, vollzogen ist, wird sich die Bildungslandschaft in Bayern, Deutschland und Europa so entwickeln können, wie es der Forderung von Martin Stratmann, dem neuen Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft aus seiner Antrittsrede am 5. Juni 2014 entspricht: „Wir brauchen Bildungschancen für alle, und wir sollten die Vielfalt und die hohe Qualität deutscher Bildungseinrichtungen von Fachhochschulen bis hin zu international ausgewiesenen Universitäten nicht gering schätzen“ (Stratmann, 2014, S. 14).

²⁹⁹ Administrativ sollte überdies der Vorschlag durchdacht werden, die an der Lehrerbildung Beteiligten im Rahmen etwa einer „Lehrerbildungskammer“ in größeren Zeitabständen gemeinsam an einen Tisch zu bringen! Ein „Dialogforum Lehrerbildung“ ist von politischer Seite (Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus, Wissenschaft und Kunst) in Auftrag gegeben!

C 1.1 Lehrbegabung und Lehrwille

Aus dem schon Gesagten lassen sich Folgerungen für die Ausbildung von (Chemie)Lehrkräften herleiten. Diese soll sich nicht beschränken auf die bislang üblichen Elemente der LehrerInnenbildung (Fachwissenschaft, Erziehungswissenschaft, Lehrlernwissenschaft³⁰⁰ („Fachdidaktik“) und Unterrichtsmanagement) (=A), wobei sich hierbei beispielsweise „tatsächlich Schwierigkeiten bei der Vernetzung der allgemeinen erziehungswissenschaftlichen und der fachunterrichtlichen Perspektive ergeben, und zwar unabhängig davon, ob es darum geht, allgemeine erziehungswissenschaftliche Inhalte mit vorgegebenen Beispielen von [z.B.] Biologieunterricht in Verbindung zu bringen oder inhaltlich treffende Beispiele aus dem Unterrichtsfach Biologie zu einem vorgegebenen allgemeinen erziehungswissenschaftlichen Thema zu formulieren“ (Germ, 2009). Vielmehr gilt es, sich mehr der Vorbildwirkung von LehrerbildnerInnen sowie der Erfahrungsreflexion vor dem Hintergrund der Theorie- und Praxisinputs zu widmen³⁰¹ (=B). In der Festrede von Gottfrid Schatz (Biochemiker, verstorben am 1.10.15) zum 650sten Geburtstag der Universität Wien am 2. April 2015 wird diese Vorbildwirkung in besonderem Maße betont³⁰² „Persönliche Vorbilder sind das wichtigste Geschenk, das Unis ihren Studierenden machen können“. Dies würde in jedem Fall die Parole des Humanisten Erasmus von Rotterdam (1467-1536) bestätigen: „Der erste Schritt zum Lernen ist die Liebe zum Lehrer!“.

Sind die ersteren, üblichen Elemente (A) in aller Regel durch Ausbildungs- und Prüfungsordnungen verbindlich festgeschrieben, so handelt es sich bei den letzteren (B) um Auswirkungen des inter- und intrapersonellen Arbeitens an einer kompetenzorientierten Professionalitätsentwicklung (Hackl & Neuweg, 2004). Fenstermacher & Richardson (2005) sowie Berliner (2001) unterscheiden hier zwischen „guten LehrerInnen“ (‘unterrichtet und erzieht, fördert und beurteilt SuS, kommuniziert mit Eltern und außerschulischen Institutionen, bildet sich kontinuierlich selbst weiter, entwickelt Schule und Unterricht mit KollegInnen weiter) und dem „erfolgreichen Lehrer“ (erfüllt erwartbare messbare Effekte bezüglich definierbarer Leistungszuwächse bei den SuS) (Vgl. Terhart, 2009, 78-79). „Insofern ist es möglich, dass die Menge der ‘guten’ Lehrer nicht identisch ist mit der Menge der ‘erfolgreichen’ Lehrer“ (S. 79).

Jedes dieser beiden Elementepakete (A&B) ist für sich notwendig, jedoch erst das Zusammenwirken beider ist hinreichend. Man darf allerdings sicher davon ausgehen, dass den zweiten Faktoren noch deutlich eine zu geringe Beachtung geschenkt wird, was als besonders ungünstig zu sehen ist. Denn „Es gibt im Gegensatz zu anderen Expertisedomänen (Schach, Physik, Medizin) keinen signifikanten Zusammenhang

³⁰⁰ Die Leistungen der Fachdidaktik werden international mit dem Begriff des „fachspezifischen pädagogischen Wissens“ (pedagogical content knowledge: PCK*) beschrieben. Darunter versteht man „die Zusammenführung von Inhalt und Pädagogik zu einem Verständnis dessen, wie bestimmte Themen, Probleme oder Fragen strukturiert, dargestellt und an die Interessen und Fähigkeiten der Lernenden angepasst und für den Unterricht aufbereitet werden sollten“ (Shulman, 1987).

*„Die Korrelation von guten Matheleistungen (der SuS) und dem „Pedagogical Content Knowledge“ (PCK) des Lehrers/der Lehrerin beträgt .53, die Korrelation mit der Fachkompetenz nur .14!“ Lehrer mit ausschließlich hoher Fachkompetenz haben auf den Unterrichtserfolg deutlich weniger Einfluss als solche mit einer zusätzlichen hohen PCK! Beides geht hervor aus einer PISA-Begleituntersuchung an Mathematik-LehrerInnen (Vgl. Baumert, 2/2006).

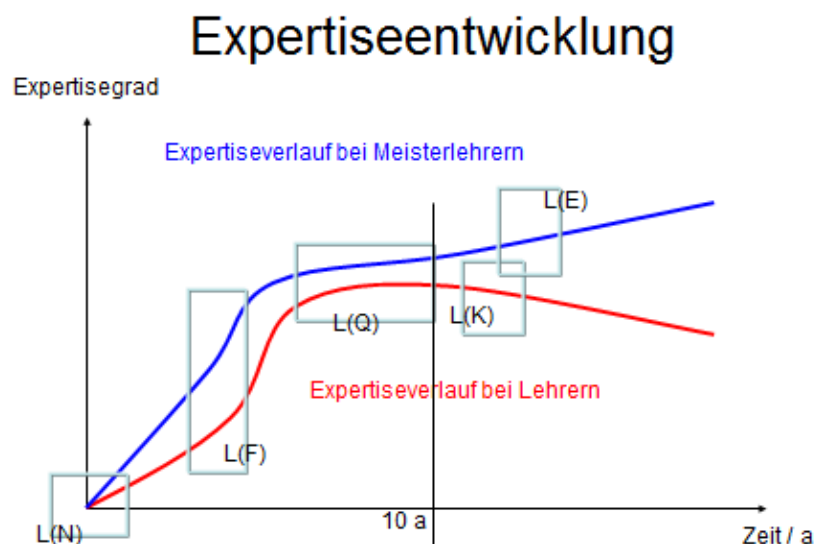
³⁰¹ „Allen Sachkundigen ist klar, dass der letzte Schritt zur Professionalisierung des LehrerInnenberufs noch aussteht, mit dem das Hauptmerkmal einer Profession zur Geltung kommt, - nämlich die eigene Tätigkeit beobachtbar und reflektierbar zu machen. Dies bedarf der allmählichen Entwicklung einer Sprache, die es erlaubt, in nicht verletzender Weise über Unterricht –seine Vorbereitung, Durchführung und Evaluation – zu sprechen“ (Baumert, 2001, S. 35)

³⁰² <<https://www.youtube.com/watch?v=D8n2LGpKtgc&feature=youtu.be>>

zwischen der Dauer der Berufstätigkeit von Lehrern, dem Niveau ihres Expertisewissens und ihrem Unterrichtserfolg“ (Helmke & Weinert, 1996)³⁰³. Dementsprechend findet sich bei Dreyfuß & Dreyfuß (1986) eine Stufung des Expertiseerwerbs bei LehrerInnen (vgl. Spiegelstriche), die sich im vierten und fünften Abschnitt so darstellt, dass tatsächlich (nach ca. 10 Berufsjahren) die Entscheidung zur Perfektionierung von Routinen oder zur Weiterentwicklung der Expertise getroffen werden kann. Die Devise lautet: „Ich lehre, was ich weiß und ich lerne, was ich noch nicht weiß!“

- Novize (N)
 - Regelbefolgung, orientiert an Beispielen
- Fortgeschrittener Anfänger (F)
 - Fallwissen, differenzierte Wahrnehmung, unflexibel
- Qualifizierte Lehrkraft (Q)
 - flexibel, selbstverantwortlich, routiniert
- Kompetenter Lehrer (K)
 - erkennt Ähnlichkeiten in unterschiedlichsten Situationen, spezialisiert sich, berät
- Experte (E)
 - holistische Wahrnehmung, reagiert ohne Anstrengung, flüssig und angemessen, überblickt das Berufsfeld, leitet

Die grafische Darstellung in Abb. C1 fasst grob zusammen, was aufgrund von Erfahrungen und Beobachtungen des Autors über Entwicklungswege von Lehrkräften angenommen werden kann. Sie weist zwei Kurvenverläufe aus, von denen der obere (blaue) den Expertiseverlauf von LehrerInnen zeigt, die sich für einen Ausbau der eigenen Expertise, auch im Sinne von Spezialisierung entscheiden (ca. 1/5) und der untere (rote) wiederum die Entwicklung beschreibt, welche LehrerInnen nehmen, die in ihrem Arbeitsbereich routiniert und erfolgreich weiter wirken wollen (ca. 3/5). Beide Berufsauffassungen stabilisieren das System bzw. treiben seine Entwicklung voran. Es verbleibt ein Rest von ca. 1/5, der sich beiden Trends entzieht.



³⁰³ Es wird angenommen, dass Schulklassen bzw. deren Heterogenität kein eindeutiges Rückmeldesystem für eine Lehrkraft darstellen und damit diese SchülerInnenreaktionen in Summe keine verbindliche Orientierung für Veränderung des LehrerInnenverhaltens darstellen

Abb. C1: Zwei Professionalisierungseffekte bei LehrerInnen, welche sich im Zuge der Expertiseaneignung nach ca. 10 Berufsjahren unterschiedlich entscheiden.

Der adaptive Zusammenhang zwischen der fachlichen Expertise³⁰⁴ sowie der fachdidaktischen Kompetenz der Lehrkraft („Pedagogical Content Knowledge“, PCK) und der Lernleistung der SchülerInnen ist wissenschaftlich gut belegt. „Das gleichermaßen variable, wie flexible Modell des adaptiven Unterrichts ist gegenwärtig das wissenschaftlich fundierteste und didaktisch aussichtsreichste unterrichtliche Konzept, um auf die großen und stabilen interindividuellen Unterschiede der SchülerInnen in didaktisch angemessener Form zu reagieren“ (Helmke & Weinert, 1997, S. 137).

So wie es seit 2019 einen „Gemeinsamen Referenzrahmen für Naturwissenschaften“ (GeRRN) als „Mindeststandards für die auf NaWi bezogene Bildung“ gibt (Eisner et al. (2019), ließe sich analog dazu ein „Gemeinsamer Referenzrahmen für Didaktik der Chemie (GeRRDC)“ entwerfen und zwar als Antwort auf die folgende Frage: Welche Fähigkeiten und Fertigkeiten müssen universitäre Lehrpersonen für Didaktik und Mathematik der Chemie aufweisen, damit die ihnen anvertrauten Studierenden des Lehramts Chemie umfassend auf die fachspezifischen Aufgaben in der Schule vorbereitet sind und sich jederzeit nachqualifizieren können? Die Berufsqualifikation der Lehrenden für das Fach Chemie setzt sich aus vier Bereichen zusammen: Fachwissenschaft, Erziehungswissenschaft, fachspezifische Vermittlungswissenschaft („Lehrlernwissenschaftliche Chemie“) und Unterrichtsmanagement. Die transdisziplinäre Vernetzung betrifft zudem die Bereiche: Pädagogische Psychologie, Hirnforschung, Kommunikationspsychologie und Bildungswissenschaft im Sinne von Lernforschung. Die Lehrenden für Didaktik und Mathematik der Chemie sind als LehrlernwissenschaftlerInnen in den folgenden Bereichen kompetent. Sie unterscheiden sich somit signifikant von den FachwissenschaftlerInnen der Chemie.

- Inhalte und Methodik der Erkenntnisfindung aus der Fachwissenschaft im Überblick
- Zugänge zu den aktuellen Entwicklungen innovativer Chemie
- Modellierungen zu Unterricht, Wissen und Lernen
- Strukturierungen der Wissensdomänen im Zuge der Entwicklung und Kritik von LP
- Logik in der Lehr- und Lernfolge von Inhalten in Abhängigkeit von den Adressaten
- Aufbereitung von (lehrplanrelevanten) Inhalten zur Herstellung von Beziehungen (Didaktische Präparationen)
- Nutzung von Schnittmengen für fachübergreifende und fächerverbindende Themenbehandlungen
- Handwerk des Experimentierens und des Demonstrierens auf allen Anspruchsebenen unter einschlägigen Sicherheitsbedingungen (ALP, 2011; Sieve et al., 2024)
- Beschreibungen und Kommentierungen chemischer Stoffe, Geräte und Prozesse in Fachsprache, Unterrichts- und Alltagssprache
- Objektive Auseinandersetzung mit einfachen und komplexen Sachverhalten mit chemischem Hintergrund (Alltags- & Anwendungsbezüge)
- Motivierung und Förderung kreativer Ansätze bei Interessierten
- Einsatz unterrichtsrelevanter traditioneller und moderner (digitaler) Medien in der Lehre und Präsentation

³⁰⁴ In einer Untersuchung von Freyer et al. (2015) zeigt sich, dass in Deutschland die LA-Studierenden (etwa im Vgl. mit finnischen LA-Studierenden) in der Fachkompetenz, im Fachinteresse und in der Selbsteinschätzung chemiebezogener und experimenteller Fähigkeiten überzufällig hinter den Chemiestudierenden rangieren (S. 81)

- Überblick über die gängige Literatur zur Chemie und zur Chemiedidaktik sowie Pädagogischen Psychologie
- Analyseinstrumente und -kriterien zur Besprechung und Würdigung von Lehrleistungen in unterschiedlichen Schulen und Jahrgangsstufen
- Überblick über fachspezifische inner- und außerschulische Lehrbedingungen sowie Lernangebote inkl. Wettbewerbe
- Entwicklung und Kritik neuer Lehrlernszenarien in Abhängigkeit von aktuellen äußeren Bedingungen
- Kriterien chemiedidaktischer Unterrichtsforschung (Aktionsforschung)
- Nachwuchsförderung (Dissertation, Habilitation)
- Kenntnis einschlägiger (Fach)Zeitschriften zu Unterricht und Didaktik und Veröffentlichung eigener Forschungsergebnisse
- Öffentlichkeitsarbeit

Als Experten für Chemieunterricht sind sich ChemiedidaktikerInnen und Chemielehrkräfte ihrer Verpflichtung zur fortgesetzten Professionalisierungsentwicklung bewusst. Abb. C2 verdichtet diesen Katalog.

Expertise und Lehrerexpertise

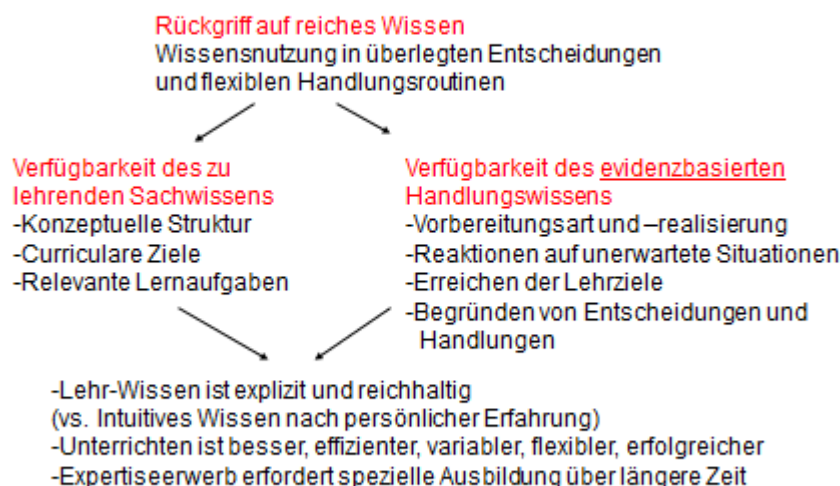


Abb. C2: Zusammenspiel zwischen Fachwissen und lehrlehrwissenschaftlichen Erkenntnissen um Unterricht weiter zu entwickeln.

Das mathetische „Lesen-können“ des Schülers, die Empathie bzw. die „Theory of Mind“ (ToM³⁰⁵) bilden das qualitative Grundgerüst für eine fruchtbare Beziehung zwischen LehrerIn und SchülerIn um „lernwirksam zu unterrichten“ (Felten & Stern,

³⁰⁵ **Theory of Mind** (ToM), auch **native Theorie** oder **Mentalisierung**, bezeichnet in der Psychologie und den anderen Kognitionswissenschaften die Fähigkeit, eine Annahme über Bewusstseinsvorgänge in anderen Personen vorzunehmen und diese in der eigenen Person zu erkennen, also Gefühle, Bedürfnisse, Ideen, Absichten, Erwartungen und Meinungen zu vermuten. Peter Fonagy, ein psychoanalytischer Forscher, definiert den Begriff der Mentalisierung folgendermaßen: Mentalisierung ist die „Fähigkeit, das eigene Verhalten oder das Verhalten anderer Menschen durch Zuschreibung mentaler Zustände zu interpretieren“. Für den Begriff gibt es bisher keine einheitliche deutsche Entsprechung http://de.wikipedia.org/wiki/Theory_of_Mind.

2016). Dies kann mittlerweile auch durch eine aktuelle Metaanalyse zu „Merkmale guter Lehrer in Physik, Chemie, Biologie“ von Merzyn (2017) bestens unterstrichen werden: „... die Bedeutung von schülernahem Lehrerverhalten für positive Schülereinstellungen wird erneut deutlich“ (S. 74). Der Philosoph R. D. Precht zählt den Beruf des Lehrers zu einem der „Empathie-Berufe“ (2018, S. 168). Die Bedeutung eines grundsätzlichen gegenseitigen Hinhörens und Ernstnehmens wird auch mit der Resonanzpädagogik von H. Rosa unterstützt (Endres, 2020).

Was diese Fruchtbarkeit angeht, so findet man bei Winnefeld (1971) bereits eine ausführliche Darstellung dessen, was gelingt und nicht gelingt in den Beziehungen von PädagogInnen und einer Schulklasse und worauf zu achten ist, wenn Gleichgewichte (GG) in den Beziehungsgrößen eingestellt werden sollen (Vgl. hierzu Abb. C3).

GG zwischen menschlicher Bindung und sachlicher Gerichtetheit

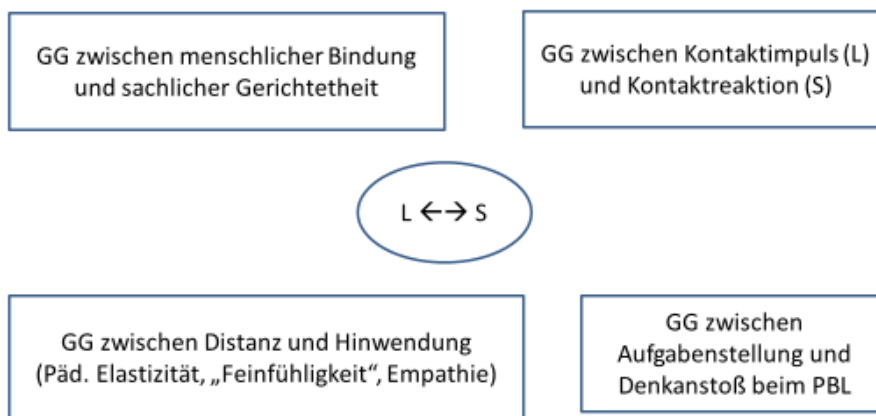
GG zwischen Kontaktimpuls (L) und Kontaktreaktion (S)

GG zwischen Distanz und Hinwendung (Päd. Elastizität, „Feinfühligkeit“, Empathie)

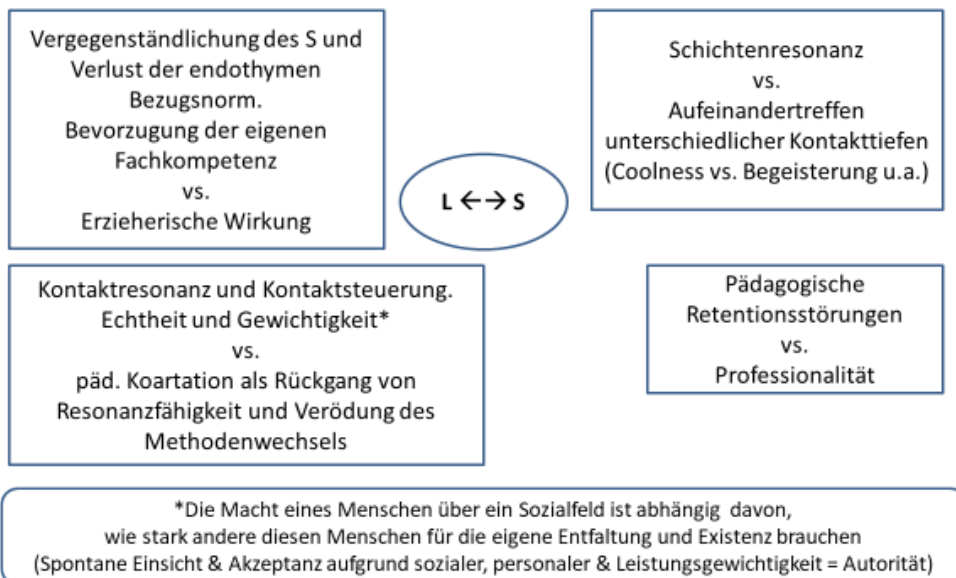
GG zwischen Aufgabenstellung und Denkanstoß beim problembasierten Lernen (PBL).

Der Pädagoge Winnefeld hat diese „Herausforderungen“ im „Pädagogischen Feld“ detaillierter und tiefsinniger erläutert (Abb. C3).

Herausforderungen im Pädagogischen Feld



Herausforderungen im Pädagogischen Feld



Herausforderungen im Pädagogischen Feld

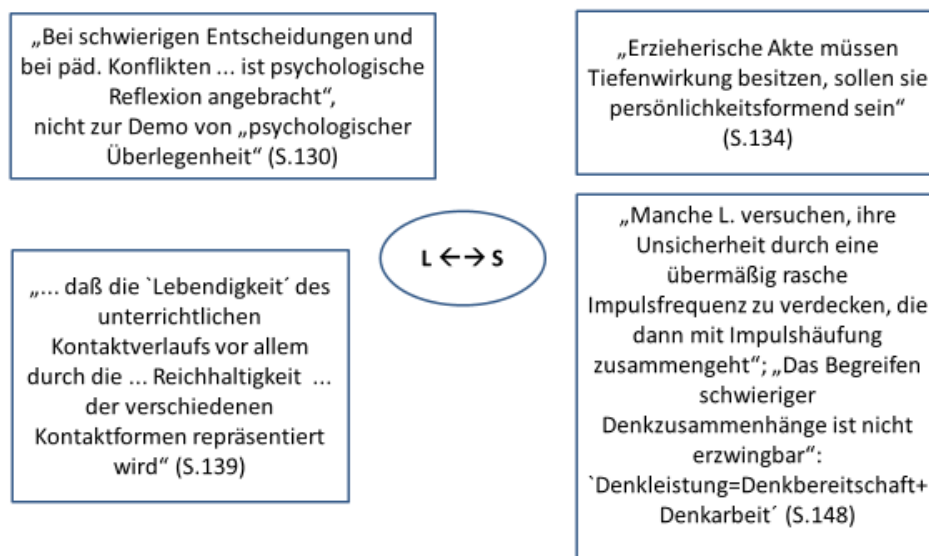


Abb. C3: Stichwortartige Zusammenstellung der vier Gleichgewichtslagen mit ihren Polarisierungen und den jeweiligen erläuternden Kernaussagen (Zitate aus Winnefeld, 1971)

Zudem gilt, dass „Lehrer ... im Allgemeinen bei sich selbst nicht lernen [können], was sie falsch machen und wie sie handeln müßten, um erfolgreich und hilfreich zu sein. Dazu benötigen sie zumindestens die Hilfe ihrer Kollegen“ (Weinert, Manuskript zum Vortrag „Lehrer zwischen Beruf und Berufung – Wege zur Professionalisierung“ im Haus der Industrie, Wien am 4.11.1993), also der Supervision durch den 'kritischen Freund'. „Um

Unterricht zu verbessern und pädagogisch wirkungsvolles Handeln zu fördern sowie die psychische Disposition zukünftiger LehrerInnen positiv zu beeinflussen, ist es notwendig, dass angehende LehrerInnen im Einsatz ihrer empathischen Fähigkeiten in fachdidaktischen Seminaren geschult und gezielt bestärkt werden“ (Graudegus & Abels, 2013, S. 54). Solches Unterfangen ist dann besonders angebracht, wenn die folgenden Voraussetzungen bzw. Begabungen für die Lehre vorhanden sind:

1. optimistische Grundhaltung
2. mäßige Extrovertiertheit
3. positive Einstellung zum Umgang mit anderen Menschen³⁰⁶
4. gute Portion Humor
5. soziale Sensibilität.

Zum Punkt 1 sei auf ein Zitat des US-Präsidenten Bill Clinton verwiesen. Anlässlich der Eröffnungsrede zum Weltlehrerkongress 1999 in Washington sagte er den über 1000 Delegierten: „To be a teacher is forever to be an optimist!“

Zum Punkt 3 führt Ciompi (2003) das Folgende aus: „Ob einem jemand im Grunde gut oder böse will, wer er/sie `eigentlich´ ist und was er/sie `bringt´ oder `nicht bringt´, das wissen oder fühlen viele Menschen intuitiv sehr genau, selbst wenn sie es weder bewusst zu fassen noch sprachlich auszudrücken vermögen. Für das, was –vor allem langfristig– geschieht zwischen Menschen auf jeder Ebene, sind diese **Fundamentalbotschaften** entscheidend. Zweifellos sind sie auch in jeder pädagogischen Situation letztlich viel wichtiger als alle Technik.“ ... „Denn die wichtigste und wirksamste aller positiven Fundamentalbotschaften, die man einem Menschen überhaupt zukommen lassen kann, ist gewiss das anspruchsvolle `ich liebe dich so, wie du bist´. Um aber fähig zu sein oder zu werden, jemanden in der Weise, wie dies hier gemeint ist, zu akzeptieren, muss man zuerst sich selber umfassend `gern haben´ können – also mitsamt all seinen Schwächen, seinen offensichtlichen oder versteckten `Schattenseiten´, seinen nicht immer angenehmen Eigenheiten (was, um Missverständnissen einmal mehr vorzubeugen, mit unkritischer Selbstverliebtheit gar nichts, mit kritischem Selbst- und Urvertrauen dagegen sehr viel zu tun hat)“ (S. 69).

Diese oben aufgeführten Charakterzüge können die Lehrtätigkeit wirksam unterstützen³⁰⁷, allerdings nur dann, wenn zusätzlich willentliche, ambitionierende Vorstellungen davon vorliegen, den Beruf einer Lehrkraft kompetent und erfolgreich auszuüben. Solche „selbstdefinierende Ziele“ (Brunstein & Mann, 2000) „subsummieren als Soll-Zustände eine Vielfalt persönlicher (...) und sozial anerkannter Attribute (...), die idealerweise zum Bestandteil der eigenen Identität werden können. Um eine Selbstdefinition erwerben und validieren zu können, muss eine Person immer wieder Handlungen ausführen, die für die betreffende Selbstdefinition charakteristisch sind, und sie muss Ergebnisse erzielen, die eine Annäherung an das angestrebte Identitätsideal dokumentieren“ (S. 86). Andererseits darf nicht übersehen werden, „wie Personen auf berufliche Situationen reagieren, in denen die Verwirklichung ihrer persönlichen Ziele und Ideale blockiert ist“ (S. 94). Findet dies überzufällig oft statt, dann kann es passieren, dass diese Ziele aufgegeben werden.

³⁰⁶ In einem SZ-Interview beschreibt der Schauspieler Klaus Maria Brandauer seinen Förderer mit den Worten „**Ich wurde von ihm liebend überschätzt**“ (SZ v. 26./27.8.2017, S. 52)

³⁰⁷ Diese Zusammenstellung entstammt einem Fundus von so genannten „Lehrmails“, kleinen, aber überaus praxisrelevanten Tipps zur Optimierung der Lehrtätigkeit in Universität und Schule. Sie wurden verfasst von Dr.-Ing. H.-Ch. Bartscherer und finden sich unter http://www.prolehre.tum.de: http://www.prolehre.tu-muenchen.de/cms/images/stories/lehrmails/lehrmails_gesamt.pdf und http://www.prolehre.tum.de/handreichungen/prolehre_handreichungen_lehren_20120923.pdf

Dies befördert u.a. auch den Blick auf die Bedeutungen der Praxisanteile des Lehramtsstudiums für das Kennen- und Beherrschenslernen der berufsrealistischen Anforderungen. Solche Praxiserlebnisse sind nur dann wirksam, wenn sie einer eingehenden Reflexion unterzogen werden, d.h. wenn 'aus Erfahrungen neue Gedanken werden' (Martin Walser, 2017). Weil diese Bedingung jedoch nur unzureichend erfüllt und die berufliche Unsicherheit weiterhin konstatiert wird, kommt es gebetsmühlenartig immer wieder zur Forderung, die Praxisanteile per se zu erhöhen. Diese quantitative Forderung vermag das qualitative Vakuum allerdings nicht zu kompensieren, was leider nicht immer ausreichende Beachtung findet (Gabriel & Weber, 2014). Völlig analog gilt dieses traditionelle Missverständnis auch für die Spannungen zwischen den Befürwortern einer Dominanz der fachwissenschaftlichen Qualifikation gegenüber den lehrerlernwissenschaftlichen Kompetenzen der Lehrkraft. „Fachkompetenz ist die Grundlage, auf der fachdidaktische Kompetenz aufbauen kann“; sie „ist demnach ein notwendiges, aber nicht hinreichendes Merkmal beliebtester Lehrer“ (Merzyn, 2017, S. 76). Auch hier gilt das Prinzip des „Sowohl-als-Auch“. Vernachlässigt man neben der fachlichen Expertiseentwicklung das didaktische und mathetische Know-how, so legt man den Grundstein für eine unzulängliche LehrerInnenbildung und damit für klassische Defizite der Unterrichtsentwicklung (Großschedl et al., 2014; Schlegel, 2016). Wie sehr dies die Chemie betreffen kann, zeigen Götz et al. (2014) in ihrer exemplarischen Analyse der Fachdidaktiken an der Universität Wien.

„Die Qualität des Unterrichts hängt weitgehend vom Lehrer ab; von der Wirksamkeit einer störungsarmen, lernförderlichen Klassenführung; von seiner Fachkompetenz, ...; von den diagnostischen Fähigkeiten, ... und von seiner unterrichtsmethodischen Kompetenz, d.h. von seiner Fähigkeit, unterschiedliche Schüler durch verschiedene Methoden wirkungsvoll zu unterstützen“ (Weinert, 1994, S. 279). Dies gilt auch, vielleicht sogar besonders, weil 50% der Leistungsvarianz von den SchülerInnen selbst und 30 % durch die Lehrtätigkeit verantwortet werden (Jäger, 2013, S. 283). Empirisch bestätigt werden kann die Hypothese, wonach ein überdurchschnittlicher Lernerfolg nur dann resultiert, wenn hohe diagnostische Kompetenz mit einer überdurchschnittlichen Häufigkeit von Strukturierungshilfen einhergeht. Zusätzlich haben die Lehrkräfte den größten Leistungszuwachs ihrer SchülerInnen, die das Leistungsniveau ihrer Schüler leicht unterschätzen, die also durch eine relativ geringe Leistungszuversicht motiviert sind, die vermeintlichen Schwächen ihrer SchülerInnen durch besonders gut strukturierten und didaktisch versierten Unterricht aufzufangen (Weinert, Schrader, Helmke, 1984, 1986, 1987). Damit werden lernförderliche Prozesse bei SchülerInnen ausgelöst und so das Verstehen, also das Herstellen von Beziehungen zwischen vorhandenem Wissen und neuen Informationen (Vorwissensaktivierung) begünstigt.

Heller & Hany (1996) schlagen vor, zur Sicherung von Förderprogrammen (nicht nur) für Hochbegabte, Lehrkräfte vornehmlich zusätzlich mit den folgenden Qualifikationen auszurüsten:

1. „Sensibilisierung für Fragen der Hochbegabtenförderung durch Informationsvermittlung (...);
2. Vermittlung von Wissens- und Handlungskompetenzen zur Identifizierung und Förderung hochbegabter Kinder und Jugendlicher;
3. Vermittlung von Wissens- und Handlungskompetenzen pädagogisch-psychologischer Beratung bei hochbegabungsspezifischen Problemen;
4. Modelle und Methoden der (formativen und summativen) Evaluation im Hinblick auf praktische Fördermaßnahmen, Identifikationsverfahren und Schulversuche“ (S. 503).

Zu ergänzen wäre:

- Repertoire an Lernstrategien, die durch eigene Erfahrungen elaboriert und fallweise an SuS empfehlend weitergegeben werden können (Ruffo, 2010).

Natürlich können diese Qualifikationen auf das gesamte Feld der Förderungen von SchülerInnen, also auf Inklusion ausgedehnt werden.

Die Berücksichtigungen von neurobiologischen Bedingungen eines Lernenden sowie die fachspezifische Gestaltung des Lehrprozesses *für* Inhalt *und* SchülerInnen sind primär volitionale Faktoren der LehrerInnenpersönlichkeit, zählen also zu den „beliefs“. Sie als Lehramtsstudierender³⁰⁸, als ReferendarInnen oder als Lehrperson der dritten Phase in entsprechender Ausrichtung ausbilden und perfektionieren zu *wollen*, stellt eine dritte notwendige Voraussetzung für die optimale Professionalitäts- und Kompetenzentwicklung dar. „Ich muss wollen, dass Sie erkennen, dass ich Sie zu informieren versuche – um Sie dazu zu bringen, dass Sie mir glauben, was ich sage“ (Schrott & Jacobs, 2011, S. 31).

In diesem Kontext kommen das Selbstbild, die Überzeugungen und Einstellungen und damit die Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrkräften auf den Prüfstand. Es sind nicht wenige LehrerInnen, die zwar ein besseres, wirkungsvolleres Handeln kennen, es aber nicht realisieren, weil sie von der tatsächlichen Wirksamkeit nicht (ausreichend) überzeugt sind, zusätzlich vielleicht auch von ihrer Umgebung nicht unterstützt werden. Diese Art der Einstellung, „kognitiv, affektiv und verhaltensbezogen“ (Smith, 1968) ist sehr verhängnisvoll, sodass schon in der LehrerInnenausbildung vermittelt werden muss, dass es wichtig ist, „eine bestimmte Handlung für sinnvoll zu halten, aber auch sich selber zuzutrauen, diese Handlung erfolgreich umsetzen zu können“ (Krause & Eilks, 2015, S. 174).

Das Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN-Kiel) arbeitete in den Jahren 2011-2013 an einem bundesweiten Projekt „Messung professioneller Kompetenzen in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen“ (KiL), innerhalb dessen auch zwischen Fächern differenziert wird³⁰⁹. In einem Aufgabenbeispiel wird dort (S. 3) nach „Prinzipien einer effektiven Klassenführung“ gefragt, u.a. mit der Vorgabe der Statements „Allgegenwärtigkeit“ (Kounin, 1977³¹⁰; Gold et al., 2013) und „adaptive Lehrkompetenz“

³⁰⁸ „Student“ kommt von lat. *studere* (= streben nach, sich bemühen um, auf etwas aus sein)

³⁰⁹ Vgl. auch IPN-Blätter 30 (2013) 3, S. 4 und: Tepner et al., 2012; Brovelli et al., 2013; Großschedel et al., 2014

³¹⁰ The Five Main points of Kounin's work are:

1. "with-it-ness"
2. overlapping
3. momentum
4. smoothness
5. group focus

"With-it-ness"

The teacher is responsible for inhibiting poor behavior. The teacher can maintain this strategy by making eye contact to all students at all times. The teacher should know each student on a personal basis (i.e. name, interests, strength, weaknesses, etc.) The teacher can use other non-verbal techniques to show students that they are alert and care about the well-being of all students. The teacher may also want to make a respectable suggestion to inform the student that their behavior is unacceptable. The teacher should have communicated to all students the expectations and can have these displayed so everyone can be "with-it".

Overlapping

The teacher can have procedures that will allow the teacher to be effective when two situations occur at the same time. For example, if a student is done with an assessment or an assignment early have something for them to do such as moving on to another assignment, reading a book, or a quiet enrichment exercise. While the early-finishers are staying busy the teacher is allowed to move around the room to

In diesem Kontext lässt sich ein Zielkatalog formulieren (Abb. C4), der auch für die LehrerInnenbildung Gewicht haben kann.

„Lehrbegabung“

‘hohe „Gegenwärtigkeit“ („withitness“), ausgeprägte ‘Adaptive Lehrkompetenz’ (Helmke, 1988), bestehend aus:

- Nutzung der Lernzeit
- Nichtauslagerung „fremdsubstituierter Instruktionsfunktionen“ (z.B. Hausaufgaben, die gerade zuhause sehr unterschiedlich unterstützt werden können)
- Klarheit, Strukturiertheit und Verständlichkeit der Ausführungen (s.o.)
- Schaffung geeigneter Formen der Lehr-Lern-Organisation (s.u.)
- Schülerorientierte Variation von Schwierigkeiten von Anforderungen
- Beobachtungs- und Förderungsorientierung
- Betonung und Abschwächung geschwindigkeitsbetonter kognitiver Schülerleistungen
- Diagnostische Sensibilität
- Positive affektive Tönung der Lehrer-Schüler-Beziehung’

Abb. C4: Zusammenstellung (sinngemäß) der Eigenschaften von LehrerInnen, die sogenannte „Optimalklassen“ unterrichten. Dabei handelt es sich um Klassen, in denen während des Unterrichts sowohl alle SuS einen hohen individuellen Lernfortschritt erleben und die Schere sich zwischen guten und weniger guten SchülerInnen zugunsten guter Leistungen schließt.

answer question or assist struggling students. Another example, if the teacher is in the middle of a lecture and a student enters the room the teacher should make eye contact with the student, have an area for the student to turn in work, and continue with the lesson. Once the students are doing their work the teacher can go to the tardy student and tell them what they missed or answer any questions from the homework assigned the night before.

Momentum

The teacher should make lectures short to allow students to group together and move around to gain more knowledge of the content. The teacher should make sure that these exercises remain short so students do not get bored. A teacher can keep a timer and assign roles to students to keep the students moving and on a time deadline. If students are struggling the teacher can reflect on what they can do to make the lesson more meaningful and easier to understand for their students.

Smoothness

The teacher can have students make hand gestures that will tell the teacher whether the student has a comment or question concerning the lesson. This technique allows the teacher to have an idea of which students may cause an unwanted tangent and which students may have a good question that could pertain to utilizing the time effectively. When placing students in group-work the teacher can walk around facilitating and listening to discussions of other students. The teacher can then intervene or take the group to a different track if the teacher feels it is necessary.

Group Focus

The teacher can implement this strategy with several techniques:

A. Encourage Accountability: Make students aware that they will be graded for their participation and contributions to the group.

B. The teacher can have a canister of popsicle sticks that have each student’s name on them. The teacher can pick the popsicle stick at random to keep students on track and out of their seats with anticipation for question/answer time, board problems, etc.

C. The students can facilitate a discussion. Once they have finished a task they can turn to each other or they could pair up with those who are already done and compare answers.

In order for implementation to be effective the teacher must be well organized, communicate their expectations to their students, and hold them responsible for their actions to encourage motivation and attention.

So muss sich der Lehrwille der Lehrperson mit dem eigenen berufsbezogenen Lernwillen paaren um in der Übernahme von Verantwortung sowie in der Fähigkeit, eigene Entscheidungen insbesondere auf dem Niveau reflektierter Ergebnisse aktueller Unterrichtsforschung begründen zu können, wirksam zu werden (Schmidt, 2004; Kahlert et al., 2013). Das gilt insbesondere dann, wenn Prinzipien wie Binnendifferenzierung, Individualisierung und „Inklusion“ (Heimlich & Kahlert, 2012; Reich, 2014) berücksichtigt werden; denn „Jede Lehrperson ist eine Begabungslehrperson“ und „Den ersten Ort der Begabtenförderung stellt der reguläre Unterricht dar“ (IPEGE, 2009, S. 31). In der Kompetenzdefinition nach Weinert (2001) aus den Nationalen Bildungsstandards (NBS) vom 16.12.2004 entsprächen diese Komponenten dem zweiten Satzteil, in dem es heißt: „..., sowie die damit [Fähigkeiten und Fertigkeiten] verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“. Also „sollten Lehrer von ihrer Wirkung überzeugt sein und sich für den entscheidenden Faktor des Schülerlernens halten“ (Bromme, 1997, S. 203).

Der Lehrwille ist für jedes Schulfach bedeutungsvoll. Im Bereich der Naturwissenschaften und insbesondere im Fach Chemie spielt er eine herausragende Rolle: „The reasons why young people do not develop interest for science are complex: however, there is firm evidence that indicates a connection between attitudes towards science and the way science is taught“ (European Commission, 2007, p. 8). Dieser besonderen fachbezogenen Argumentation folgt auch das „Nationale MINT Forum“ mit seinen „Zehn Thesen und Forderungen zur MINT³¹¹-Lehramtsausbildung“ (2013). Sie lauten sinngemäß wie folgt.

1. Der LA-Ausbildung muss an den Universitäten ein höherer Stellenwert beigemessen werden
2. Das LA-Studium und der Lehrberuf müssen für talentierte junge Menschen attraktiver werden
3. Der Stellenwert der MINT-Fächer muss in der GS gestärkt werden
4. Das Interesse an den MINT-Fächern muss in der Sek.st. I aufrechterhalten werden
5. Die LA-Ausbildung in den MINT-Fächern muss ein eigener Studiengang werden
6. Fach-, Erziehungs- und Vermittlungswissenschaften müssen miteinander verzahnt werden
7. Die Ausstattung mit FD-Professuren in den MINT-Fächern muss deutlich verbessert werden
8. Es muss attraktive Förderangebote für fachdidaktischen Nachwuchs geben
9. Es muss eigene Programme für die Weiterbildung von MINT-Quereinsteigern in den LA-Beruf geben
10. Universitäten müssen in die LFB miteinbezogen werden bzw. sie müssen die LB vollständig übernehmen³¹².

Welche Konsequenzen hat das für den lehrerInnenbildenden Alltag, etwa in den Fachdidaktiken? Hier könnte die prinzipielle Zielsetzung heißen: „(Nicht nur)

³¹¹ Es sei mit Vorsicht darauf hingewiesen, dass die Integration des Fachs Mathematik in den MINT-Fundus u.a. dazu führt, dass sich hinter der Förderung der MINT-Fächer eine sehr einseitige Förderung von Mathematik und Informatik verbirgt, was in den Preisverleihungen an verdiente „MINT-Schulen“ zurzeit durchaus deutlich aufscheint und den besonderen Blick auf das „N“ sehr nötig macht!

³¹² Dies gilt auch unter dem Gesichtspunkt der Qualität der Studierenden. Bei den LA-StudentInnen handelt es sich eben nicht um eine Negativauswahl. Nach einer aktuellen Untersuchung von Roloff-Henoch (IPN Kiel, 2015) zeichnen sich LA-Studierende mit MINT-Fächern neben emotionaler Stabilität und Gewissenhaftigkeit „durch ein statistisch signifikant höheres Maß an Extraversion (=Herzlichkeit, Geselligkeit, Frohsinn) und ein starkes soziales Interesse (=Interesse am Unterrichten/Erziehen, Interesse an Problemen anderer) aus“

Lehramtsstudierende müss(t)en in ihrer Ausbildung so behandelt werden, wie sie später ihre SchülerInnen behandeln sollen!“³¹³ Was sie als Lehrverantwortliche also in ihrem jeweiligen Unterrichtsfach handelnd bewirken sollen, müssen sie im Studium an sich selbst erleben und als eigene Lernerfahrung reflektieren können (vgl. auch: Roos & Leutwyler, 2011). Vielleicht gelingt es den Lehrkräften dann immer besser, „die Verbindung zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen und schulischem Handlungswissen herzustellen“ (Rolff, 2002, zit. aus Groß-Ophoff et al., 2007, S. 415); denn „Ein auf professionelles Wissen konzentriertes Lehrerbild ist ein verengtes Bild. Unterricht ist immer auch soziales Geschehen“ (Merzyn, 2017, S. 78).

Die Bedeutung solcher frühen Erfahrungen an sich selbst wird auch gestützt durch Untersuchungen, wonach „die entscheidende Basis zur Entwicklung der Unterrichtskompetenz eben bereits in der Ausbildung angelegt wird“ (Smit et al., 2013). Hierzu zählen auch die Erfahrungen mit Schülern „zwischen Schule und Universität“, also in den Praktikumsphasen, während derer Lehrversuche der Selbsterprobung und Reflexion durch StudentInnen und ExpertInnen dienen. Solche außerschulischen Kontexte in der LehrerInnenbildung lassen sich auch als „Third Space“ bezeichnen (Christoforatu, 2011).

Sie sind allerdings nur dann expertisefördernd, wenn sie reflektiert werden! "Lehrer unterrichten Schüler und Fächer und das immer wieder unter neuen Bedingungen. Eine innovationsresistente Festigung von [eigenen] Schülererfahrungen im Fach Chemie erschwert den Perspektivenwechsel zum Lehrer, führt zur Deprofessionalisierung von Lehramtsstudierenden und behindert die Weiterentwicklung von Unterricht!"

So findet sich im Sammelband von Fensham (2004) unter dem Thema „Teacher Education“, eine Beschreibung der Forschungsarbeiten von Russel und Munby „In a paper in the Journal of Teacher Education they began to investigate the degree to which their student science teachers, ..., expect to be told how to teach and are quite unprepared for the notion that they have to take note of, and learn from, their own experiences of teaching“ (S. 98).

Untersuchungen an den Schulpraktikanten der LMU München zeigen:

- 40% der LA-Stud. haben keine belastbare Berufswahlmotivation
- Praxissemester führen zu Scheinsicherheit sowie Theorie- und Fortbildungsresistenz
- LA-Stud. suchen in der Praxis die Bestätigung ihrer subjektiven, als S&S passiv erworbenen Theorien → Deprofessionalisierung.

Dies lässt die Schlussfolgerung zu:

- „Wir brauchen mehr qualitativ hochwertige, theoriegeleitet reflektierte und curricular vernetzte Praxisphasen in der LB“
- Die unterschiedlichen Wissensformen von Schule und Hochschule sind komplementär aufeinander verwiesen“ (C. Schlegel, Leiter des PA der LMU Mchn, 2015).

Für die konkrete Durchführung von Lehrversuchen unter der Betreuung von fachdidaktisch kompetenten Coaches bedeutet dies wiederum:

- Frontalposition im Lehrversuch bei den Mitstudierenden (→aktiv)
- Beobachtungsaufträge (fokussiert) im LV (→analytisch)
- subjektive Theorie durch gelernte Theorie veredeln
- Auswahlentscheidungen für geplantes Vorgehen

³¹³ „Nehmen wir ihn [den Menschen] einfach so, wie er ist, dann machen wir ihn schlechter; nehmen wir ihn hingegen so, wie er sein soll, dann machen wir ihn zu dem, der er werden kann“ (sinngemäßes Goethe-Zitat in: Frankl, 2015, 1977, S. 14)

- Begründungen für eigene Entscheidungen
- Fragen stellen auf der Basis aktualisierter Theorie → Ursachenforschung
- Reflexion (→reflexiv)
- Neue Entscheidungen mit neuen Begründungen → Unterrichtsentwicklung (→struktureller Kompetenzaufbau)

In solchem Kontext mag es interessant und zielführend zugleich sein, sich –analog zu den Entwicklungsaufgaben nach Havighurst (1948) - mit den Entwicklungsaufgaben für die Lehrergenerese nach Hericks (2009; Vgl. auch Sikes et al., 1991) auseinanderzusetzen:

- Rollenfindung (Lehrstil)
- Vermittlung (Didaktische & mathetische Aufbereitung)
- Anerkennung (SchülerInnenwahrnehmung)
- Kooperation (Nutzung institutioneller Rahmenbedingungen).

Bei Köffler (2015) finden sich zudem in vier Bereiche aufgeteilte „Subjektive Entwicklungsaufgaben des Lehramtsstudiums“ (S. 57):

1. Kompetenz
2. Resilienz
3. Fehlertoleranz
4. Selbstkonzept

Dies wird ergänzt durch www.teacher-map.ch mit einer Auflistung von neun Kompetenzbereichen (Vermitteln, Fördern, Beraten und Begleiten, Leiten und Entwickeln, Evaluieren und Analysieren, Intervenieren, Informieren und Kommunizieren, Betreuen, Organisieren und Administrieren) in vier Tätigkeitsfeldern (Lernende, Klasse, Unterricht; Schule vor Ort; Schulsystem; Außerschulische Tätigkeitsfelder) (Leutwyler & Herzog, 2011).

Auch Kraler (2012) stellt eine Liste von Entwicklungsaufgaben auf, hier für Lehramtsstudierende:

- „Ethisch-motivational-personales Element als berufsethische Entwicklungsaufgabe (Menschen mit eigenem Potenzial sehen, sie dabei unterstützen; Kinder gerne haben, Sachen lieben; Stärken bewusst machen, mit Schwächen umgehen lernen; Offenheit, Begeisterung, Authentizität)
- Professionsspezifisch metakognitiv-reflexives Moment als professionskonzeptionelle Entwicklungsaufgabe (professionelle Rolle, Anforderungsprofil, Berufsbild vermitteln; eigene Arbeit selbstreflexiv betrachten, SchülerInnenreaktionen beobachten)
- Handlungsorientiert-unterrichtliches Moment als Entwicklungsaufgabe: Unterrichtliche Handlungskompetenz (Lernarrangements, Lernstile, Perspektivenwechsel; fachliche, gruppendynamische Souveränität; auf die SchülerInnen eingehen, Freude vermitteln, angstfrei unterrichten, interessante Atmosphäre schaffen“ (S. 4).

In einem laufenden Projekt zur Entwicklung eines „Eignungstests für Anwärter eines Lehramtsstudiums“³¹⁴ sind die folgenden Eigenschaften eines ´guten Lehrers´ eruiert worden (Vgl. auch: Weiß et al., 2014):

³¹⁴ In einem Vortrag vom 18.2.2013 bei einer Sitzung der `Arbeitsgemeinschaft Fachdidaktiken` (AG-FD) der LMU referierte der Inhaber des Lehrstuhls für Schulpädagogik an der LMU, Herr Professor Dr. Ewald Kiel u.a. über Personenmerkmale, welche in ihrer optimalen Ausprägung die Eigenschaften eines guten Lehrers beschreiben.

Mittlerweile steht auf der homepage der LMU München das Online-Tool „Self“ (Selbsterkundung zum Lehrerberuf) als Selbstprüfsystem zur Verfügung: <http://www.self.mzl.lmu.de/self-starten-sie-hier/>

- Hohe Selbstwirksamkeitserwartung,
- keine dysfunktionalen Kognitionen zur Vermeidung unerfüllbarer Erwartungen,
- hohe Unsicherheitstoleranz (Ambiguitäts-³¹⁵),
- vielfältige Copingmuster³¹⁶ um mit vielerlei Belastungen umgehen zu können,
- hohe Selbstwertschätzung unter Nutzung vieler Gratifikationsquellen (Anerkennungen in der `richtigen Währung`) sowie
- realistische Berufswahlmotive³¹⁷ (Weiß et al., 2014).

Hinzu kommt nach Groß-Ophoff et al. (2007) eine Typisierung einer Lehrperson nach der Art und Weise, wie sie Feedback (etwa aus Supervisionen³¹⁸) rezipiert:

- „Rezeptions-Typ 1“ reagiert rasch und konstruktiv auf Möglichkeiten der Unterrichtsentwicklung,
- „Rezeptions-Typ 2“ beschränkt sich auf kleine Korrekturen und
- „Rezeptions-Typ 3“ findet Gründe für die Beibehaltung des Bisherigen (S. 423).

Die pessimale Ausprägung dieser Kriterien führt zum „Ausbrennen“ (Depressionskrankheit: „burnout“). Es wird an der LMU aktuell daran gearbeitet, diese in der LehrerInnenausbildung auszuformenden Merkmale in charakteristische „Entwicklungsaufgaben eines Lehrers“ (Hericks, 2009; vgl. auch Havighurst, 1948) zu übersetzen und hieraus Ausbildungsinhalte für die Bewältigung schulartspezifischer „Anforderungssituationen“ abzuleiten. Ihre Bewältigung kann zusätzlich wesentlich unterstützt werden durch Arbeitsbedingungen, welche in der Schule selbst eingestellt sind bzw. fehlen (die %-Werte beschreiben „erforderlich“ vs. „gibt es an meiner Schule“; Befragung von 1001 Lehrkräften an allgemeinbildenden Schulen in Deutschland³¹⁹, 2016):

- ein gutes Verhältnis zu und Hilfsbereitschaft unter den Kollegen (93/90)
- eine gute Zusammenarbeit mit den Eltern (89/73)
- ein Verhältnis zur Schulleitung, das von Respekt und persönlicher Integrität geprägt ist (89/79)
- berufsbegleitende Fortbildungen (86/72)
- die Einbindung der Schule in ein multiprofessionelles Team (85/59)
- Angebote zur Gesundheitsprävention (65/36)
- Supervision (63/28)
- Unterstützung beim Zeitmanagement (54/18).

Bezüglich des „Rezeptions-Typs 1“ (s.o.) seien Hüber & Käser (2015) zitiert. Nach ihrer Fragebogenstudie an 100 Lehrpersonen und 2230 SchülerInnen, die diese unterrichteten, kann auf einen „mittleren Zusammenhang“ zwischen Belastungserleben und der Registrierung der Art und Weise, wie die SchülerInnen das Angebot ihres

³¹⁵ Die ausgesprochen hohe Aktualität und Bedeutung, insbesondere für die Erziehung zur Demokratie wird durch das Büchlein von Thomas Bauer (2018) mit dem Titel „Die Vereindeutigung der Welt – Über den Verlust an Mehrdeutigkeit und Vielfalt“ eindrucksvoll belegt

³¹⁶ **Coping** (vom englischen: *to cope with* = "bewältigen", "überwinden") bezeichnet das Bewältigungsverhalten einer als bedeutsam oder belastend empfundenen Situation oder einer Lebensphase. Mit Coping werden Prozesse beschrieben, die dazu dienen, erwartete oder bereits eingetretene Belastungen und Einschränkungen kognitiv, emotional und aktiv handelnd auszugleichen und zu meistern (Wikipedia, Zugriff: 27.6.13)

³¹⁷ Vgl. hierzu:

- Anton, M. A. (2001). Lehrerbildung ist Elitebildung. Berliner Debatte Initial 12 (2001) 2, 103-119
- Markic, S.; Eilks, I. (2008). Unterrichtsbezogene Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie am Beginn ihres Studiums und ihre Einordnung. ChemKon 15 (2008) 2, 69-74

³¹⁸ Vgl. hierzu: „Global Teaching Insights: A Video Study of Teaching“ der OECD (ChemKon 28 (2021) 1, 46)

³¹⁹ www.vbe.de/presse/meinungsumfragen.html

Unterrichts annehmen oder nicht, geschlossen werden. Das bedeutet, dass „Lehrerselbstwirksamkeit als protektiver Faktor vor Burnout zugleich auch für die Wahrnehmung des Unterrichtsangebots durch die Schülerinnen und Schüler von besonderer Bedeutung ist“ (S. 120).

Hier lassen sich die klassischen Untersuchungen von Schaarschmidt (2001) ins Spiel bringen. Der Versuch, Lehrerpersönlichkeiten hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Belastbarkeiten zu charakterisieren, führte zur Unterscheidung von vier Mustern, welche unter Anwendung eines Testinstruments „AVEM“ (Arbeitsbezogenes Verhaltens- und Erlebensmuster) ermittelt wurden:

G: Gesundheit und gesundheitsförderliches Verhältnis zur Arbeit

S: Schonung im Verhältnis zu den Arbeitsbedingungen

A: Überhöhtes Engagement, Verausgabungsbereitschaft und Perfektionsstreben

B: geringe subjektive Bedeutungsbeimessung der Arbeit, geringer Ehrgeiz (Arold et al., 2001).

Diese Typisierung entspricht wiederum der Einteilung von Selbstregulationstypen von Klusman (2008, zit. aus vbm, 2014, S. 121) anhand zweier Skalen:

Skala 1 „berufliches Engagement“ (Bedeutsamkeit der Arbeit, beruflicher Ehrgeiz, Verausgabungsbereitschaft, Perfektionsstreben) und

Skala 2 „berufsbezogene Widerstandsfähigkeit“ (Distanzierungsfähigkeit, niedrige Resignationstendenz nach Misserfolgen (vgl. Resilienz!), offensive Problembewältigung, innere Ruhe und Ausgeglichenheit)³²⁰.

Es ließen sich Personengruppen unterscheiden, die auf beiden Skalen eine hohe („Healthy ambitious“) bzw. eine niedrige Ausprägung zeigten („Unambitious“) und solche, die auf Skala 1 eine hohe und auf Skala 2 eine geringe Betonung fanden („Excessively ambitious“) bzw. bei denen es sich umgekehrt verhielt („resigned“). Die erste Gruppe zeigte u.a. eine höhere Berufszufriedenheit als sie sich bei den übrigen Gruppen einstellen ließ.

Bei der näheren Betrachtung der Bedingungen, die zu stabilen und belastbaren *Lehrkräften* (sic!) beitragen, tauchen zwei Perspektiven gegenüber den geistigen und körperlichen Befindlichkeiten auf.

Einmal ist das die „Salutogenese“ (*Kraft, mit der die Gesundheit sich behauptet*), formuliert 1979 vom amerikanisch-israelischen Medizinsoziologen Aaron Antonovsky (Schaefer, 2002), welche sich eher auf die Stärkung der Abwehrkräfte für die Gesunderhaltung konzentriert und erst sekundär auf die Heilung von Krankheiten gerichtet ist. Dabei entscheiden die Ressourcen, die ein Mensch als Widerstand gegen Belastungen besitzt, ob sich diese als Gesundheitsstörungen äußern oder nicht (Drechsler-Köhler & Salzner, 2007, S. 6). Entscheidend ist dabei eine psychologische Grundhaltung („Sense of Coherence“, „Kohärenzgefühl“), die sich aus drei Komponenten zusammensetzt:

„1. Dem Gefühl der Verstehbarkeit (Anforderungen und Anregungen werden als verstehbar und nachvollziehbar empfunden),

2. dem Gefühl der Bewältigbarkeit (Überzeugung eines Menschen, dass die an ihn gestellten Herausforderungen und Anforderungen aus eigener Kraft oder mit fremder Unterstützung bewältigbar sind) und

3. dem Gefühl der Sinnhaftigkeit (Ausmaß, in dem das eigene Leben als sinnvoll und wertvoll wahrgenommen wird)“ (S. 6).

Die zweite Perspektive umfasst das Phänomen der „Resilienz“ (*Widerstandsfähigkeit, „Stehaufmännchen-Phänomen“*). Bei ihr handelt es sich um die Suche nach und die

³²⁰ Nord-Rüdiger (1993) bietet hinsichtlich der „Lehrerangst“ ein Selbsthilfe-Programm für Lehrer an: Frankfurter Lehrerangst-Selbsthilfe (FLASH)

Festigung jener Faktoren, die erlebte Missstände überwinden helfen und sie nicht zu Endpunkten der Lebensfreude werden lassen³²¹. Hier soll auch verwiesen werden auf die Bedeutung der Kommunikationsfähigkeit (Grössing & Sertl, 2015), welche u. a. vorzeitige Relativierungen des eigenen Problemempfindens erleichtert. Beides kennzeichnet die Persönlichkeit, die sich für Entwicklungen zum Besseren hin stark macht.

Im Zusammenhang mit der Ausbildung von Routinen einerseits und der Bereitschaft zur Implementation von Innovationen³²² andererseits darf davon ausgegangen werden, dass eine Gleichgewichtseinstellung von besonderem Interesse sein sollte. Dies gehört allerdings nicht zu den leicht lösbaren Problemen: „Die Zusammenarbeit von Praktikern und Wissenschaftlern ist nicht *per se* produktiv“ (Gräsel & Parchmann, 2004, S.210). In Abb. C5 wird dieses Zusammenspiel schematisch verdeutlicht. Der Versuch, in dieses Schema auch die Belastungsmuster zu integrieren, ist diskutierbar, sollte aber die denkbaren Beziehungen zwischen unterschiedlichen Dispositionen sowie professionellen Selbstverständnissen zumindest anreizen.

³²¹ Kompetenz zur konstruktiven Lebensbewältigung

- Gesunde Entwicklung trotz Risikostatus
- Beständige Kompetenz trotz kritischer Lebensereignisse
- Schnelle Erholung bei traumatischen Erlebnissen

³²²In der Fachliteratur zu Wirtschaft und Handel findet man ausführliche Darstellungen zu dem, was unter Innovation zu verstehen ist. Die folgenden Differenzierungen lassen sich aber auch auf unterrichtliche Neuerungen anwenden:

„**Invention**“ (lat. invenire = zufällig auffinden): Neue Idee: Prototyp(neutral): Erfindung

„**Innovation**“ (lat. innovare = erneuern): Prototyp: Produktion(nützlich): Erneuerung

„**Diffusion**“ (lat. diffundere = ausbreiten): Produktion: Vermarktung(nötig): Verbreitung

„**Implementierung**“ (lat. implere = an-, erfüllen): Vermarktung: Konkretisierung: Bewährung

Zu den „**Innovationsstandards**“ zählen nach Hameyer (1999):

- Überschaubarkeit (klar & eingeschränkt)
- Situationsbezogenheit (konkret)
- Bedeutsamkeit (wichtig)
- Angemessenheit (rentabel)
- Lernfähigkeit (veränderungsbereit)
- Durchführbarkeit (gestützt)
- Dauerhaftigkeit (weitergehend)

und lassen sich zusätzlich durch **Innovations-Diffusionsstufen** charakterisieren:

• Innovatoren	5%
• Early Adopters	+15%
• Frühe Mehrheit	+30%
• Späte Mehrheit	+30%
• Laggards (Nachzügler)	+20%

Das Diagramm stellt den Prozess der Ressourcenentwicklung und des Coping dar. Es ist in zwei Hauptbereiche unterteilt: Ressourcenentwicklung (oben) und Coping (unten).

Ressourcenentwicklung: Ein zentraler Prozess, der von **Stressor** und **Ressource** beeinflusst wird. Er besteht aus den Phasen **Routine**, **Erfahrung** und **Reflexion**, die durch Pfeile verbunden sind. Ein zentraler Pfeil zeigt auf **Erfahrung**, der von **Einflussnahme durch die Lehrerbildung** beeinflusst wird. Ein weiterer Pfeil zeigt auf **Reflexion**, der von **Visionen** beeinflusst wird.

Coping: Ein Prozess, der von **Pragmatismus** und **Visionen** beeinflusst wird. Er besteht aus den Phasen **Verstärkung**, **Handeln** und **Korrektur**, die durch Pfeile verbunden sind. Ein zentraler Pfeil zeigt auf **Handeln**, der von **Pragmatismus** beeinflusst wird. Ein weiterer Pfeil zeigt auf **Korrektur**, der von **Visionen** beeinflusst wird.

Die Ressourcenentwicklung führt zu **Erfolgloses Coping** (links) und **Erfolgreiches Coping** (rechts). Das Coping führt zu **Ressourcenerhalt, -gewinn** (rechts).

Die Phasen sind weiter unterteilt in Typen: **B-Typ** (Verstärkung), **A-Typ** (Handeln), **S-Typ** (Handeln) und **G-Typ**** (Korrektur). Ein Pfeil am unteren Rand zeigt den Übergang von B-Typ zu G-Typ.

Man geht heute davon aus, „dass erlernbare Kompetenzen und ein damit einhergehendes positives emotionales Erleben der beruflichen Herausforderungen Grundlage einer erfolgreichen Tätigkeit als Lehrkraft sind“ (vbw, 2014). Hierzu zählt auch der „Lehrerenthusiasmus“, definiert als „Grad des positiven emotionalen Erlebens während der Ausübung der Lehrtätigkeit“ (Kunter et al., 2008, zit. aus vbw, 2014, S. 125).

Man kann zudem annehmen, dass die Rolle von „Visionen“, welche die Lehrkraft für beide Bereiche, für das Unterrichten per se und für das Vermitteln speziell der fachspezifischen Inhalte ebenfalls differieren. Im Bereich der Unterrichtsführung mit mathetischer Komponente sowie im Bereich der fachlichen Aufbereitung, der Didaktik müssen offensichtlich auch entsprechende Soll-Wert-Entwürfe vorliegen. In der Summe beider „Visionsarten“ wäre dann eine ideale Formatierung des Prinzips „Entwicklung von (Chemie)Unterricht“ erreicht. Hierzu gilt dann nach De Brigard (2016): „Zukunftsvisionen wirken realistischer, wenn man sie sich immer wieder vorstellt“ (S. 21).

221

Gestalten einer Leistungs- (oder sportlich formuliert Wettbewerbs-)situation (vs. Lernsituation) bewusst gemacht und geschärft werden soll.

Der aus der Psychologie stammende Begriff der „Proaktiven Hemmung“ beschreibt die Tatsache, dass in Stress- (also Prüfungs-)situationen nicht –wie erwartet- die innovativen Kenntnisse und Strategien eingesetzt werden, sondern das so genannte „Altbewährte“, also Vorkenntnisse und schon Erprobtes. Um dies zu vermeiden und dem Prüfling die Option zu eröffnen, die neuen Erkenntnisse, das aktuell erworbene Wissen zu präsentieren, macht es Sinn, bei mündlichen Prüfungen im Unterrichtsverlauf oder in assessments in Form von „Eisbrecherfragen“ langsam an anspruchsvolle Problemstellungen heranzuführen, Bekanntes zu aktivieren, um an das Neue anzuschließen. Hiermit wird der genetisch fundierte Schutzmechanismus umgangen und die eigentliche(!) Leistungsfähigkeit manifest.

Am Ende dieses Kapitels vom „Lehrwillen“ sei ergänzend auf einen interessanten Zusammenhang mit der menschlichen Evolution hingewiesen. Im Vortrag „Der hilfsbereite Menschenaffe – Wie gemeinsame Fürsorge uns zum Menschen machte“ von Carl van Schaik in der Siemens-Stiftung (München) im Februar 2020 erklärte der Autor (Primatologe, Universität Zürich) anhand seiner Forschungen an Menschenaffen (Uorang-Utans), dass die evolutive Abspaltung der Hominiden innerhalb des Stammbaums sehr wahrscheinlich auf der Ausweitung des Lernens durch Nachahmung in Richtung aktives Lehren durch die Elterngeneration beruht. Die ‚Menschwerdung‘ besteht also -sehr pointiert ausgedrückt- im „Lernen-Wollen“ sowie im „Lehren-Wollen“ und „Lehren-Können“ und hier in erster Konsequenz und auf der Basis erhöhter Aufmerksamkeitsdifferenzierungen im „Loben-Können“ oder „Tadeln-Können“, also im Rückmelden von Erfolg bzw. Misserfolg, verbunden mit der Möglichkeit, korrigierend zu helfen. Hierbei spielt die Entwicklung von unterschiedlich komplexen Sprech- und Sprachfertigkeiten eine zentrale Rolle für den Erfolg dieser Evolutionsrichtung, sozusagen als Selektionsvorteil bis hin zum Alleinstellungsmerkmal. Dies könnte zur Hypothese berechtigen, wonach für solches Lehren und Lernen eine sehr lange Kindheit erforderlich ist (Abb. C6).

„Menschwerdung!“ und die Bedeutung des „Lehrens“

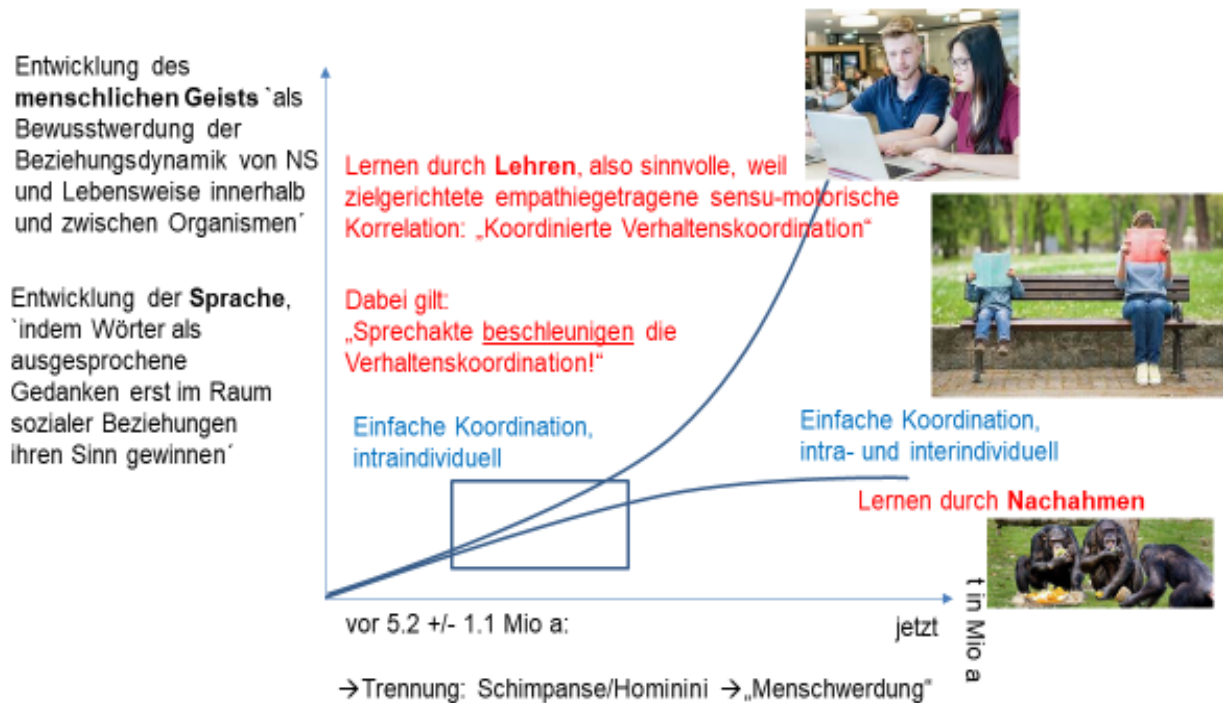


Abb. C6: Übersicht zu den Stadien des Lehrens. Erst beim Menschen geschieht es, dass ein Elter aktiv helfend beim Erlernen einer Handlungsweise beim Kind eingreift!
(Zusammenstellung nach Maturana, H. (2001). Was ist Erkennen? Die Welt entsteht im Auge des Betrachters. München: Goldmann; Schaik, C. von (2020). Der hilfsbereite Menschenaffe – Wie gemeinsame Fürsorge uns zum Menschen machte. (Vortrag in der Siemensstiftung, München am 18.2.2020)

Bei Spitzer (2020) heißt es hierzu: „Hunderttausendfach im Laufe des Lebens eines Menschen ablaufende Interaktionen – wie zum Beispiel: jüngerer Mensch, ungeduldig, neugierig: „Wie geht denn das?“ – älterer Mensch, geduldig, verständnisvoll: „Komm, ich zeig’s dir“ – sind durch nichts zu ersetzen“ (S.238).

C 1.2 Vermittlungswissenschaft – Ein Vier-Qualifikationen-Konzept

Aus den eingangs beschriebenen Modellierungen von Unterricht als eine der Grundlagen von signifikanten Lehrqualifikationen lassen sich zumindest zwei wichtige Anspruchsebenen ableiten:

- Die Sicherstellung fachwissenschaftlicher Inhalte, etwa in Form eines Grundwissensbestands, der es auch erlaubt, innovative Entwicklungen kritisch mitzuverfolgen. Dies geschieht durch die Tätigkeit von Lehrkräften, die in der Regel mehrfach fachlich qualifiziert sind. Basis hierzu ist das Studium der betreffenden Fachwissenschaften. Hier sei darauf hingewiesen, dass an die Lehrämter sehr unterschiedliche fachwissenschaftliche Ansprüche gestellt werden. Sie müssen jedoch immer über den Anforderungen des jeweiligen Lehrplans stehen!
- Die Erfüllung des Erziehungsauftrags. Hierauf bereiten erziehungswissenschaftliche Studien vor (Glöckel, 1996; Gudjons, 1999; Kron, 2001; Apel & Sacher, 2005; Rahm et al., 2006; Hasselhorn & Gold, 2006). Diese sollten auch schulartbezogene Schwerpunkte und Spezialisierungen aufweisen (Marotzki et al., 1996).

Ziel ist es also, kognitive Fähigkeiten und individuelle Persönlichkeitsmerkmale von SchülerInnen zwar nicht als gleich, jedoch als gleichwertig zu betrachten (Fried, 1998; Roeder, 2002). Das bedeutet, Inhalte und Methoden fach- und lernerorientiert aufeinander abzustimmen bzw. zwischen den Inhaltsansprüchen, herleitbar aus der fachwissenschaftlichen Qualifikation (Content Knowledge: CK) und den Lernervoraussetzungen, herleitbar aus der erziehungswissenschaftlichen Qualifikation (Pedagogical Knowledge: PK) so zu vermitteln, dass ein möglichst effektiver domänenspezifischer und persönlichkeitsbildender Lernerfolg gewährleistet ist³²³. „Wenn man einen `Stoff` an den Schüler bringen will, muss man sich gleichwertig um den *Stoff* und um den Schüler kümmern“ (Martin-Beyer, 2003). Es gilt das Herstellen eines lehrfähigen Systems mit dem Herstellen eines lernfähigen Systems zu verbinden. Weder Fachwissenschaft noch Erziehungswissenschaft wären allein in der Lage, den hier beschriebenen Kern der Professionalität der Chemielehrkraft auszubilden. Er entspricht einer übergeordneten Qualität. In seinen Ausführungen anlässlich einer Vortragsveranstaltung in der Hanns-Seidel-Stiftung in München vom 9.2.2006 bringt es Hans-Jürgen Baumert auf den Punkt, indem er bei Lehrkräften die Effektstärken der Unterrichtsleistung mit PCK und ohne PCK vergleicht. Demnach ist die Korrelation zwischen PCK des Lehrers und der Matheleistung der Klasse mit $d=.53$ beschreibbar, diejenige von Fachkompetenz mit Matheleistung dagegen nur mit $d=.14$!

Eigene Beobachtungen weisen darauf hin, dass gerade diese Synopse, die „Fachdidaktik“ für viele Studienanfänger gerade zu Beginn der Studien noch ein „Buch mit sieben Siegeln“ darzustellen scheint³²⁴. Werden mit Fachwissenschaft, Erziehungswissenschaft und (etwas entfernt) auch Unterrichtsmanagement noch realistische Assoziationen verbunden, so gilt das für die (fach-)didaktischen Zielsetzungen und Inhalte nicht auf gleiche Weise. Insofern ist es erforderlich, dass sich die FachdidaktikerInnen gleich am Anfang ihrer Lehrveranstaltungen um eine klare

³²³ Das Lernen per se erscheint als so bedeutsam, dass im 17. Jht. im heutigen japanischen Thinktank Kiryu ein Schrein erstellt wurde, an dem der Gottheit des Lernens TENMANGU gehuldigt wird (Vieser, 2015)

³²⁴ Neben den **Fach**didaktiken gibt es auch die sogenannte „Allgemeine Didaktik“ oder „Didaktik“. Sie summiert die in jedem Fach gültigen Regeln für die Lehre auf. Vgl. hierzu auch: von Martial, 2002; Kron, 2000; Memmert, 1995; Bönsch, 1996

Definition ihres Lehrbereichs bemühen und der sich hieraus ergebenden Verantwortung bewusst sind. In diesem Zusammenhang wurden im Wintersemester 2015/2016 Studierende des Lehramts (hier: Chemie) an GS, MS und GY (N=69 aus N(GSMS)=9; N(RS)=8; N(GY)=52) nach ihren Vorstellungen von den Aufgaben der Fachdidaktik sowie nach den erwartbaren Effekten beim Besuch ausgewiesener fachdidaktischer Lehrveranstaltungen (Vorlesung, Seminar, Praktikum) befragt. Dabei kristallisierten sich die folgenden Einschätzungen (Likert-Skala von 1(=trifft vollständig zu) bis 4(=stimmt keinesfalls) heraus:

Die Vorstellungen von dem, was FD (hier: Chemie) als Kerngeschäft zu leisten hat, sind im Vergleich zu vor etwa 15 Jahren weitgehend realistisch: Dem Statement „Die Chemiedidaktik zeigt, wie fachwissenschaftliche Inhalte schülerInnen- und jahrgangsstufengerecht sowie lehrplangerecht verstehbar gemacht werden können“ wird mit 1.3 zugestimmt. Analoges gilt für: „Die Chemiedidaktik gibt Hinweise zu den Steigerungsmöglichkeiten von Motivation und zur Interessenentwicklung der SchülerInnen“: 1.5., „Die C. erarbeitet Modelle für Unterricht, Wissen und Lehrlernprozesse“ (1.5) sowie „Die C. gibt Gelegenheit, schulspezifische Experimente zu erproben“ (1.7).

Interessant ist, dass auch „Die Chemiedidaktik unterstützt die Umsetzung der allgemeinen Erziehungs- und Bildungsaufträge für das Fach Chemie“ mit 1.9 bewertet wird. Es wird auch deutlich erkannt, dass die Lehrplangenese keine Funktion der Chemiedidaktik ist (2.9). Bei den Zusatzangeboten in der Ausbildung wird den „Übungen im Demonstrieren und Vortragen“ die höchste Priorität zugemessen (1.2), dem Fotokurs die geringste (3.1). Im Zuge der Bewertung der Ausbildungsphasen steht das Referendariat im Mittelpunkt: 1.3, gefolgt von Phase I (Uni) mit 1.5 und LehrerInnenfortbildung mit 1.7. Alle drei Phasen liegen in ihrer Wertschätzung aber doch sehr eng beisammen. Die offenen Antworten auf die Frage nach den Qualifikationen von LehrerbildnerInnen umfassen jeweils mehrere Kriterien, wobei sich die folgende Prioritätenliste erstellen lässt:

- Selbst gut unterrichten und erklären und sich auf die SuS (Stud.) einstellen können
- Berufserfahrung als LehrerIn und fachliche Kompetenz besitzen
- Aufgeschlossen und kritisch eingestellt sein, auch gegenüber modernen Medien.

Dabei wird deutlich, dass LehrerbildnerInnen als Vorbild fungieren sollen bezüglich dessen, was sie von den Studierenden als Ausbildungsziele anstreben³²⁵. Ziele der universitären Chemiedidaktik verbleiben im schulischen Kontext so lange ungehört und unverfolgt, wie es nicht gelingt, die angehenden Lehrkräfte bereits als Studierende des Lehramts von innovativen Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Weiterentwicklung von Unterrichtsqualität im Fach Chemie in dem Maße zu überzeugen, wie sie diese Möglichkeiten im Zuge der spürbaren Qualität chemiedidaktischer Lehrveranstaltungen effektiv *und* effizient an sich selbst erleben und reflektieren können.

Richtige Assoziationen (s.o.) ergeben sich aus einer fachspezifischen Verschmelzung einer eher inhaltsbezogenen Didaktik mit einer eher adressatenbezogenen Mathetik³²⁶ (Chott, 2001; Vogelezang, 2002; Anton, 2003a&b, 2006; Salner-Gridling, 2009). „Wenn man einen `Stoff` an den Schüler bringen will, muss man sich gleichwertig um den *Stoff*

³²⁵ Es wird auch von den Studierenden des Lehramts GS/MS gefordert, sie auf den Vorbereitungsdienst (Phase II) hin vorzubereiten. Das muss deshalb ernst genommen werden, da ja dort sofort mit eigenem Unterricht begonnen wird, anders als bei den Referendaren im Bereich von RS und GY.

³²⁶ Mathetik: Lehre vom Lernen (gch. mathein = etwas lernen), ars discendi = Kunst zu lernen: W. Ratke (1571-1635)

Didaktik: Lehre vom Lehren (grch. didaskein = etwas lehren), ars docendi = Kunst zu lehren: J. A. Comenius (1592-1670)

wie um den *Schüler* kümmern“ (Martin-Beyer, 2003, S.30). Als Begriff für diese synergistischen Leistungen bietet sich „Vermittlungswissenschaft“³²⁷ an, hier für Chemie, auch wenn „Fachdidaktik“ traditionell beibehalten werden soll (Ralle, 2010). Hieraus leitet sich die Forderung nach einer expliziten vermittlungswissenschaftlichen Qualifikation³²⁸ einer Lehrperson ab („content specific pedagogical knowledge“ oder: „pedagogical content knowledge“, PCK, Shulman, 1986, 1987), deren Ausprägung sich im curricularen Wissen, im Wissen über jeweils beste Lernbedingungen, in den Qualitäten der instruktionalen Aktivität und in der Lernbewertung (Kleickmann, 2008) auch manchmal als limitierender Faktor für die Lehrqualität auswirkt³²⁹ (Weinert & Helmke, 1996; Schwarz & Prange, 1997; Gudjons, 1999; Rittelmeyer, 2000; Bretz, 2002; Schmitz et al., 2005; Terhart, 2007; Salcher, 2008; Großschedl et al., 2014). Hinzu kommt eine Qualifikation, die alles umspannt, nämlich die Fähigkeit zu einer sehr variantenreichen Gesprächsführung, von der Vortragstätigkeit bis hin zur mündlichen Form des sokratischen Dialogs (Leisen, 2007). Nach Buck (1993) ist die Didaktik der Naturwissenschaft Chemie aufgrund ihrer oben geschilderten Funktionsbreite eigentlich in erster Linie eine „Kulturwissenschaft“³³⁰ (S. 134).

Chemieunterricht hat aufgrund der dichten Verknüpfung von Phänomenen und Deutungssystemen aus dem Bereich der Stoffartumwandlungen mehrere fachspezifische Lehr-Lern-Probleme zu lösen:

- Abstraktionsfähigkeit und „Zwiedenken“ (Christen, 1990),
- Primärkonzepte (Sumfleth & Tiemann, 1999, 2000; Barke, 2006) und Anthropomorphismen (Anton, 2010, S. 68-71),
- Verstehen chemischer Zusammenhänge und verstehensunabhängige Nutzung chemischer Produkte (Anton, 2008a),
- Inkongruenz von Fachanspruch und „Entwicklungsaufgaben“ (Havighurst, 1948, Spörlein, 2003) sowie Gender-gap (Kreienbaum & Urbaniak, 2006) und nicht zuletzt
- Sicherheit und Umweltbewusstsein beim chemischen Experimentieren (Vgl. „Bildung für nachhaltige Entwicklung“, BNE).

Die Zusammenschau dieser lehrerlernwissenschaftlich relevanten Qualifikationen hat in zunehmendem Maße das „situierte Lernen“ (Huntemann et al., 1999; Nentwig et al., 2005), also den lebensnahen Rahmen, innerhalb dessen Lehren und Lernen stattfinden, ins Interessenzentrum gestellt. Dieser als „Unterrichtsmanagement“ gekennzeichnete vierte Qualifikationsbereich umfasst `Disziplin` (Lehrkräfte verhalten sich reaktiv), `Regelklarheit` (Lehrer ist proaktiv) und `Störungsprävention` (präventives Konzept).

³²⁷ Als „Wissenschaft“, als „lehrerlernwissenschaftliche Chemie“ (analog zu: AC, OC und PC!) darf sie gelten, weil sie nicht über alle Fächer hinweg generalisierbare, sondern fachspezifische Fragestellungen mit eigenen Methoden der Unterrichtsforschung bearbeitet (Just, 1989, van Dijk & Kattmann, 2007).

³²⁸ In einer aktuellen Studie des IPN (Kiel) mit der Bezeichnung „T-KnoX“ (Teacher Knowledge Experiment) an ca. 100 LA-Studierenden zeigen erste Ergebnisse, dass unter drei Annahmen (Fachwissen und pädagogisches Wissen verschmelzen zu fachdidaktischem Wissen, fachdidaktisches Wissen entsteht en passant beim Erwerb von Fachwissen und fachdidaktisches Wissen unterstützt die Nutzung von Lerngelegenheiten für das fachdidaktische Wissen) eher davon ausgegangen werden muss, dass fachdidaktisches Wissen explizit erworben werden muss und eben nicht „en passant“ entsteht oder sich gar zwangsweise einstellt (IPN-Blätter 31 (2014) 4, 1 & 3). Insbesondere hier gilt, dass Erfahrung nicht automatisch zum Wissenszuwachs führt, sondern dies nur durch reflektierte Erfahrung erfolgen kann.

³²⁹ Entsprechende Untersuchungen zur (Weiter)entwicklung des PCK für den Mathematikunterricht werden von Besser et al. (2015) berichtet

³³⁰ Wie sie sich beispielsweise in Österreich zwischen 1983 und 2017 entwickelte, siehe Krainer & Benke (2017)

Die Vernetzung aller Qualifikationen führt zur Lehrkompetenz³³¹ und lässt sich schematisch darstellen (Abb. C7).



Abb. C7: Fließbild zum Zusammenhang der vier bedeutsamsten Qualifikationen, in denen sich Lehrer als professionalisiert erweisen müssen. Die verlangten Kompetenzen der Lehrkraft lassen sich gut aufeinander beziehen. Grundlage ist die Fachkompetenz, die Sicherheit im Fach und Vertrautheit mit den fachlichen Zielen, Inhalten, Methoden, Begriffen (Fachsprache), Systematiken und Anwendungen. Diese Fähigkeiten und Fertigkeiten korrelieren mit der didaktischen Kompetenz, sind dafür aber keine hinreichenden Bedingungen. Mit den Erziehungswissenschaften gelingt sodann die mathetische Kompetenzentwicklung. Da Lernen keine notwendige Folge von Lehren ist und individuell unterschiedlicher Voraussetzungen bedarf, muss die Einstellung von Lernsituationen, die Methodik fachinhalts- sowie lernerInnenabhängig begründbar gestaltet werden können. Hierzu dienen dann auch die schulpraktischen Übungen, welche sich in das Studium eingliedern und Vorstufen des Unterrichtsmangements darstellen. Genau das Zusammenspiel von didaktischen und mathetischen Kompetenzanteilen führt zu der so wichtigen lehr(lern)wissenschaftlichen Vermittlungskompetenz (‘fachspezifisches Instruktionswissen’ = educational content knowledge, ECK. Mittlerweile ist vom „Technological, Digital-related Pedagogical and Content Knowledge“ die Rede, um die Digitalisierung im Unterricht zu berücksichtigen).

Für die theoretische Grundlegung von charakteristischen Vorgehensweisen auf didaktischer und mathetischer Seite stehen die Variationstheorie und der Phänomenographie zur Verfügung. Auf Basis der Einzeldarstellungen (Fakten und Konditionen) muss es weiter um die erforderliche Vernetzung gehen. Unverzichtbar ist es nun, Beziehungen zwischen den Einzelteilen (inhaltlich (didaktisch) wie auch methodisch, arbeitstechnisch) herzustellen und explizit zu verdeutlichen. Hiermit kann und muss es gelingen, Prinzipien („das Wichtigste“) freizulegen (Principle Disclosure-Teaching, PDT). Im methodischen

³³¹ In einer sehr umfangreichen Längsschnittuntersuchung wird vom IPN in Kiel seit 2014 das Projekt „KeiLa“ (Kompetenzentwicklung in mathematischen und naturwissenschaftlichen Lehramtsstudiengängen) betreut. An 25 deutschen Universitätsstandorten wurden zwischen den Wintersemestern 2014/15 und 2016/17 LA-Studierende mit den Fächern M, Bio, Ch und Ph befragt und getestet um die Entwicklung professioneller Kompetenz im Zusammenspiel von Fachwissen, fachdidaktischem Wissen und pädagogischem Wissen beschreiben bzw. verbessern zu können.

Bereich (Mathematik) gilt es, die Lernschritte, insbesondere den Weg in die Abstraktion schüler*innenadäquat nachvollziehbar zu machen (Small Step-Teaching, SST).

All dem liegt ein ausgesprochener Lehrwille zugrunde, welcher die Optimierungsoptionen erkennt, wahrnimmt und umsetzt sowie den Lernwillen und die motivierende Lernfreude stimuliert.

Es darf nun nicht übersehen werden, dass eine besonders umsichtige Planung des Unterrichts nicht automatisch zu besonders erfolgreichen Lerneffekten bei Lernenden führt. Die Bringpflichtenerfüllung der Lehrkraft erlaubt es lediglich, etwa die Hälfte des Lehrernweges zurückzulegen, die andere Hälfte zu gehen, obliegt dem Lernenden. Er muss seine Holpflicht erfüllen. Damit ist gemeint, dass er sich aktiv um Verständnis kümmern muss, dass er selbst Unsicherheiten aufspürt, Lücken entdeckt und Quellen der Behebung solcher Defizite erschließt. Das muss zwar auch unterrichtet werden, aber eben auch sofort zur Anwendung gebracht werden können. Hieraus erklärt sich die Notwendigkeit offener Unterrichtssituationen. In ihrem Verlauf ist der Schüler selbsttätig und arbeitet eigenverantwortlich an seiner Wissenskonstruktion. Die hierzu erforderlichen Voraussetzungen, die sich aus der Fachkompetenz der Lehrkraft erschließen lassen, erfordern dann analog wieder mehr direkte Instruktionen und lehrergeleitete Aktionsformen. Unterricht verläuft demnach als LernerInstruktion im Wechsel zwischen eher gelenkter Konstruktion (direkte Unterweisung, direct instruction) zur Kognitionsförderung und eher freier Konstruktion (offenes Unterrichten, progressiv education) zur Förderung von Lernfreude:

Die Lehrkraft als Brückenbauer! Auf der Didaktikseite ist die dominante Aufgabe das Hervorheben von kritischen Merkmalen von Gegenständen und Prozessen sowie das Enthüllen von Prinzipien (PDT), welche über das reine Darlegen von Fakten und Konditionen im Fach hinausgeht. Auf der Mathematikseite spielen die Kleinschrittigkeit (SST) und eine explizite Bedeutungsbeimessung der Lerngegenstände von LernerInnenseite aus, wesentliche Rollen. Sie ermöglichen es, auf dem Weg der Erklärung möglichst alle Lernenden mitzunehmen. In beiden Feldern geht es um die Sicherung möglichst vieler Erfolgserlebnisse; denn Erfolg ist mit Abstand die beste Motivation für problemlösendes Anwenden des Funktionswissens und ein orientiertes Weiterlernen, sowohl im Fach (vertikaler und horizontaler Lerntransfer) wie auch außerhalb bei der Lösung von komplexen Problemlagen (lateralen Lerntransfer).

C 1.2.1 Die „Variationstheorie“ und die „Phänomenographie“

Die in der Abb. C7. genannte „Variationstheorie“ (Lo, 2015) stellt eine adäquate Verfeinerung der Inhaltsbearbeitung dar, analog zum „Moderaten Konstruktivismus“ auf SchülerInnenseite. Man versteht darunter die Beachtung ausgewählter Merkmale eines Lerninhalts („Lerngegenstand“), auf den sich die Aufmerksamkeit der Schüler zu richten hat, wenn man dessen wesentliche Charakteristika („kritische Merkmale“) verbindlich darstellen möchte. Dies spielt gerade im Chemieunterricht im Hinblick z.B. von Experimentiervläufen eine sehr wichtige und bislang weitestgehend unterschätzte Rolle. Es geht hier um die Frage, was ist wirklich wichtig? und „Worauf kommt es hier genau an? (Abb. C8, C9 und C10).

So, wie die Vorwissensaktivierung, die Feststellung der Präkonzepte und die richtige Einschätzung der Leistungsfähigkeit (Abstraktionsfähigkeit, Motiviertheit) sowie der individuellen Lernziele und Verständnisebenen der SchülerInnen zu den entscheidenden mathematischen Ausgangssituationen für den Lernprozess einzuschätzen ist, so müssen auf der didaktischen Seite ebenso die Anspruchsebenen der Inhalte, ihre entscheidenden und variierenden Merkmale (z.B. Stationen beim Ablauf eines Versuchs, inkl. der Möglichkeit von Varianten hinsichtlich der Geräteverwendung etc.) dezidiert wahrgenommen werden können, etwa als Teil der Fachanalyse. Diese Vorgehensweise beschreiben die Variationstheorie und die Phänomenographie. Mit ersterer soll es explizit möglich sein, das inhaltlich begründbare methodische Vorgehen beim Unterrichten so zu variieren, dass das jeweils Entscheidende (→Kritische Merkmale) erkannt und gelernt werden kann, sich also „Spreu vom Weizen trennen“ lässt. Es handelt sich hier um die Antwort der Lehrkraft auf die oftmals vor Prüfungen gestellte Schülerfrage „Müssen wir auf die Prüfung alle Hefteinträge lernen?“ – „Natürlich nicht, nur das Wichtigste!“

Phänomenographisch geht es um die individuelle Bedeutungsbeimessung bei der pragmatischen Auseinandersetzung von SchülerInnen oder allgemein von Lernenden mit Texten und Wortbeiträgen, Repräsentationsformen (Übersichten, Schemata, Graphen etc.) und ganz allgemein mit Aufgabenstellungen. Längsschnittuntersuchungen über 5 a an 27 Studierenden zu deren Beziehungen zwischen Lernauffassung und Lernerfolg zeigen, dass sich Lernende hierin nicht unwesentlich unterscheiden (Marton, Beaty, Dal’Alba, 1993) und dass damit auch unterschiedliche Lernerfolge zu erwarten sind.

Wird Lernen als Aufgabe betrachtet (Wissensvermehrung, Auswendiglernen und Reproduzieren, Anwendenkönnen), so sind geringe Lernerfolge zu erwarten. Handelt es sich beim Lernen subjektiv um ein Erschließen der Bedeutung des Lerngegenstands (LG) (Verstehen, Perspektivenwechsel = etwas auf andere Weise sehen, Veränderung der Person), so lassen sich hohe Lernerfolge prognostizieren.

Variationstheorie und Phänomenographie stehen sich nicht kontrastierend gegenüber, sondern sie differenzieren und komplettieren die Elemente von Didaktik und Mathetik. Beide Orientierungen werden damit noch besser handhabbar und verfeinern die Begründbarkeit von unterrichtlichen Entscheidungen.

C1.2.2 Schulspezifische Ansprüche

Grundsätzlich gilt, dass die Fachkompetenz der LehrerInnen, über die sie sich traditionell definieren, zwar fachwissenschaftlich sehr fundiert sein muss, jedoch nicht ausschließlich der Fachsystematik entsprechen kann, sondern im Kontext der Erziehungskompetenz auf die Belange des Lehrplans und der Lernenden abgestimmt werden muss und deshalb andere, eben die vermittlungswissenschaftlichen Qualitäten erfordert, als sie reine FachwissenschaftlerInnen aufbringen müssen³³² (Sumfleth, 2004; Merzyn, 2013; Lagler & Wilhelm, 2013)³³³. Hierzu passt ein Zitat von Tenorth (1999): „In der Handhabung der Differenz von Schulfach und Fachwissenschaft, von Alltagswissen und reflektiertem Wissen liegt der Kern der professionellen Aufgabe und Kompetenz der Lehrenden“ (S. 192). Schecker und Starauschek reklamieren diese Forderung unter dem Begriff der „wissenschaftlichen Physikdidaktik“ (2016), deren Kerngeschäft es ist, die Bedingungen für „das Lernen komplexer fachlicher Wissenssysteme auf allen Vermittlungsniveaus“ (S. 291) zu untersuchen und zu optimieren (Für die Chemie vgl. Eilks & Byers, 2010). Hierzu sei angemerkt, dass die Basiskonzepte zum Kompetenzbereich Fachwissen innerhalb der Bildungsstandards für Chemie eine griffige Alternative zur Fachsystematik darstellen. Sie sind aber kein stichhaltiges Argument für eine Zusammenlegung von naturwissenschaftlichen Fächern, etwa zu „Science“!

Für die praktizierenden Lehrkräfte gilt: „Bezüglich der Umsetzung der Inhalte haben sich die befragten Lehrkräfte eindeutig für die Kombination von fachlichen und fachdidaktischen Veranstaltungen ausgesprochen“ (Ropohl et al., 2016, S. 31). Ergänzend sei bemerkt, dass diese Kombination keine „Eintagsfliege“ sein darf. Als besonders effektiv erwiesen sich Lehrerfortbildungen in Fortsetzungen sowie im Wechsel von fachspezifischen, fachmethodischen Inputs, unterrichtsmethodischen Formen des Microteachings, des Videofeedbacks und in Form praktischer Übungen (Steffens & Höfer, 2015). Metaanalysen von Untersuchungen zum „professional development“ (S.217) zeigen, „dass die durch Fortbildung erzielten Verhaltensänderungen bei Lehrerinnen und Lehrern beträchtlich sind ($d=.60$)“ (S.217). In einer weiteren Metaanalyse (Timperley et al., 2007, zitiert aus Hattie, 2012, S.121) ergibt sich für den Zusammenhang von LehrerInnenfortbildung und Fachleistungen bei SchülerInnen eine Effektstärke von $d = 0.66$ (S.217).

Hieraus wurden sieben Kriterien für effiziente LFB abgeleitet:

- „1. Die Fortbildung war über einen längeren Zeitraum angelegt
2. Die Fortbildung mit externen ExpertInnen war erfolgreicher als schulinterne Initiativen
3. Die Fortbildungsarbeit war hinlänglich darauf hin ausgerichtet, solches Wissen und solche Fähigkeiten zu erweitern, die bei Kinder[n] und Jugendliche[n] zu einem nachweislichen Lernerfolg führten

³³² Mit dieser Darstellung lässt sich auch eine hypothetische Erklärung finden für die Tatsache, welche in PISA 2006 (3. Ländervergleich) ermittelt wurde, wonach Interesse und Lernfreude nicht gleichgerichtet gefördert werden können und hochkompetente Jugendliche durchaus kein Interesse am Fach entwickeln müssen (Prenzel et al., 2008). Die stringente didaktische Arbeit am Stoff deckt nicht automatisch die Bedingungen für ein gutes Verhältnis zwischen Lehrer und Schüler ab. „Je positiver ein Schüler das Verhältnis zu einem Lehrer oder einer Lehrerin beschrieb, desto größer war auch das Interesse am jeweiligen Fach“ (Raufelder, 2010). D. h., dass die Interessenförderung vorrangig über die mathetische Gestaltung der Lehrer-Schüler-Beziehung erfolgt. Didaktik UND Mathematik sind demnach gleichbedeutend für den kognitiven UND für den affektiven Ertrag des Unterrichts.

³³³ Zudem gilt: Lehrer mit ausschließlich hoher Fachkompetenz haben auf den Unterrichtserfolg deutlich weniger Einfluss als solche mit einer **zusätzlichen** hohen PCK!

4. Wirkungen aus Fortbildungen auf SchülerInnenleistungen zeigten eine starke Abhängigkeit davon, inwiefern hierbei vorherrschende Konzepte des Lernens infrage gestellt und effektives Unterrichten spezifischer Inhalte thematisiert wurden

5. Fortbildungen waren dann besonders erfolgreich, wenn Lehrkräfte sich intensiv untereinander über ihr Unterrichten austauschten

6. Das professionelle Vorankommen im Zuge von Fortbildungen zeigte bessere Erfolge, wenn die Schulleitungen die entsprechenden Entwicklungsmaßnahmen unterstützten

7. Dagegen konnten für die Finanzierung der Maßnahmen, eventuelle Freistellungen und Modelle verpflichtender oder freiwilliger Teilnahme keine Einflüsse auf die sich ergebenden Schülerleistungen gefunden werden“ (S.217).

Das obige Qualifikationsschema erleichtert es, die mannigfachen Teilaspekte von Unterricht getrennt unter die Lupe zu nehmen und, im Zuge von Unterrichtsforschung, darüber das Ganze doch nicht aus den Augen zu verlieren. So gilt es, einen „Habitus des forschenden Lernens“ einzustellen, „zu dem die praxisorientierten Ausbildungsphasen mit realen schulischen Situationen und die wissenschaftlich orientierte Phase mit theoretischen Reflexionen beitragen können, womit zugleich die bisher defizitäre Akzeptanz von Theorie zur Ausbildung beruflicher Kompetenz erhöht werden soll“ (Hericks, 2004, S. 301; Just, 1989). Hieraus ergeben sich anspruchsvolle und gut definierbare Aufgaben für die LehrerInnenbildung und somit insbesondere für die LehrerbildnerInnen.

Blickt man auf das komplexe Gefüge einer fachbezogenen LehrerInnenaus- und LehrerInnenfortbildung, bestehend aus einem fein abgestimmten Zusammenspiel von fachwissenschaftlicher, erziehungswissenschaftlicher, lehrerlernerwissenschaftlicher (vermittlungswissenschaftlicher) Qualifikationen sowie Unterrichtsmanagement, so erweist sich ein zweiter Blick auf die Qualifikationen von LehrerbildnerInnen als nicht minder komplex und kompakt (Vgl. Abb. A1.1, S. 17)³³⁴. Wie wenig noch die Entwicklung und Qualifikation eines „teacher educator“ erforscht ist, findet man bei Krainer et al., 2021).

Die aktuellen weltweiten Auseinandersetzungen mit dem „Klimawandel“ und damit mit einer politischen Problemlage, die sich mittlerweile mit den Entscheidungen im Privatleben vermengt, etwa bei Baumaßnahmen, Mobilität und Essgewohnheiten, bringen es mit sich, auch in der Chemiedidaktik dazu Stellung zu beziehen. Unter Zugrundelegung des Schemas in Abb. C7 könnte es sich als eine wichtige Ergänzung erweisen, den Anwendungsaspekt (Vgl. auch „Aktivierungs“-Modell) chemischer Erkenntnisse stärker hervorzuheben. Das vermittelte und verstandene Schulwissen muss bereits in der unmittelbaren Situation, in der sich die Lernenden befinden, auf seine Verwendbarkeit im Alltag, unter konkreten Bedingungen (hier: Klimaschutz) hin geprüft werden (Abb. C8).

³³⁴Nach Tenorth (2015) wissen die Lehrerbildner, „dass die Einheit dieses Wissens Weisheit, nicht Wissenschaft ist“ (S. 9).



Abb. C8: Neben den rein didaktischen und mathetischen Leistungen ist es nötig, über eine Erweiterung des Unterrichtsmanagements, den Anwendungswert von einschlägig geeigneten chemischen Erkenntnissen und Verstehensleistungen unmittelbar mit und nach der Stoffbehandlung in den Vordergrund zu stellen. Damit kann es leichter möglich werden, die Bedeutungen chemischen Grundwissens unmittelbar erlebbar zu machen. Im Zuge der aktuellen weltweiten Diskussionen zum „Klimawandel“, auch in Form der „Fridays for Future“- Aktivitäten von SchülerInnen, ließe sich diese Maßnahme zur Versachlichung der Diskussion heranziehen.

Neben der fachlichen Übersicht mit lehrplanrelevanten Tiefgängen (Didaktische Kompetenz) sowie der Beachtung des Anwendungsaspekts bedarf es einer sicheren Kenntnis über Lernpsychologie und Lernphysiologie (Mathetische Kompetenz). Beides zusammen gewährleistet die Begründungsarbeit für die erforderlichen Maßnahmen zur erfolgreichen Unterrichtsführung. Diese wiederum ist in ihrer Reflektierbarkeit Grundlage für die so notwendige Weiterentwicklung von Unterricht, hier im Fach Chemie auf allen Schulstufen. Längsschnitt-Untersuchungen zum „Kompetenzaufbau“ und zur Entwicklung eines „handlungsorientierten Kompetenzprofils“ („Sachwissen, diagnostische Kompetenz, didaktische Kompetenz, Klassenführung“) weisen auf einen deutlichen Bedeutungszuwachs der „Didaktischen Kompetenz“ hin (Baer et al., 2007).

Auf der Grundlage solcher Qualifikationen kann es zu einer sinnvollen und praxisrelevanten Unterrichtsforschung kommen. Sie ist das anspruchsvollste Endglied einer Reflexionskette, welche über die Stationen „Eigenreflexion“, „Feedback“, „Supervision“, „Evaluation“ verläuft. Kenntnisse moderner Forschungsergebnisse ergänzen die bewährten Routinen, helfen, diese zu hinterfragen und damit signifikant neue Varianten für eine Verbesserung des Lehr- und Lernerfolgs zu ermitteln und sie jeweils auf den Prüfstand zu stellen (Bauer, 1998; Nonnenmacher, 2000). Fachbezogene vermittlungswissenschaftliche Unterrichtsforschung ist die unverzichtbare didaktische und mathetische Grundlage für moderne und effiziente Lehreraus- und Lehrerfortbildung. Sie stellt auch ein Qualitätsmaß für eine evidenzbasierte fachdidaktische Arbeit dar (von Prondcynsky, 1998; Oelkers, 1998; Döbert, 2000).

Eine Kritik an einem besonderen Aspekt der klassischen oder besser traditionellen LehrerInnenbildung, verdient es, doch noch genauer expliziert zu werden. Denn so, wie man bei den SchülerInnen unterschiedliche Bewältigungsstrategien und Attribuierungen unterscheidet, kann das auch bei angehenden Lehramtsstudierenden erfolgen. Auch bei

ihnen wird der Lernerfolg von der Ausrichtung (Lernziel- und Leistungszielorientierung) mitbestimmt und damit vom Zusammenspiel von Theorie und Praxis.

Viele Untersuchungen (Weinert & Helmke, 1996; Schwarz & Prange, 1997; Ofenbach, 1998; Kiel, 2005; Oelkers, 2006; Terhart, 2007; Wilbert & Gerdes, 2007) zeigen, dass die bloße Erhöhung des zeitlichen Anteils von Praktika an der Gesamtausbildung nicht automatisch zu einem sichereren und qualifizierteren Einstieg in den Beruf führt. Offensichtlich wird durch ein eher zufällig erfolgreiches Handeln (nach Weinert: „Handwerkelei“) die Entwicklung von Kompetenzen nicht gefördert. Vielmehr ist es unabdingbar, dass die gewonnenen Erfahrungen strukturiert und vertieft reflektiert werden (Staub, 2001), etwa durch das Führen von „Lerntagebüchern“ (Hascher & Wepf, 2007) und/oder die Bearbeitung von definierten Beobachtungsaufträgen (Schlegel, 2016). In einem Vortrag (24.2.2015) weist Schlegel nachdrücklich darauf hin, dass „unfokussiertes ‘Beobachten’ nicht zu strukturiertem Wissensaufbau führt“.

Da Kompetenzen durch Lernen erworben werden müssen (also keine kognitiven Grundfunktionen darstellen), erscheint es nicht nur hier als besonders sinnvoll, wenn die unsinnige Trennung von Theorie und Praxis aufgehoben und durch die Sichtweise einer natürlichen und zwingenden gegenseitigen Abhängigkeit ersetzt wird. Noch immer lässt sich die von Wedel-Wolff (1995) zitierte Feststellung aus einer Befragung der Zeitschrift „Grundschule“ weitestgehend bestätigen, wonach ca. 64% der befragten Studierenden den Theoriebeiträgen der Hochschule keine besondere Bedeutung beimessen und gleichzeitig die universitäre Vorbereitung auf die Schulpraxis als „eher unzureichend“ kennzeichnen. Um dieser Fehleinschätzung nicht das Wort zu reden, müssen Praktika als Lernsituationen gestaltet werden. Diese unterscheiden sich durch die Rolle, die der Fehler in ihnen spielt (Weinert, 1999; Lankes, 2000). Ist der Fehler nämlich ein Zeichen dafür, dass etwas fehlt, das ergänzt bzw. korrigiert werden und wofür auch die Bereitschaft bei LernerInnen und LehrerInnen vorhanden sein muss („erfolgreiches Fehlermachen“, „productive failure“ Beck, 2020, S. 194), dann müssen die Instruktionen auf vielfältige Weise erfolgen, und zwar ohne, dass dabei Zensuren vergeben werden. Gigerenzer (2013) spricht vom ‚guten oder funktionalen Fehler‘. „Wir müssen durch Misslingen lernen, oder es wird uns misslingen zu lernen“ (S. 67). In Anlehnung an Konfuzius (551-479 v. Chr.): ‚Das Fehlererkennen durch den Lehrer, ist das Glück des Schülers‘. In einer darauffolgenden Leistungssituation dürfte idealerweise keine Fehlermeldung mehr auftreten und damit auch nur möglichst fehlerfreies Arbeiten im Sinne von „Jetzt zeige ich, dass ich etwas kann!“ zu beobachten sein. Damit folgt der Lernanstrengung und der Prüfung die berechtigte Erwartung von Erfolg.

Vielleicht sind die widersprüchlichen Effekte innerhalb der Praktika deshalb so deutlich, weil sowohl von PraktikumslehrerInnen als auch von PraktikantInnen aus gesehen der jeweilige Lehrversuch als Leistungssituation gestaltet bzw. erlebt wird? D. h., dass die Fehler zwar gespürt und erkannt, jedoch nicht mit unmittelbaren Hilfen und Korrekturen beantwortet werden (können). Praktika sind demnach nur dann wirkungsvoll und lerneffektiv, wenn sie als Lernsituation erlebt und auch so bearbeitet werden. Erst dann wird die Lernzielorientierung unterstützt (Dickhäuser et al, 2007; Anton, 2008), Fach- und Erziehungskompetenz bleiben entwicklungsfähig und es entsteht reflektierte Erfahrung.

Geschieht das nicht, so wird die Praxis als bedrohlich erlebt und PraktikantInnen suchen nach „Überlebensstrategien“, die er durch Wiederholung von sich einstellenden Routinen bzw. in einer unmittelbaren nachahmenden Orientierung an praktizierenden KollegInnen vermutet (Halisch, 1990; Anton, 2005). Damit wird nicht nur eine zu vermeidende „normative Didaktik“ betrieben, es resultiert daraus auch der nur scheinbar widersinnige Schluss, wonach aus einem Mehr an Praxis die Forderung nach noch mehr

Praxis hervorgeht und insbesondere die Nachfrage nach rezeptartigen Tipps und Tricks für den täglichen Unterricht intensiver wird. Wie schwierig es zu sein scheint, eingefahrene Handlungsweisen durch besseres Wissen nachhaltig zu verändern, sozusagen pädagogische Unsicherheiten zu beseitigen, bestätigt ein Zitat von 1935: „Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis ... [ist] ein Symptom der mangelnden pädagogischen Sicherheit unserer Zeit“ (Frankl, 1935).

Andere oft beobachtbare Effekte werden somit auch verständlich. Es handelt sich um das Überspielen des eigenen defizitären Könnens durch eine so genannte Performance-Orientierung (Leistungszielorientierung) oder um schlichte Arbeitsvermeidung: Man meldet sich nicht zu den Lehrversuchen und ist sehr froh, wenn es den Anderen „erwischt“. Mit den angesprochenen Kriterien für die LehrerInnenbildung sollte ein weiterer Aspekt Erwähnung finden. Dabei handelt es sich um das immer noch sehr defizitär ausgeprägte Selbstbewusstsein von Chemielehrkräften gegenüber denen, die Chemie in Industrie, Wirtschaft und Forschung repräsentieren. Obwohl beide grundsätzlich aufeinander angewiesen sind (was meist verdrängt wird), ist die Ungleichbewertung noch immer nicht von der Hand zu weisen. Weil das so ist, bezeichnen sich viele LehrerInnen für Chemie, insbesondere aus dem Gymnasium gerne als „ChemikerIn“. Im konkreten Vergleich müssen sie diese Bezeichnung meist rasch korrigieren, was dann fälschlich in eine resignative und defensive, dem Lehrberuf sehr abträgliche Selbstsicht führt.

Modern und zielführend wäre es dagegen, wenn sich die ChemielehrerInnen und die ChemikerInnen als solche auf ihre jeweilige Qualifikation besinnen würden. Gemäß dem Motto „Nur was sich unterscheidet, kann sich ergänzen!“ ließe sich der unselige Konkurrenzdruck vermeiden. Er kann dann einer konstruktiven Zusammenarbeit auf Augenhöhe weichen. Diese Freisetzung neuer Kräfte in den Beziehungen würde man sicher auch in der Öffentlichkeit dankbar und befreiend befürworten und schätzen. Für die Studierenden würde sie ihre jeweilige Identifikationsarbeit erleichtern.

C 1.3 Die vier Aspekte von Theorie und Praxis

Mit der Frage nach der Generierung und Weiterentwicklung der besagten Qualifikation stellt sich automatisch die leidige Frage nach den jeweiligen Bedeutungen von Theorie und Praxis (Abb. C 9).

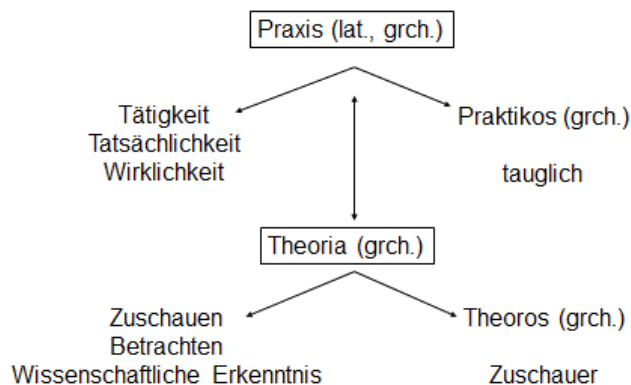


Abb. C 9: Etymologie der Begriffe „Theorie“ und Praxis“

So macht es Sinn, nicht nur zwischen den Lernziel- und Leistungsziel-Orientierungen zu unterscheiden, sondern auch innerhalb von Theorie und Praxis zu differenzieren. Damit kann es gelingen, der ursprünglichen, reflexiven Theorie (=subjektive Theorie) und der durch Zuschauen/Hospitalation erlebten Interpraxis die gelernten rezeptiven Theorien (=objektive Theorie) sowie die auf eigenem Entscheiden und Handeln beruhende Intrapraxis gegenüberzustellen. Dass eine solche Verfeinerung und Veränderung der reflexiven Theorie tatsächlich gelingen kann und sich über den Weg durch das Studium bis hinein ins Referendariat verfolgen lässt, verdeutlicht eine Studie von Markic und Eilks (2011). Darin zeigt sich (in einer nicht repräsentativen, jedoch orientierenden) Stichprobe von LA-Studienanfängern, LA-Studienfortgeschrittenen und ReferendarInnen, dass mit einem „fundamentalen Wechsel von den traditionellen/lehrerInnenzentrierten zu modernen/schülerInnenorientierten theoriegeleiteten Vorstellungen während des Studiums“ gerechnet werden darf (S. 533).

Die so entstehenden neuen Sichtweisen können dann für die produktive Reflexion der in der Intrapraxis, auch schon in Form von Micro- bzw. Peerteaching (Thiele, 2000; Klinzing, 2002), gewonnenen Erfahrungen sowie für die kritische Stellungnahme zu interpraktischen Beobachtungen genutzt werden (Weinert, 1982, 1999; Korneck, 2004). Hier gilt die These Gagnés: „Die beste Art, eine Handlung zu lernen, ist der Vollzug dieser Handlung“ (zit. aus Thiele, 2000, S. 261). All dies kann umso besser gelingen, je deutlicher die „Ungewissheitstoleranz“ (König & Dalbert, 2007), auch „Ambiguitätstoleranz“ ausgebildet ist, da sich hierbei Offenheit und Lernbereitschaft, also Theorieänderungen besonders positiv auswirken (Vgl. Abb. C10).

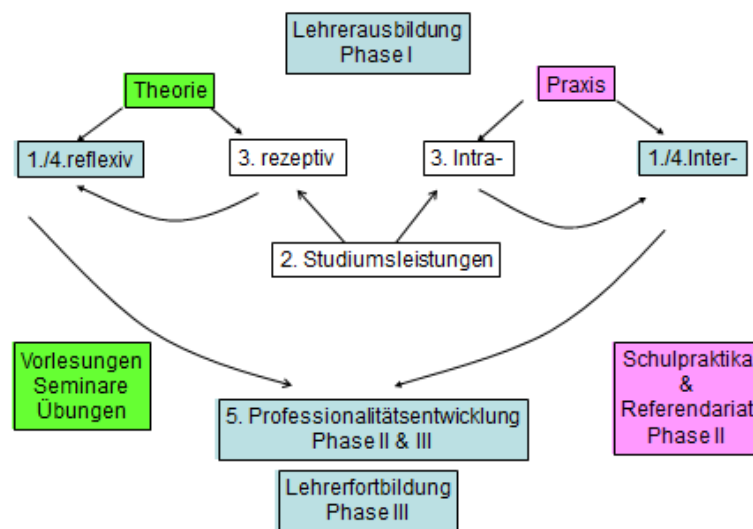


Abb. C10: Schematische Darstellung der Beziehungen zwischen den mitgebrachten reflexiven und durch Ausbildung vermittelten rezeptiven Theorieanteilen einerseits und der Interpraxis, deren passives Erleben durch die Intrapraxis als aktives Entscheiden und Handeln relativiert und bewusster wahrgenommen und reflektiert werden kann.

Diese Abfolge gerät bei ihrer Nutzung zu einer lernlebenslangen Endloskette, aus der sich fast zwangsläufig die Entwicklung der Professionalität als sukzessive Ausformung der Vermittlungskompetenz und des Unterrichtsmanagements ergibt (Weinert, F. E., 1993; Feiks & Krauß, 2001; Stern & Streissler, 2007). Sie manifestiert sich ja in der Fähigkeit, das eigene berufliche Handeln auf lehrlernwissenschaftlich höchstem Niveau stichhaltig zu begründen³³⁵.

Hier sei auf eine sehr trendige Sichtweise der Bildungswissenschaften auf das professionelle Handeln der Lehrer und dessen Erlernen verwiesen, was mit dem Begriff der „Evidenzbasierten Praxis“ (Bauer et al., 2015; vgl. auch Kap. 6) beschrieben wird³³⁶.

³³⁵ Für die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema „Welchen Beitrag liefert die Praxiserfahrung während der Lehrerbildung für die Unterrichtsqualität?“ sind folgende Fragen zielführend:

1. Welche Ziele verfolgen der theoretische und welche der praktische Anteil der Ausbildung zum Lehrer?
2. Welche Ziele sollen und können mit Lehrversuchen erreicht werden? (Unterricht im Theorie-, Praxis- und Reflexionsfeld: Demonstrieren, Erklären, Fragen, Differenzieren, Methodik, Ansprechen, Verstehen, Bedeutungen vermitteln, Körpersprache)
3. Welchen Kriterien muss Unterricht genügen, der für den LA-PraktikantInnen als Lerngelegenheit wahrgenommen und genutzt werden kann? (→ Kompetenzstrukturmodelle)
4. Wie müssen die Erfahrungen aus den Lehrversuchen vor dem Hintergrund der Planung konserviert und reflektiert werden?
5. Wie kann der Qualifikationszuwachs festgestellt werden? (→ Kompetenzniveaumodelle)
6. Welchen Kriterien muss Unterricht genügen, der für den LA-PraktikantInnen als Leistungssituation wahrgenommen und genutzt werden kann? (Fokussierung auf einige wenige Unterrichtsleistungen; Differenzierung zwischen den Unterrichtsfaktoren)
7. Welche Rolle spielen Praxis und Theorie für die Professionalitätsentwicklung und wie kann ihr Zusammenspiel bedarfsgerecht optimiert werden?

³³⁶ Evidenzbasierte Praxis bedeutet, einschlägige wissenschaftliche Befunde und bewährte Theorie beim professionellen Handeln situationsangemessen zu berücksichtigen
evident (lat.) = offenkundig und klar ersichtlich, offen zutage liegend, überzeugend, offenbar

Danach wird die Evidenzbasierung „als Integration der individuellen Expertise einer Lehrkraft mit der besten verfügbaren wissenschaftlichen Evidenz zur Lösung eines spezifischen Problems verstanden. ... Evidenz kann dabei die Funktion haben, Handlungsentscheidungen mit Informationen anzureichern und zu fundieren (→rezeptive Theorie), um die Wahrscheinlichkeit der Handlungswirksamkeit zu erhöhen. Gleichzeitig trägt sie aber auch dazu bei, die Handlungsgrundlagen zu explizieren und somit einer rationalen Begründung zugänglich zu machen“ (Bauer et al., 2015, S. 191).

Dabei treten mehrere Problemlagen auf den Plan. Zunächst muss die Quelle solchen Wissens bekannt und verfügbar sein, dann muss die dortige Information verstanden und bewertet werden können. Traditionell wird die Implementierung einschlägig schulspezifischer Forschungsergebnisse und damit die Ausbildung einer „*Theorienutzungskompetenz*“ (Klein et al., 2015, S. 225) dadurch behindert, dass die entsprechenden Zeitschriften kaum in die Hand praktizierender LehrerInnen gelangen (Kreher, 1999), dass sie häufig überfachlich angelegt sind, dass sie in der `Fachsprache der Psychologie´ ausgeführt und dass sie nur eingeschränkt explizit auf Implementierung und Anwendung hin angelegt sind. Überdies wirkt sich auch noch eine andere und sehr stabile Komponente der Lehrpersonen aus, nämlich Ihre Grundeinstellung zu den beruflichen Zielen und zum tiefen Sinn ihrer Arbeit sowie ihres pädagogischen Konzepts. Diese „beliefs“ sind nicht zu unterschätzen und müssen beachtet werden, insbesondere dann, wenn es um gravierende Änderungen, etwa bei Reformen geht. Markic et al. (2013) sehen „beliefs“ as an inclusive concept that covers many mental predispositions a teacher holds and which affects teachers´ behavior in the classroom. These beliefs can stem from personal experience, knowledge, social and cultural background, and many other different sources“ (S. 1).

Um nachhaltige Verbesserungen anzubahnen und durchzuführen, bedarf es auch einer erhöhten Wertschätzung praxisbezogener lehrerlernwissenschaftlicher Arbeiten sowohl mit quantitativen wie auch qualitativen Verfahren zur Hypothesenprüfung. Hierzu gibt es noch viel zu leisten; „Denn an hohen Zielen mangelt es den Lehrerinnen und Lehrern offenbar nicht, wohl aber an einer konkreten Vorstellung, wie Unterricht sich diesen schrittweise annähern kann (Carle, 1997, S. 21)³³⁷.

Lipowsky und Rzejak (2015) gehen auf diese Problemstellung näher ein und unterscheiden in ihrer konstruktiven Auseinandersetzung mit Bedingungen für eine „gelingende LehrerInnenfortbildung“ vier Effektebenen. Das sind

- die Zufriedenheit der TeilnehmerInnen mit den Inhalten,
- die Änderungen, aber auch Bestätigungen im Bereich von Einstellung und Motivation, sodann
- die konkreten Erprobungen neuer Handlungsformen und zuletzt

Evidenz (lat.) = Deutlichkeit, vollständige, überwiegende Gewissheit, einleuchtende Erkenntnis (*Evidenz halten* = *etwas im Auge behalten*)

evidenzbasiert = auf der Basis systematisch zusammengetragener und bewerteter wissenschaftlicher Erkenntnisse erfolgend (med.: von diagnostischen oder therapeutischen Maßnahmen) bzw. „Als `evidenzbasiert´ gilt ... eine Praxis (...), die ihre Entscheidungen danach ausrichtet, welche Interventionen (...) vor dem Hintergrund des Standes der Forschung ´offenkundig´ (...) wirksam sind“ (Neuweg, 2015, S. 54).

Seit 2015 gibt es unter www.clearinghouse-unterricht.de sowie www.clearinghouse.edu.tum.de/themen für Lehrkräfte die Möglichkeit, sich über aktuelle Ergebnisse der Unterrichtsforschung zu informieren. Diese sind von einem ForscherInnenteam der TUM bereits praxisnah aufbereitet

³³⁷ Bereits 1935 äußert sich Viktor Frankl nach Untersuchungen von Unterricht dahingehend, dass die „Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis ... ein Symptom der mangelnden pädagogischen Sicherheit unserer Zeit“ ist (zitiert aus Winnefeld, 1971, S. 159). Renkl plädiert hier für eine „reason-based-Practice“ (Renkl, 2022) und meint hier sicher auch so etwas wie „vernunftbasierte Praxis“

- die messbaren Verbesserungen in den SchülerInnenleistungen und in deren Motiviertheit.

Diese vier Ebenen lassen sich auf das beste mit den je zwei Differenzierungen von Theorie und Praxis in Übereinstimmung bringen.

- Ebene 1 entspricht der bewussten Bestätigung bzw. `Irritation´ der reflexiven Theorie,
- Ebene 2 bedeutet die konstruktive Auseinandersetzung mit dem Neuen, der rezeptiven Theorie, gefolgt von
- Ebene 3, dem intrapraktischen konkreten Erproben einzelner Handlungsmuster und deren Reflexion und endet mit
- Ebene 4, auf der im Zuge interpraktischer Effektbestimmung die Leistungs- und Motivationsänderungen bei den Lernenden auf Effizienz überprüft werden.

Im Zuge einer fortschreitenden Evidenzbasierung der LehrerInnenbildung muss die Aufmerksamkeit insbesondere auf die Vermittlung von rezeptiver Theorie und interpraktischen Forschungsergebnissen gerichtet werden³³⁸. Diese müssen zunächst „in lehrbares kausal-analytisches Wissen transformiert werden“ (Neuweg, 2015, S. 54).

Wie können neue forschungsbasierte Kriterien für eine Weiterentwicklung der Unterrichtsqualität im allgemeinen und im Fach Chemie im speziellen zum Lehrer gelangen und wie lässt sich die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass dieser sich auf das Erproben der Erkenntnisse in seinem Unterricht nicht nur einlässt, sondern die Effekte evaluiert und derartig gewonnene Erfahrungen zusätzlich konstruktiv reflektiert?³³⁹ Das kann unterstützt und geübt werden durch die Anwendung von „Chemiedidaktischen Concept-Cartoons“ (CDCC), anhand derer StudentInnen des Lehramts zu Stellungnahmen und zur Argumentation aufgefordert werden. In der folgenden Abb. C11 sind drei Beispiele (Lernaktivität, Strukturierungen, Präkonzepte) angeführt.

Die Vorgehensweise lässt sich in drei Schritten beschreiben:

- Zu ausgewählten Themen werden von mehreren fiktiven Personen Statements vorgebracht
- Diese Statements sollen von Studierenden des Lehramts (LA) Chemie in Gruppenarbeit diskutiert, bewertet und kritisiert werden
- Anschließend soll von der Gruppe ein vollständiges „richtiges“ und umfassendes Statement neu formuliert werden.

³³⁸ Seit dem Studienjahr 2013/14 wird an der PH Steiermark das Konzept „Personalisierte Professionalisierung im Schulpraktikum durch Practitioner Research“ (PPR-PS) realisiert, in dem „Empowerment [als `feeling of competence to perform a task that is meaningful and has an impact on the situation] durch Schulpraktika“, „Subjektive Relevanz“ und „Aktionsforschung“ als „Begründungslinien“ dienen für eine betreute Schwerpunktsetzung und konzertierte Reflexion unterrichtsrelevanter Faktoren (Heissenberger, 2015)

³³⁹ Eine mögliche Verfahrensweise wird in der Chemiedidaktik in Bayern seit nunmehr 10 Jahren erfolgreich praktiziert, und zwar in Form des **„Bayerischen Chemiedidaktischen Forschungskolloquiums“**. Zu diesem werden solche Lehramtsstudierenden mit dem Fach Chemie geladen, welche ihre Zulassungsarbeit in Chemiedidaktik anfertigen. Damit sind sie einestils gezwungen, sich mit der Literatur zur Unterrichtsforschung auseinanderzusetzen, anderenteils werden sie somit auch sensibilisiert, solche Literatur als „Ressource in ihrer professionellen Tätigkeit zu nutzen“ (Hetmanek et al., 2015) und für ihr persönliches berufliches Fortkommen gewinnbringend umzusetzen. „Evidenzbasierte Praxis“ kann so in der fachdidaktischen Ausbildung zur Lehrkraft explizit angelegt werden.

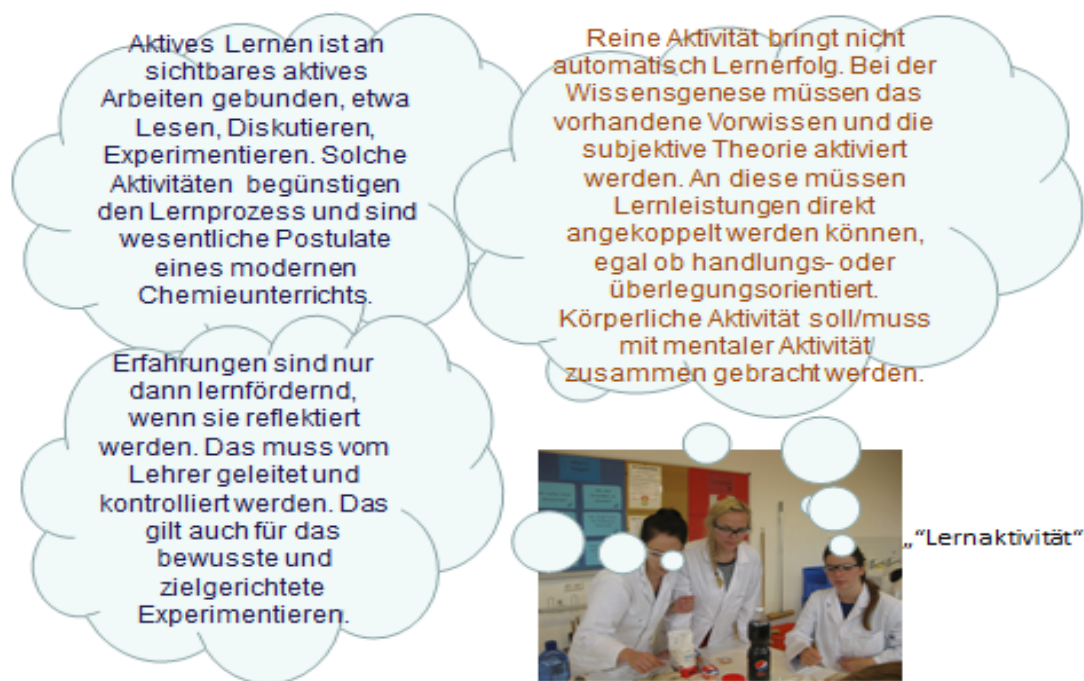


Abb. C11: Beispiele für Statements in CDCC zur innerfachdidaktischen Diskussion & Konsolidierung des erworbenen Wissens.

C 1.4 Professionalisierung und Unterrichtsqualität

Speziell im Lehrberuf beherrschen von Beginn an sehr solide Überzeugungen über die unterrichtliche Gestaltung eines Lehr-Lern-Prozesses und damit auch von der Bewertung von Inhalten und Methoden (Wunder, 1999; Wagemann, 1998; Drechsel, 2001). Sie gehen zurück auf die eigenen SchülerInnenenerfahrungen und können verstärkt werden durch traditionelle Unterrichtsformen im Verlauf des Studiums.

Fünf-Stufen-Professionalisierung

- Novize
 - Regelbefolgung, orientiert an Beispielen
- Fortgeschrittener Anfänger
 - Fallwissen, differenzierte Wahrnehmung, unflexibel
- Qualifizierter Lehrer
 - flexibel, selbstverantwortlich
- Kompetenter Lehrer
 - erkennt Ähnlichkeiten in unterschiedlichsten Situationen
- Experte
 - holistische Wahrnehmung, reagiert ohne Anstrengung, flüssig und angemessen

Abb. C12: Ausschlaggebend für die Beeinflussung von Vorstellungen, etwa von dem, was naturwissenschaftlicher Unterricht wie beispielsweise Chemie, auf welcher Jahrgangsstufe und in welchem Schultyp letztlich zu leisten hat, ist nicht primär der Umfang an Erfahrungen, sondern vielmehr der Professionalisierungsgrad (Der Weg vom Novizen zum Experten; frei nach Dreyfuß & Dreyfuß, 1988) sowie der erreichte Reflexionsgrad bis hinein in den zunächst unbewussten Bereich, mit dem Unterricht evaluiert und neu geplant werden kann (Ruffo, 2010, S. 52-62).

Will man sie beeinflussen, etwa im Zuge der Aus- und der Fortbildung (Altrichter, 2003; Ansorge-Grein et al., 2009), so spielen der Professionalisierungsgrad und die Reflexionsebene, auf der sich die Überzeugung manifestiert, eine wichtige Rolle (Ulich, 2003, Wollenweber, 1996) (Abb. C12).

LehrerInnen haben die Aufgabe, die Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie von Interessen und Einstellungen ihrer SchülerInnen positiv zu beeinflussen. Neben dem bewussten Lernen sind jedoch auch Reifungsprozesse zu berücksichtigen, über die sich Persönlichkeit und damit auch Überblick, Kritikfähigkeit und Entscheidungsfähigkeit entwickeln. Durch kontinuierlichen, strukturierten und authentischen Unterricht kann beides gefördert werden (Abb. C13; vgl. auch Bruns, 2009). In einem Interview (Zierer, 2016) im 'Friedrich-Verlag Jahreshaft 2016' betont Hattie (2009) auf die Frage nach 'der besten Unterrichtsmethode', „Wichtiger aber als diese Lehrmethoden ist die Haltung „Kenne deinen Einfluss!“, die gleichsam zur Methode werden kann: Lehrer, die beständig nach ihrem Einfluss fragen und diesen mit Daten zu erheben versuchen, sind in der Lage, Anpassungen und Veränderungen vorzunehmen, wenn sie merken, dass Lernen nicht passiert“ (S. 30).

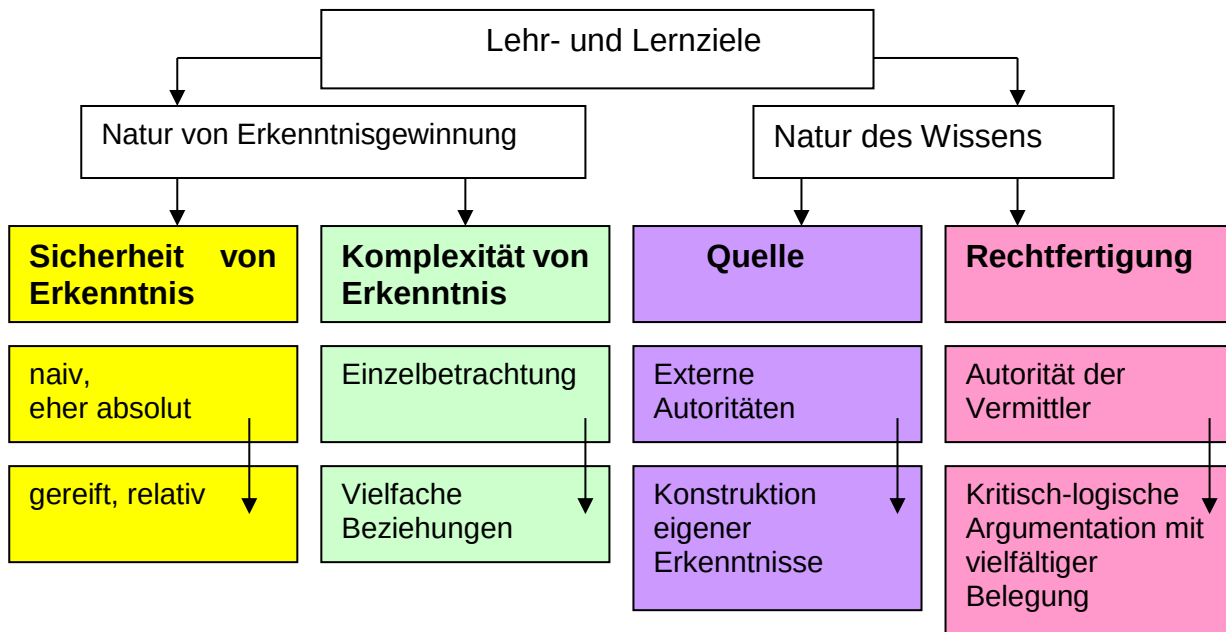


Abb. C13: Erkenntnisse selbst und der Weg zu ihnen unterliegen unterschiedlichen Verarbeitungsniveaus, wie sie in der Abbildung jeweils von oben nach unten beschrieben sind. Chemieunterricht hat u.a. die Aufgabe, den Niveauwechsel frühzeitig anzubahnen und über die Jgst. hinweg sicher zu stellen.

Die Ziele der täglichen Unterrichtsarbeit werden nicht nur von den Lehrplänen und Bildungsstandards vorgegeben. Sie lassen sich auch aus globalen, internationalen und nationalen Bestandsaufnahmen (Bildungs-Monitoring) ableiten. So weist der Bericht der Europäischen Kommission „High Level Group on Science Education“ zum Thema „Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe (2007)³⁴⁰“ eindrucksvoll aus,

- dass naturwissenschaftlicher Unterricht weit davon entfernt ist, den Großteil der Bevölkerung zu interessieren, was an der Art des Unterrichts liegt,

- dass es eine große Übereinstimmung gibt hinsichtlich der entscheidenden Bedeutung des Naturwissenschaftsunterrichts und
- dass es dennoch eine Vielfalt von Einzelerfolgen im Naturwissenschaftsunterricht gibt, die allerdings kaum europäische Effekte erzielen.

Es wird jedoch auch konstruktiv argumentiert,

- dass es für eine „Renewed school’s science-education pedagogy“ zu einer Umorientierung von rein instruktionaler Unterrichtsführung zu einer mehr forschungsanalogen, problembasierten Unterrichtskonzeption kommen muss („Inquiry-Based Science Education“: IBSE; „Problem-Based Learning“: PBL),
- dass damit auch außerschulische Partner involviert werden sollen³⁴¹ und

³⁴⁰ <http://publications.europa.eu>

³⁴¹ Diesbezüglich veranstaltete die tecnopedia mit: dem Deutscher Industrie- und Handelskammertag e. V. (DIHK) am 21.1.2014 in Berlin eine Fachtagung zum Thema „Lehrmaterialien aus der Wirtschaft –

- dass Vernetzungen zwischen den so agierenden Lehrern entstehen müssen (SINUS!: Prenzel et al., 2008; FIBONACCI: Benke & Rippitsch, 2012), mit deren Hilfe die Implementierung der besseren Methodik europäische Dimensionen annehmen kann (Schecker et al., 1996).

Auf nationaler und regionaler Basis führen die Situationsanalysen zu keinen anderen Ergebnissen. So findet man im britischen Lagebericht „Beyond 2000: Science Education for the Future – The report of a seminarseries funded by the Nuffield Foundation“ aus dem Jahr 1998 (Millar & Osborne) ähnliche Kritik, jedoch auch ein sehr ausführliches „Designing a New Science Curriculum“³⁴². Die Frage nach Bedeutung und Umfang des Unterrichts in den Fächern Biologie, Chemie und Physik auf den unterschiedlichen Jahrgangsstufen unterliegt weiterhin der Dauerdiskussion (Stork, 1988; Scharf, 1994; Schmidt, 1994; Sumfleth, 1996; Christen, 1997; Graf, 1997; Lagowski, 1998; Eddy, 2000; Kremer, 2000; Becker, 2002; Pietschmann, 2005; A Campo, 2007; Anton, 2008).

Man wird sich jedoch damit abfinden müssen, dass die Konfrontation mit den Ansprüchen an eine naturwissenschaftliche Allgemeinbildung oder „Science literacy“ (Dubs, 2002) bzw. „Scientific Literacy“ (Gräber et al., 2002), hier chemische Grundbildung (IMST, 2003/04; Scheiber, 2008) weiterhin zu „Bewusstseinsspaltungen“ führt. Wie wäre sonst zu erklären, dass sich die Appelle über die Jahrhunderte nicht wesentlich geändert haben und bis heute nur selektiv wahrgenommen werden. 1790 erhob die kurfürstliche-bayerische Regierung an der Universität Ingolstadt die Chemie zum „Pflichtfach für die Hörer aller Fakultäten -insbesondere auch der Theologen-, da man hierin ein wirksames Mittel zur Bekämpfung des Aberglaubens in der Bevölkerung sah“ (Krätz, 1981). In seinem Buch „Schule der Chemie oder Erster Unterricht in der Chemie, versinnlicht durch einfache Experimente“ aus dem Jahre 1881 schreibt der Professor für Chemie an der Königlichen Akademie für Forst- und Landwirte zu Tharand, Julius Stöckhardt über die Chemie: „Und doch wird sie immer noch nicht als ein allgemeines Bildungsmittel anerkannt, noch nicht in allen Gymnasien und Seminarien gelehrt! Eine Wissenschaft, die uns Aufschluss gibt über die gewöhnlichsten Erscheinungen in der Natur, sollte nicht jedem nach Bildung strebenden Menschen von hohem Interesse sein?“

Man kann sicher noch viele weitere Argumente finden, welche zeigen, dass dieses wunderbare Fach nicht nur der Wissensvermittlung zu dienen hat, sondern eben auch der Veränderung von Überzeugungen (Anton, 2008d) und als solches offensichtlich polarisiert. Diesbezügliche Untersuchungen an Erstsemestern chemischer Lehramtsstudiengänge weisen darauf hin, dass die Vorstellungen gegenüber drei Berufskomponenten

- Beliefs of classroom Organization (Aktions- und Sozialformen)
- Beliefs of Teaching Objectives (Inhalts- vs. Bildungsorientierung)
- Epistemological Beliefs (Rezeptives vs. konstruktivistisches Lernen)

sehr heterogen auftreten und im Vergleich zu den Lehrämtern der anderen Naturwissenschaften bei den angehenden ChemielehrerInnen eher zu Ungunsten innovativer und heute gültiger Vorstellungen ausfallen (Markic & Eilks, 2008).

Praxisplus für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht“ mit dem erklärten Ziel von Unternehmen, mit Unterrichtsmaterial aus der Praxis die Schulen dabei zu unterstützen, über den naturwissenschaftlichen Unterricht auch das Interesse für technische Berufe zu wecken.

³⁴² <http://www.kcl.ac.uk/education>

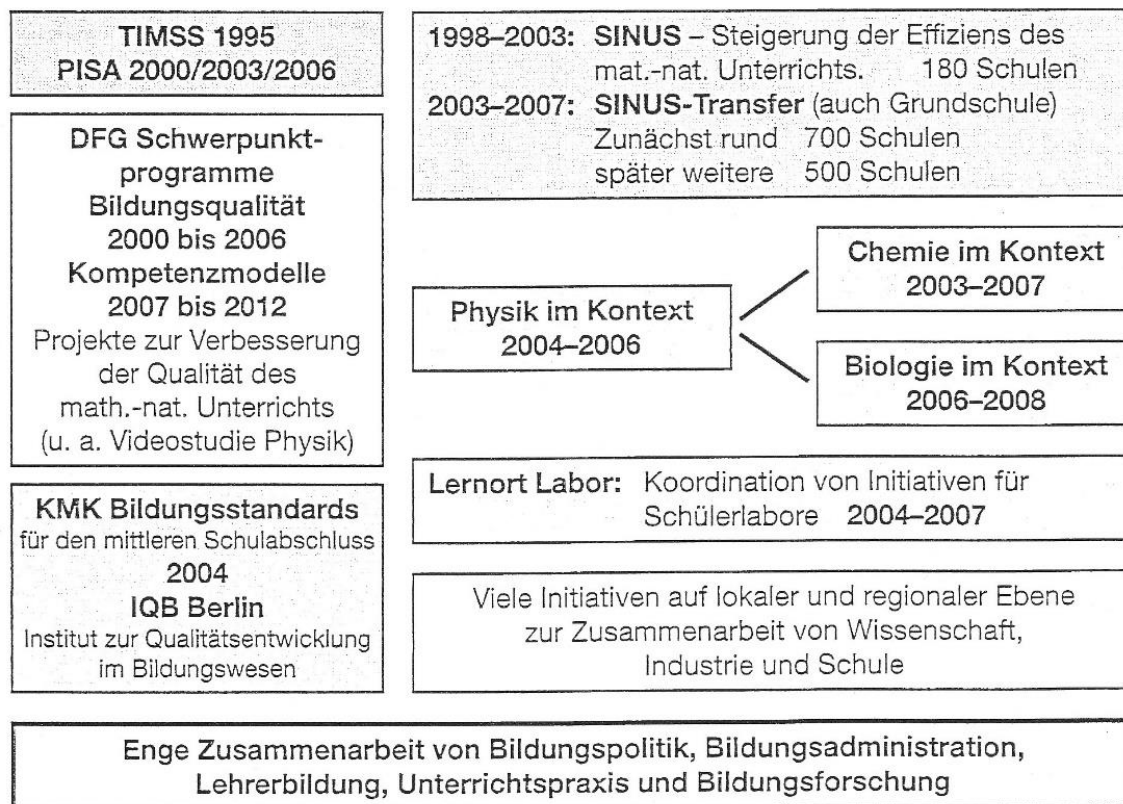


Abb. C14: Übersicht zu den „Initiativen zur Verbesserung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland (Abb. aus: Duit, 2010, S. 324).

„Möglicherweise sind die vorhandenen Überzeugungsspielräume im allgemeinen Chemieunterricht zu kurz“ (Becker, 2002). Diese Vermutung hebt zwei zentrale Aufgabenstellungen hervor, die aufgrund der vorhandenen Untersuchungen und nach Auffassung des Autors in sehr engem Zusammenhang mit dem heutigen Qualitätsverständnis von Chemieunterricht stehen (Abb. C14).

Als erste Aufgabe gilt die Sicherstellung eines langanhaltenden Kontakts mit chemisch-naturwissenschaftlichen Phänomenen und Erklärungen:

1. Wie kann der frühe Umgang mit chemischen Phänomenen so gelingen, dass Neugier und Verstehensbereitschaft altersgemäß und zugleich nachhaltig unterstützt und weiterentwickelt werden? → Kontinuität

Die zweite Aufgabe betrifft die Organisation der chemischen Lerninhalte (Prenner, 2023):

2. Wie können chemische Inhalte so ausgewählt, geordnet und beziehungsreich vernetzt werden, dass sie sich flexibel zu Instrumentarien für bildungswirksame Problemlösungen kombinieren lassen? → Strukturiertheit

Aus konstruktiven Antworten zu diesen Aufgaben sollen Schlussfolgerungen möglich sein, bei deren Verwirklichung nicht nur die Qualität des Unterrichtens chemischer Inhalte zunehmen kann, sondern auch das Selbstverständnis derjenigen aufgewertet wird, die sich als moderne Repräsentanten der „Vermittlungswissenschaft Chemie“ verstehen und sich der Verantwortung für eine gelingende chemische Grundbildung in der Gesellschaft, vornehmlich über die Aus- und Fortbildung von ChemielehrerInnen bewusst sind³⁴³.

³⁴³ Dieses mehrwertorientierte Selbstverständnis sowie die damit verbundene Außenwirkung sind mitverantwortlich für die Position des LehrerInnenberufs in der aktuellen Rangliste gesellschaftlicher

Hierbei spielt die fachdidaktische Forschung (Krüger et al., 2014) eine ebenso große Rolle wie die immer wieder erforderliche Einstellung eines Gleichgewichts zwischen 'konservativen' und 'innovativen' Elementen sukzessiver Unterrichtsentwicklung. Wenn von den immer kürzer werdenden Halbwertszeiten des modernen Wissens gesprochen wird, sind keinesfalls die schulrelevanten fachwissenschaftlichen Grundlagen gemeint!

Es soll abschließend noch ein weiterer Aspekt von Unterrichtsqualität bzw. von ihrer Entwicklung angeführt werden. Er betrifft die Tatsache, dass immer mehr auf die Bedeutung der Teamfähigkeit und des „Teamings“ von Unterricht hingewiesen wird. So zitiert Rolff (2015) amerikanische Forschungen und betont, dass „Professionelle Lerngemeinschaften“ (PLG) besonders effektiv für die Personalentwicklung der Lehrkräfte und das Lernen der SchülerInnen zugleich sind. Sie verbinden und vereinigen wie kein anderer Ansatz das LehrerInnen mit dem SchülerInnen bzw. Personalentwicklung mit Unterrichtsentwicklung (UE)“ (S. 564). Steinert et al. (2006, zit. aus Rolff, 2015, S. 567) unterscheiden fünf Stadien der Zusammenarbeit zwischen LehrerInnen (in Klammern: %-Angaben der aktuellen Häufigkeit):

- Integration (gegenseitige Unterrichtsbesuche, wechselseitige Adaptivität im Unterrichtshandeln; 2-3%)
- Interaktion (fächerübergreifende Zusammenarbeit, orientiert an gemeinsamen Themen; 13%)
- Koordination (Austausch von Ergebnissen aus einzelnen Arbeitsgruppen; 22%)
- Differenzierung (gute fachspezifische Zusammenarbeit; 53%)
- Fragmentierung (isolierte Einzelarbeit; 10-16%).

Bei Lütje-Klose (2014) finden sich sechs Ausbildungen von „Team-Teaching-Modellen“ (immer für zwei Lehrkräfte):

- One teach, one observe
- Station Teaching
- Parallel Teaching
- Alternative Teaching
- Team Teaching
- One teaches, one assist (S. 28-29).

Anerkennung ausgewählter Berufe. Die vom Meinungsforschungsinstitut forsa 2001 Befragten weisen dem Beruf des Lehrers und der Lehrerin mit 71% ein sehr hohes Ansehen zu (2015). Gegenüber 2007 hat dies um 8% zugenommen (http://www.dbb.de/fileadmin/pdfs/2015/forsa_2015.pdf)

C 1.5 Chemieunterricht als Forschungsbereich

Es ist ein erklärtes Ziel der Vermittlungswissenschaften („Fachdidaktik“), im komplexen Unterrichtsgeschehen Muster zu erkennen³⁴⁴, diese auf Generalisierbarkeit und Bewährung zu überprüfen, um sie deduktiv zur Qualitätssteigerung zu nutzen. Im Kontext der LehrerInnenbildung gilt es, sie fachspezifisch zu fokussieren, zu intensivieren und auf die Implementierung ihrer Ergebnisse in die Schulpraxis hin bedarfsgerecht auszurichten (Just, 1989; Anton 2003a; 2006). „New innovations in school education are a great aim. One should make use of the atmosphere of optimism to help the teachers through a very practical and well-reasoned didactical support“ (Scheiber, 2010, S. 226)³⁴⁵. Denn: „Kompetenzerwerb durch Unterrichtsforschung kultiviert den experimentellen Blick auf die Berufspraxis. Er hilft, die Entwicklungsaufgaben der Lehrkraft zu erfüllen“ (Paseka & Schrittmesser, 2011). Wie sehr dies Not tut und inwieweit hierzu Theorie (Wunsch) und Praxis (Wirklichkeit) noch voneinander abweichen, zeigt eine Untersuchung von Köller et al. (2013) an 930 Probanden aus Schulleitung (GS, GY), Lehrkräften, LA-Studierenden und Eltern. Darin geht es „um die Übereinstimmung der pädagogischen Expertise einer Lehrkraft mit (empirisch belegten) allgemeingültigen Wissensbeständen“ (S. 49) [aus der empirischen Bildungsforschung], hier: Hattie, 2013). Es zeigt sich speziell im Bereich „Subjektive Überzeugungen zur Wirksamkeit des Unterrichts“, wie wenig die Ergebnisse empirischer Bildungsforschung das professionelle Grundverständnis der Lehrkräfte beeinflussen“ (S. 64), was sich insbesondere beim Mythos „Lehrlernerfolg und Klassenstärke“ manifestiert. „Im Gegensatz zur häufig geäußerten Meinung, SchülerInnen kleinerer Klassen zeigten bessere Leistungen als SchülerInnen größerer Klassen, liegt die mittlere (korrigierte) Korrelation zwischen Klassenstärke und Schulleistung bei Null“ (Wilberg & Rost, 1999, S. 138). Solchen, einer positiven Unterrichtsentwicklung entgegen gerichteten, falsifizierbaren Einstellungen beginnt man nun mit der Betonung einer „Evidenzbasierten Praxis“ (Wiseman, 2010; Bauer et al. 2015³⁴⁶) konstruktiv zu begegnen. Das erfordert aber zugleich auch eine wesentlich höhere Sensibilisierung der Lehrpersonen in der Schule für den Hilfecharakter solcher Angebote (Lenz & Meretz, 1995; Häußler et al., 1998; Gilbert et al., 2002; Bayrhuber et al., 2004; 2011; Stern et al., 2007; Meseth et al., 2011; Hetmanek et al., 2015). Gleichzeitig ist es unbedingt erforderlich, dass lehrerlernwissenschaftliche Forschungsdesiderate auf ihre Notwendigkeit und Unterrichtsrelevanz hin überprüft und bei Gutbefinden erfüllt werden: „Alles, was ich herausfinde, sollte ich auch wirklich konkret anwenden können“ (Karl Popper (1902-1994), zitiert aus: Csikszentmihalyi, 2012, S. 28). Diese sehr vernünftige Folgerung kann so ohne weiteres nicht übertragen werden auf die Ergebnisse der Unterrichtsforschung. Ihre Implementierung in die schulische Praxis gelingt keinesfalls automatisch. Markic & Eilks (2008) weisen in ihren Untersuchungen nach, dass die „Lehrervorstellungen“ als „mentale Aspekte, die Lehrkräfte oder Lehramtsstudierende –bewusst oder unbewusst– haben und die ihr Handeln als Lehrkräfte beeinflussen“ (S. 70) durch den selbst erlebten Unterricht, und zwar

³⁴⁴ „Wissenschaftler machen ja nichts anderes, als im Chaos der Ereignisse Muster zu erkennen“ (Natalie Knapp *1970, Philosophin, in einem Zeitungsinterview der SZ vom 2./3.2.2013, S. V2/10)

³⁴⁵Auf die Aufforderung, sich zu Beispielen von **Innovationen im Kontext der Unterrichtsentwicklung (hier: Chemieunterricht)** zu äußern, wurden von Studierenden des Lehramts die folgenden Begriffe und Statements aufnotiert: Neue Formen der Leistungsfeststellung (Aufgabekultur), Alternativen zu „Schülerreferaten“ (Rollenspiele [Vgl. hierzu: Seilnacht, 1995: Thema: Düngemittel]), interaktiver Medien- und Experimenteinsatz, Entdeckendes Lernen, auch im Bereich von ASLO, Miniaturisierung großtechnischer Verfahren, authentisches Problemlösen im Unterricht und einiges Weniges mehr (Vgl. hierzu auch Hübsch, 2013)

³⁴⁶ Zur Kritik vgl. auch: Bellmann und Müller, 2011

fachspezifisch fundiert werden. Es scheint so zu sein, dass die Ausbildung der Lehrkräfte nicht oder zu wenig darauf ausgerichtet ist, eine „veränderte und an aktuellen Forschungserkenntnissen ausgerichtete Unterrichtskultur umzusetzen“ (S.69)³⁴⁷.

Eine mögliche Ursache mag vielleicht darin bestehen, dass im Gegensatz zu allen anderen Berufen, die Lehrer*innen ja schon zu wissen glaubt, „wie Lehrer und Lehrerin geht“ und bei ihm und ihr aus dem Schüler*innen*erleben IST- und SOLL-Zustand bereits zu eng verknüpft sind, als dass er sich nun um die Beseitigung von Abweichungen zugunsten eines neuen SOLL-Zustandes einsetzen müsste. Auf der anderen Seite muss auch ein Wissenschaftler bestimmte Voraussetzungen mitbringen. Hierzu sei auf einen Zweig der Pädagogik verwiesen: Die „... hermeneutisch-phänomenologische Pädagogik [ist] eine auf praktische Erfahrungen angewiesene und sie selbst initiiierende Forschung. Integration von Theorie und Praxis kann über die Person des Forschers gelingen, dem die Wissenschaft nicht zu hoch und zu erhaben und die Praxis nicht zu tief und zu ‚schmuddelig‘ ist“ (Lippitz, 1994, S. 9) und dem es gelingt, seine Forschungsanliegen und –ergebnisse unterrichtsnah verständlich „an den Mann und an die Frau zu bringen“ (von Campenhausen, 2014). Es bedarf weiterhin großer Anstrengungen, insbesondere der Chemiedidaktik, um einem unterdurchschnittlichen Interesse an den Forschungsergebnissen aus den Fachdidaktiken entgegenzuwirken, auch deshalb, weil diese Diskrepanz zwischen Forschung und Praxis bei Chemielehrern besonders ausgeprägt ist. Sie könnte verkleinert werden, indem man die Anbindung der Universitätsabsolventen an die Fachdidaktik dadurch erhöht, dass man sie beispielsweise mit dem Abschluss als Master bzw. mit dem ersten Staatsexamen in den Verteiler für die Lehrer*innenfortbildung aufnimmt, ihnen die Angebote der Fachdidaktiken für ihre aktuelle Unterrichtsarbeit besonders anpreist, ihre akuten, aus den ersten Praxiserfahrungen resultierenden Fragen beantwortet und vor allem die Transition Universität→Schule flach und problemlösend gestaltet. In diesem Kontext sollte auch an eine Art „Leistungszentrum Unterrichtsentwicklung“ gedacht werden, in dem es möglich ist, engagierte Lehrer aktiv in neuen didaktischen und mathetischen Errungenschaften zu trainieren.

Mit der vornehmlichen Ausrichtung des Chemieunterrichts auf die „reine Chemie“ (‘Fundamental Chemistry’) sowie auf die „Chemie als lebendige Wissenschaft“ (‘Knowledge Development in Chemistry’), allerdings auf Kosten der Zielsetzung „Chemie-Technik-Gesellschaft“ (‘Chemistry, Technology and Society’) (van Berkel, 2005 & van Driel et al., 2005, zit. aus Markic et al., 2009) muss festgestellt werden, dass unter den Lehrer*innen der naturwissenschaftlichen Fächer die Mehrheit der Chemielehrkräfte ausgesprochen traditionell ausgerichtet ist: „lehrerzentrierte Unterrichtsgestaltung, Orientierung an der Sachstruktur und rezeptives Lernverständnis“ (S. 73).

Um hierzu eine Win-win-Situation für Forschung und Schulpraxis einzustellen, gibt es Konzepte, die sich allerdings vom organisatorischen Aufwand her nicht immer in vollem Umfang realisieren lassen. So entwickelten Eilks und Ralle ein Konzept der „Partizipativen Fachdidaktischen Aktionsforschung“ (PFA) (2002, 2003; Eilks & Markic, 2007; Burmeister & Eilks, 2013; Carle, 1997; Kroath, 1991; vgl. auch Moser, 1978, 1995, S. 33; Altrichter & Posch, 1998; S. 103), das sich auf chemiedidaktische Fragestellungen bezieht³⁴⁸, jedoch auch in anderen Fachbereichen Anwendung finden könnte. Dabei

³⁴⁷ Ein praktisches Angebot für die Lehrkräfte mit MINT-Fächern gibt es seit 2015, ausgehend von der Arbeit eines Forscherteams der Technischen Universität München (TUM). Hier werden aktuelle Ergebnisse der Unterrichtsforschung für Lehrkräfte praxisnah aufbereitet: www.clearinghouse-unterricht.de und www.clearinghouse.edu.tum.de/themen

³⁴⁸ Ein vergleichbares Beispiel für die Chemie findet sich bei Vikström et al. (2013)

werden die Forschungsprojekte unter feldexperimentellen Bedingungen mit praktizierenden Lehrkräften konzipiert, durchgeführt und ausgewertet³⁴⁹.

Im Rahmen der „Entwicklungsforschung“ (Einsiedler, 2010, Wilhelm, 2019), der „Transformationsuntersuchungen“ (Helmke & Weinert, 1997), der „Design Research“ (Cobb, 2000, 2001) bzw. „Design³⁵⁰-Based Research“ (DBR) (Reinmann, 2005) werden kleine Probandengruppen in laborexperimenteller Umgebung untersucht (Prediger et al. 2012) oder man reduziert die Untersuchung auf die Outcomes im Vergleich weniger Einzelpersonen: „Arts-Based Research (ABR)“³⁵¹ (Rolling, 2013).

Im Zuge der Annäherung amerikanischer, englischer und deutscher Projekte zur Unterrichtsforschung in naturwissenschaftlichen Fächern wird das Konzept einer „educational reconstruction for teacher education“ (ERTE) proklamiert. Darin spiegelt sich die Anwendung des Prinzips der „Didaktischen Rekonstruktion“ auf die Belange der LehrerInnenbildung. Hierzu werden Fachdidaktik und PCK zueinander in Beziehung gebracht (van Dijk & Kattmann, 2007).

In all diesen Fällen ist das Ziel, Unterrichtsarrangements hinsichtlich Lehr- und Lerntätigkeit zu optimieren sowie deren theoretische fachdidaktischen Grundlagen zu erproben, sukzessive abzusichern und generalisierbar zu machen, etwa nach dem Motto „The Theory must do real work!“ (Cobb, 2000). Weinert (2000) formuliert dies noch drastischer: „In den realen Kontexten, in denen man das wissenschaftliche Wissen braucht, muss es auch produziert werden“ (S. 47). Hierzu empfehlen Schwedler und Riewerts (2019), dass LehrerInnen für Chemie das experimentelle Prinzip ihres Faches auf die Beforschung ihres eigenen Unterrichts übertragen. Mit dem „Konzept „Mein Unterricht als Experiment“ soll die „Entwicklung einer explorativen, analytischen und reflexiven Haltung der Studierenden gegenüber dem eigenen Unterricht“ vorangetrieben werden. Dabei wird allerdings auf das „Wie“ dieses „forschenden Lernens“ nicht genauer eingegangen. Eine Möglichkeit besteht in der „Unterrichtsnahen Aspektforschung“³⁵² (UAF) oder auch „Naturalistischen Aspektforschung von Unterricht (NAFU), die dem (Educational) „Design-based Research“ (DBR)-Ansatz (McKenney & Reeves, 2018) zugeschrieben werden kann.

Viele Verfahren („Untersuchungsdesigns“) müssen sich vor dem Hintergrund der anvisierten Übertragbarkeit ihrer Ergebnisse auf die Unterrichtspraxis und Nutzung für die Unterrichtsentwicklung, wegen der möglichen Artefakte wie auch hinsichtlich der

³⁴⁹ Auch in der Wissenschaft berücksichtigt man vermehrt (neben der reinen Grundlagenforschung) den „Societal Impact“, die gesellschaftliche Wirkung und damit auch eine „ko-kreative Forschung mit Anspruchsgruppen“ mit „nachfrageorientierter Qualitätskontrolle“, auch unter dem Gesichtspunkt, von Seiten der Gesellschaft überinformiert zu werden („Scientific Citizenship“) (Felt et al., 2013; zitiert aus Maasen & Sutter, 2022, S. 49, 51, 53)

³⁵⁰ Die DESIGN-Praxis nutzt vielfältiges Wissen unterschiedlichster Herkunft, hier: von Forschenden und Praktikern, deren Metier beforscht werden soll und in das die Ergebnisse wieder implementiert werden sollen.

³⁵¹ ABR: „The multisystemic application of interactive analytical, synthetic, critical-activist, or improvisatory creative cognitive processes and artistic practices toward theory-building. Best at addressing questions that can neither be measured with exactitude nor generalized as universally applicable or meaningful in all contexts. Stems directly from a researcher’s artistic practice or creative worldview“ (Rolling, 2012, p. 8)

³⁵² Hierbei geht es um die Beforschung aktueller und akuter Problemlagen, wie sie sich aus der Vielfalt von Unterrichtssituationen ergeben können. Im Institut für Didaktik der Chemie (IDC) an der Uni Wien wird dieser Ansatz favorisiert. Wichtig ist, dass Ergebnisse möglichst umweglos in die Schulpraxis implementiert und weiterhin evaluiert werden (Vgl. auch „Variationstheorie“). Sowohl bei UAF wie NAFU geht es um die feldexperimentelle („unter den Bedingungen des regulären Unterrichts“ Weinert, 1999f) Betrachtung ausgewählter Merkmale des Chemieunterrichts vor dem Hintergrund einer verstehens- und anwendungsorientierten kognitiven und affektiven Wissensgenese zur Sicherung demokratieförderlicher Grundbildung

angewendeten Statistikprogramme ernste Kritik gefallen lassen (Helmke & Weinert, 1997, S. 141-143), auch deshalb, weil die „unmittelbare Uminterpretation von empirischen Ergebnissen [aus der Lehr-Lernforschung] als Anforderungen [an das Lehrerverhalten] ... nicht möglich ist“ (Bromme, 1997, S. 182). Andererseits liegen hinsichtlich der Frage, „wie schulisches Wissen verständlich und langfristig vermittelt wird, ... aus der psychologischen und neurobiologischen Lehr- und Lernforschung gut abgesicherte Kenntnisse vor“ (Roth, 2017, S. 326). Leider wird aber „den meisten Lehrenden zugemutet, sich diese wichtigen Kenntnisse selbst anzueignen“ (S. 326).

Wie bei den SchülerInnen (vgl. Kap. 9.6), so muss auch bei Lehrpersonen hinsichtlich der Zielzustände, welche sie in Lern- und Leistungssituationen als wünschenswert erstreben, differenziert werden. Es werden dabei häufig vier Arten von Zielorientierungen unterschieden:

- „Lernzielorientierung (Das Bestreben, als Lehrkraft die eigenen Kompetenzen zu erweitern),
- Annäherungsleistungsorientierung (das Bestreben, höhere Leistungen als andere zu demonstrieren),
- Vermeidungsleistungszielorientierung (das Bestreben, keine schlechteren Leistungen als andere zu zeigen) und
- Arbeitsvermeidung (das Bestreben, den Arbeitsaufwand größtmöglich zu reduzieren)“ (Nitsche et al., 2013, S. 96).

Sowohl PFA als auch DBR splitten das komplexe Konstrukt `Theorie´ auf in eine reflexive (personell bewährte) und rezeptive (noch nicht elaborierte) Theorie sowie das der `Praxis´ in eine (miterlebte) Interpraxis und eine (selbst gestaltete und verantwortete) Intrapraxis (Anton, 2009b). Diskriminierung und Zusammenspiel sind verbunden mit der „Absicht“ (engl. „design“), Unterricht und Forschung gleichermaßen für Verbesserungen von Lehr- und Lernleistungen in den Dienst zu nehmen. Hier sei auch verwiesen auf die „Ordnungsmöglichkeiten einer Theorie des Technikunterrichts“ von Schmayl (2013, S. 100-117), bei denen über mehrere Stufen zwischen der pragmatischen Form als „Technikunterricht im Vollzug steuernd“ über „Technikunterricht modellhaft beschreibend“ bis zu „Technikunterricht bildungstheoretisch begründend“ vermittelt wird.

In der folgenden Übersicht sammeln sich wichtige Theorietemen (Tiefenstrukturen), deren Beherrschung Bestandteil der Professionalität von Lehrpersonen ist. Die Schlagworte beschreiben objektivierende Pools für die Begründungen eigener unterrichtsrelevanter Entscheidungen (Abb. C15).

16 Theoriegrundlagen für die Begründbarkeit oberflächenstruktureller & strategischer Aspekte der Unterrichtsplanung

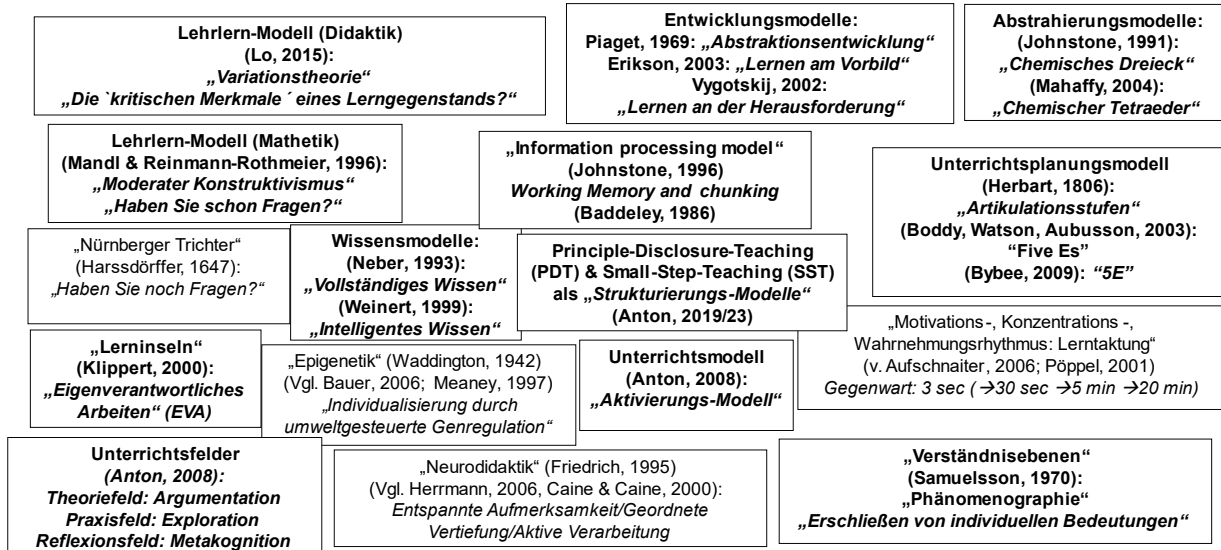


Abb. C15: Übersicht zu den theoretischen Orientierungen für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Unterricht, hier mit dem Chemieunterricht

Diese Synopse kann als Beziehungsgeflecht verstanden werden. Im `Planungs- und Analyse-Raster für den Unterricht` (PARU, Abb. E2), einem Produkt des seit 2000 laufenden österreichischen IMST²-Projekts³⁵³, lassen sich die Planungsfaktoren zueinander in Beziehung bringen. Auf der Basis von unverzichtbaren geeigneten Lehrlern-, Unterrichts- und Wissensmodellen werden die wesentlichen Elemente der Planung von Unterricht (hier für die naturwissenschaftlichen Fächer und Mathematik) mit Kriterien der Qualitätsprüfung (Leitlinien (LL) für die Inhalts- und Methodenwahl) sowie ihren Realisierungsbedingungen (Artikulation) und der unmittelbar zugehörigen Evaluation verbunden³⁵⁴ (Vgl. Anton, 2008, S. 109).

Der neue bayerische Gymnasiallehrplan (LehrplanPLUS) sieht Unterrichtsplanung als vierschrittige Fragenbeantwortung:

- Welche Kompetenz soll erworben werden?
- Welches Fachwissen ist hierzu erforderlich?
- Welche Lernsituation muss eingestellt werden, damit dem SchülerInnen die Informationen zugänglich gemacht werden können?³⁵⁵
- Welche konkrete Unterrichtskonzeption muss dementsprechend organisiert/geplant werden?

Aus einer Zusammenschau der Ausführungen bei Gold (2015) lassen sich sehr konkrete Beziehungen ableiten, welche auch bei Büchel (2000) sowie bei Renkl (2011b)

³⁵³ Das Akronym stand ursprünglich für „Innovations in Mathematics, Science and Technology Teaching“, heute wird es gelesen als „Innovationen Machen Schulen Top“

³⁵⁴ Der „PARU“ wurde aus dem „Grundbildungskonzept des Schwerpunktprogramms `Mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung` des ursprünglichen IMST²-Projekts entwickelt, veröffentlicht im IMST²-Newsletter 2 (2003/04) 8

³⁵⁵ Es besteht zudem kein Zweifel darüber, dass die digitale Alltagswelt auch eine digitale Schulumwelt ist. Neue Medien und neue Verfügbarkeiten von Informationen, welche die klassische Unterrichtsraumgebundenheit aufheben, müssen in modernes Unterrichten implementiert werden (Burrow, 2014), allerdings ohne auf die unbedingten Vorteile der personalen Zuwendung zwischen LehrerInnen und Lernerinnen zu verzichten.

im Sinne der Anleitung zum 'Lernen durch Denken' zu vergleichbaren Konsequenzen hinsichtlich der Planung von Unterricht führen (Abb. C16). Zugleich handelt es sich dabei um sehr konkrete Ansätze für Projekte der Unterrichtsforschung.



Abb. C16: Übersicht zu den Kriterien für eine Planung von erfolgreichen, d.h. lernwirksamen Unterricht unter Miteinbezug von der „Aptitude-Treatment-Interaction“ (ATI)

Zur obigen Abbildung lassen sich aus Gold (2015) sowie Hasselhorn & Gold (2006) sinngemäß die folgenden Anmerkungen entnehmen:

1. Voraussetzungen für eine kognitive Aktivierung³⁵⁶:
 - 1.1 Selektive Aufmerksamkeit in Form einer schnellen Auswahl von Reizqualitäten durch den Perzeptionsfilter und das Arbeitsgedächtnis ('Group Alerting')
 - 1.2 Flexibles Vorwissen
 - 1.3 Lernstrategien unter metakognitiver Regulation
 - 1.4 Lernmotivation und Anerkennung einer 'Holflicht' (Zuweisung der Leistungsverantwortlichkeit (Accountability) durch die Lehrkraft an die Klasse)
 - 1.5 Lernförderliches Selbstkonzept
 - 1.6 Positive lernbegleitende Emotionen
2. Maßnahmen zur „Aptitude-Treatment-Interaction“ (ATI) (Cronbach & Snow, 1977) im Zuge 'adaptiver Methodik'
 - 2.1 Gelenkte Konstruktion, direkte Unterweisung (direct instruction), auch 'darstellender' bzw. 'expositorischer' Unterricht
 - 2.2 Freie Konstruktion, offenes Unterrichten (progressiv education)
 - 2.3 Entdeckendes Lernen (Neber, 1998)
 - 2.3.1 'guided' (gelenktes Entdeckenlassen)
 - 2.3.2 'pure' (reines Entdeckenlassen)

³⁵⁶ Vgl. hierzu auch das INVO-Modell (INdividuelle VOraussetzungen) als „Modell der kognitiven und motivational-volitionalen individuellen Voraussetzungen erfolgreichen Lernens“ aus: Selektive Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis, Strategien und metakognitive Regulation, Vorwissen (=kognitive Bed.), Volition und lernbegleitende Emotionen, Motivation und Selbstkonzept (=motivational-volitionale Bed.) (Hasselhorn & Gold, 2006, S. 68)

- 2.4 Kognitive Meisterlehre (Cognitive Apprenticeship)
- 2.5 `Verstehensanker' (Anchored Instruction)
- 2.6 Kooperationen mit Arbeitsteilung, Sichtbarkeit der Einzelleistungen, Diskussionen und Konfliktmanagement
 - 2.6.1 Gruppenrallye
 - 2.6.2 Gruppenpuzzle
 - 2.6.3 Reziprokes Lehren (Lernen durch Lehren: LdL) (Vgl. Kolbe & Martin, 2024)
- 3. Lehrervoraussetzungen (grundsätzlich)
 - 3.1 Gesichertes Professionswissen („... *nichts ist praktischer für die eigene Arbeit als theoretische Kenntnisse, die sie begründen*“ Gold, 2015, S. 52)
 - 3.2 Subjektive Überzeugungen („Wenn sie zu sehr vom wissenschaftlich gesicherten Kenntnisstand abweichen, können sie die Lernwirksamkeit³⁵⁷ von Unterricht beeinträchtigen“, Gold, 2015, S. 150)
 - 3.3 Selbstwirksamkeitsüberzeugung
 - 3.4 Berufliche Selbstregulation
- 4. Lehrervoraussetzungen (vor Ort)
 - 4.1 Allgegenwärtigkeit („Withitness“; „Inbetweenness“)
 - 4.2 Sicherung eines reibungslosen Unterrichtsverlaufs („Overlapping“)
 - 4.3 Aufrechterhaltung des Gruppenfokus
 - 4.4 Berücksichtigung von Kompositionseffekten (Zusammensetzung einer Lerngruppe)
 - 4.5 Nachhaltige intellektuelle Herausforderungen an die SuS.

Nach Tippelt (2002), Renkl (2011) und Roth (2017) lassen sich solche Faktoren bündeln und zu vier entscheidenden Bereichen der Unterrichtsplanung und –forschung in Beziehung setzen (Abb. C 17).

Unterrichtsanforderungen (UA)

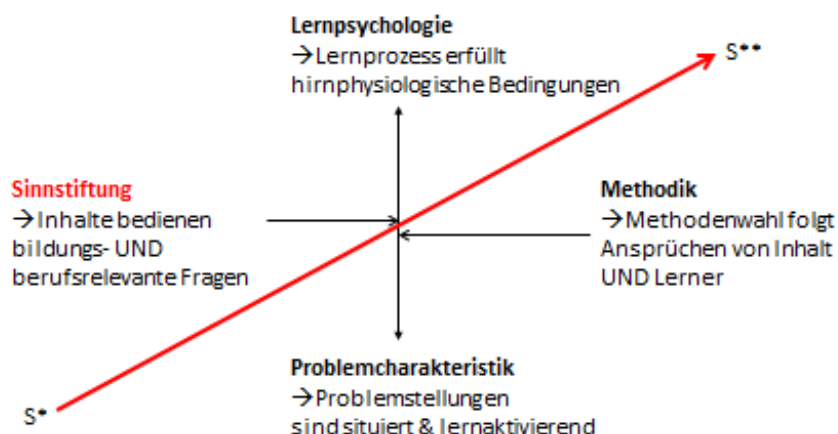


Abb. C17: Schematische Darstellung der vier Bedingungs-bündel für eine zeitgemäße Absicherung von Planungs- und Forschungsentscheidungen hinsichtlich des Unterrichts (hier: Chemie). Die Cluster lassen sich wie folgt näher charakterisieren:

³⁵⁷ Vgl. hierzu auch: Greutmann et al., 2021; Felten & Stern, 2012; Schneider et al., 2023

Lernpsychologie: Didaktische & mathetische Aufbereitung beachten ...

- Intelligenz & Begabung
- Echtheit, Gegenwertigkeit, Adaptivität & Professionalität der Lehrenden
- Aufmerksamkeitsleistungen (Achtsamkeit³⁵⁸ des L. leitet Aufmerksamkeit des S.)
- Anschlussfähigkeit des Stoffes
- Motivation & Belohnungserwartung
- Vielfalt der Fördermöglichkeiten (Inklusion)
- Strukturierung des Unterrichts
- Fleiß und Wiederholung

Problemstellung ...

- fordert eigenes Denken heraus,
- aktiviert Primärerfahrung & Präkonzepte,
- ist fachtypisch zu bearbeiten,
- existiert auch außerhalb der Lernsituation, ist nicht konstruiert,
- tritt in unterschiedlichen Zusammenhängen auf,
- kann kontroverse Bedeutungen besitzen,
- ist kommunikativ & emotional zu bearbeiten,
- lässt sich mit aktuellen Medien veranschaulichen und
- kann durch strukturierte Instruktion definiert werden

Sinnstiftung: Unterricht bedient Fragen, wie:

- Welches Verständnis von Welt habe ich?
- In welchen kulturellen Kontexten lebe ich?
- Wie kann ich meine Alltagsprobleme lösen?
- Wie kann ich meine gesellschaftlichen Bedingungen mitgestalten?
- Wie denken und arbeiten Wissenschaftler?
- Was betrifft mich unmittelbar und weckt mein Interesse?

Methodik stellt folgende Varianten zur Verfügung:

- vortragend-darstellend
- forschend-entwickelnd
- präkonzeptgeleitet
- historisch-genetisch
- aufgabenorientiert
- problembasiert
- entdeckend
- projektiert
- spielerisch
- technisch-optimierend

Unterricht, welcher diese hier zusammengestellten Bedingungen ausdrücklich adaptiert, sollte in der Lage sein, SchülerInnen an die sowohl lehrplanorientiert verbindlichen wie auch anlageorientiert individuellen Ziele zu bringen, sie zu qualifizieren und zu fördern.

³⁵⁸ Dem Thema „Achtsamkeit“ wird zunehmend mehr Beachtung beigemessen. So findet sich in der Juni-Ausgabe der Zeitschrift *MINTZirkel* des Klett-Verlags ein Artikel von zwei Vertretern der Biologiedidaktik (Watts & Hoffmann, 2020): „Allgemeine Studien zur Achtsamkeit haben gezeigt, dass sie die Entwicklung von Selbstregulation unterstützt, weil dadurch die Fähigkeit unterstützt wird, die eigenen innere Umgebung bewusst wahrzunehmen (z. B. Emotionen, Urteile, Überzeugungen, Gedanken). Dadurch entsteht die Möglichkeit, bewusst zu entscheiden, wie auf diese innere Konstitution reagiert werden kann“ ... „Mithilfe der besseren Selbstregulation durch Achtsamkeitspraxis ist es möglich, soziale Kontakte zu verbessern. Das wird bei der Entwicklung eines sogenannten ‘prosocial classroom’ deutlich“ (S. 6). Interessant ist auch, dass bei emotional gefärbten Statements, etwa zu Klimawandel u.a., deren Ursachen freigelegt werden können und u. U. als Missverständnisse entlarvt, einer rationalen Behandlung zugeführt werden können. Vgl. Präkonzepte!

C 2 Fähigkeiten und Fertigkeiten im Fach Chemie

Die tägliche Unterrichtspraxis zwingt insbesondere im Fach Chemie mit seinen „Schülerübungen“ sehr häufig zu Entscheidungen zwischen den theoretisch und den praktisch zu vermittelnden Inhaltsanteilen. Hervorhebungen von theoretischen Aussagen über die Formulierungen von Gesetzmäßigkeiten, Reaktionsgleichungen und Berechnungen unter Verwendung der Modellvorstellungen bis hin zum Nachvollzug und der Diskussion von Reaktionsmechanismen, vornehmlich in der organischen Chemie prägen den traditionellen Chemieunterricht. Die Arbeit von SchülerInnen im Praktikumsraum in Form von sicheren Umsetzungen von Versuchsanleitungen, von experimentellen Nachweisen oder gar von selbst entworfenen empirischen Überprüfungen eigener Vermutungen bis hin zur kritischen Reflexion naturwissenschaftlicher Autorität (vgl. „Nature of Science“ (NOS), Bruns, 2009; Becker, 2002) haben dagegen eher Seltenheitswert und sind von sporadischer, meist auch belohnender Natur. Zudem sind sie deutlich abhängig von den herrschenden Unterrichtsbedingungen, etwa dem Raum-, Chemikalien- und Geräteangebot aber auch von den Klassengrößen sowie von der Verfügbarkeit von qualifizierten Lehrkräften.

Diese Praktik entspricht nicht mehr den heutigen Vorstellungen von wissenschaftsadäquatem Arbeiten. Sie dient nicht der Erfüllung des Lernziels „Einblick in die Denk- und Arbeitsweise des Chemikers“. Bezogen auf die Bildungsstandards, wird mit ihr vornehmlich der Kompetenzbereich „Fachwissen“ bedient und keineswegs die Kompetenzbereiche der Handlungsdimension: Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung.

Diese Ziele ließen sich vielleicht dann leichter anvisieren und letztlich auch verbindlicher als bisher erreichen, wenn man das Unterrichtsgeschehen auf klar unterscheidbare „Unterrichtsfelder“ (Anton, 2008; 2009a) mit nicht austauschbaren Zielen verteilen würde.

C 2.1 Unterrichtsfelder im Fach Chemie

Jedes solcher Felder besäße eigene Zielsetzungen, Instrumentarien, Methoden und Formen der Leistungserhebungen. Dies entspräche auch den lernpsychologischen Belastbarkeiten der Kinder und Jugendlichen (Pior, 1998; Goswami, 2001; Schneider & Knopf, 2003; Strauch, 2003; Gisbert, 2004; Tücke, 2007) (Abb. C18). Dabei gilt es, jeweils geeignete Gleichgewichte unterschiedlicher Belastungsformen im Bereich der kognitiven und psychomotorischen Erziehungsziele im Chemieunterricht einzustellen. Die Felderdifferenzierung berücksichtigt diese Unterschiedlichkeit.

Unterrichtsfelder

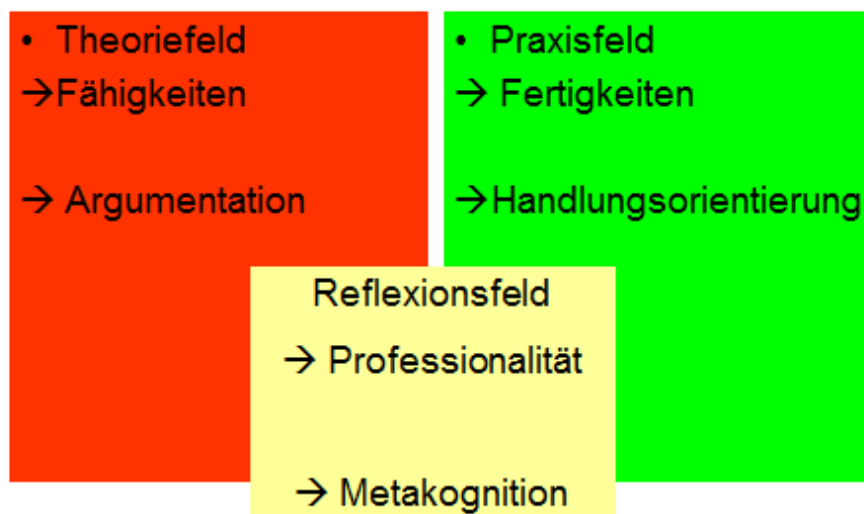


Abb. C18: Grobe Unterscheidbarkeit der drei Unterrichtsfelder. Die drei Schwerpunkte sind nicht gegenseitig ersetzbar. Jeder besitzt die ihm eigene Bedeutung und erst in ihrem Zusammenwirken erzielt man die jeweiligen Unterrichtsziele

C 2.1.1 Theoriefeld und Praxisfeld

Das Theoriefeld ist vornehmlich inhaltsorientiert und favorisiert die kognitionsorientierte Argumentationsfähigkeit, etwa unter Einsatz der Fachsprache, von Gesetzmäßigkeiten und Modellvorstellungen. Hier wird die „enge Verbindung zwischen Denken, Sprechen und Lernen“ (Merzyn, 2016, S. 51) gefördert und der Erwerb der fachsprachlichen Kommunikationsfähigkeit unterstützt³⁵⁹.

Das Praxisfeld ist eher handlungsorientiert, fokussiert auf manuelle Fertigkeiten, auf Geschick im Umgang mit Gerätschaften und Chemikalien, auf Einhaltung von Sicherheitsvorgaben und der Regeln des empirischen Erkenntnisgewinns. Dieses begreifende Sacherleben ist bildungswirksam; denn „Bildungsarmut ist vor allem Erfahrungsarmut“ (Von der Groeben, 2011)³⁶⁰.

Was das Experimentieren anbelangt, so steht das konkrete Arbeiten mit Geräten und Chemikalien aktuell in Konkurrenz zu einem durchaus attraktiven Einsatz von Filmen und Animationen. Die unangenehme Arbeit im Bereich von Vorbereitung, risikoreichem Durchführen und langwierigem Reinigen und Aufräumen lässt es als sinnvoll erscheinen, dies alles durch geschickteren Medieneinsatz zu ersetzen. Dabei wird allerdings vergessen, dass Dreidimensionalität, Prozessualität, Beeinflussbarkeit (Kontrolle), Sicherheit und Sinneswahrnehmungen unverzichtbare Lerneffekte darstellen, die durch kein mediales Faktotum („*Mädchen für alles!*“) substituiert, wohl aber durch ein solches sinnvoll ergänzt werden können!

Gemeinsame Schnittmengen ergeben sich für die Modellvorstellungen (Fischler & Reiners, 2006; Habelitz-Tkotch, 2006) und die Fachsprache, die in beiden Feldern als kommunikative Brücke zum Tragen kommen müssen und damit automatisch vertieft werden können. Beide Felder ergänzen sich, können sich allerdings nicht ersetzen! U. a. auch deshalb, weil es neurophysiologisch kontraproduktiv ist, wenn man „spannendes praktisches Tun [Praxisfeld] in theoretisches Lernen“ [Theoriefeld] umwandeln will (Birkenbihl, 2002, S. 96). Die Felder (kognitiv langanhaltende Auseinandersetzung, und motorisches, wiederholendes Üben) stehen stets in einem anspruchsbabhängigen Gleichgewicht, das die Entwicklungsstadien und damit Lernleistungsstadien unterschiedlicher Hirnbereiche (Hippocampus: Lernen von Fähigkeiten und motorischer Teil des Cortex: Lernen von Fertigkeiten) der SchülerInnen im sozialen (Lern-)Verband (Diem-Wille & Wimmer, 1988; Hofmann, 2008) genauso wie die Verstehensansprüche der fachlichen Inhalte berücksichtigt. „Prozesse, die man durch Handeln erwerben muss, (...), werden [fälschlicherweise] durch Regeln vermittelt“ (Vgl. Birkenbihl, 2002). Dieser folgenreiche Irrtum ist immer noch sehr weit verbreitet.

Die Binnenstruktur der beiden Felder unterstützt die pädagogische Notwendigkeit, den SchülerInnen sichtbar zu machen, dass sie sich fachkompetent weiterentwickeln, ausgehend von einer eher rezeptiven Informationsaufnahme hin zu Formen des selbstständigen und selbstregulierten Lernens, des Sichbildens! (Schiefele & Köller, 2003; Anton, 2003).

Die Anwendung des Wissensmodells (hier: Modell des vollständigen Wissens: Fakten, Konditionen, Funktionen) unterstreicht diese Strukturierung (Abb. C19).

³⁵⁹ Im zitierten Artikel geht der Autor sehr kritisch und differenziert mit den Varianten des „fragend-entwickelnden Unterrichtsgesprächs“ um. An konkreten Beispielen wird zwischen Enge und Weite der Gesprächsführung sowie Länge und Ausführlichkeit von SchülerInnenantworten bzw. -fragen unterschieden und entsprechend gewertet.

³⁶⁰ Vgl. hierzu auch die „Stellungnahme der GDCh-Fachgruppe 'Chemieunterricht' zu baulichen Voraussetzungen für den Experimentalunterricht an Schulen“ (CHEMKON 25 (2018) 7, 301 und: www.gdch.de/fqcu

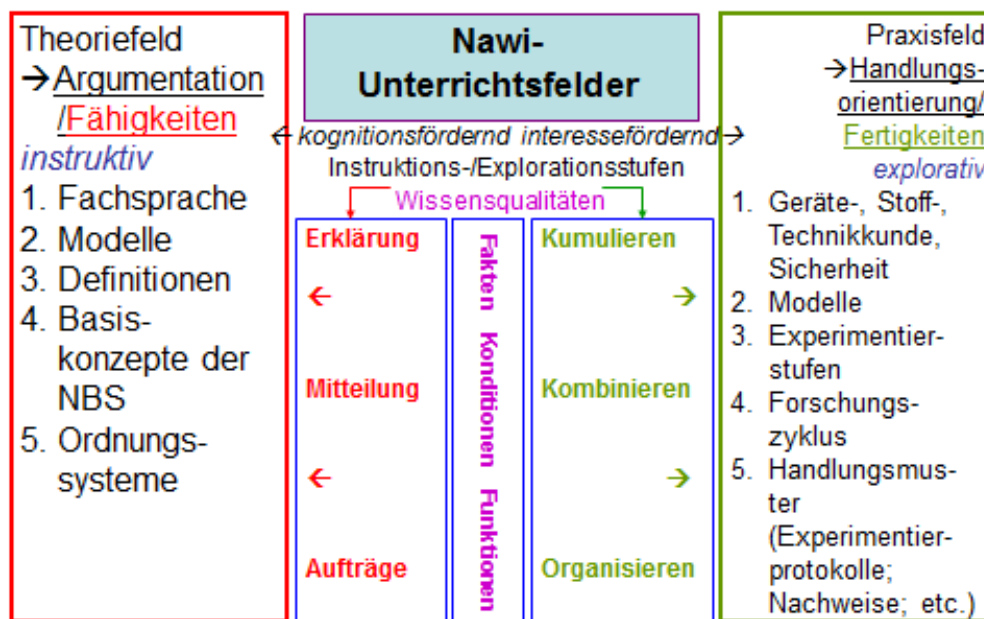


Abb. C19: Schematische Gegenüberstellung von Theorie- und Praxisfeld. In der Mitte werden die Strukturierungsschritte zugeordnet. Zuordnung des dreigliedrigen Wissens-Modells nach Neber zu den Leistungen innerhalb des Theorie- und Praxisfelds. Die Denkleistungen sind jeweils von oben nach unten gelesen von zunehmender Komplexität. Da sie aufeinander aufbauen, sollte darauf geachtet werden, dass die jeweilige Trägerstufe solide ausgebildet ist, damit der darauffolgende Anspruch erfüllbar ist.

Die lernförderlichen Maßnahmen zu einer flachen und erfolgversprechenden Kompetenzentwicklung im Bereich des Theoriefeldes gehen aus vom expliziten Erklären und Demonstrieren, münden in das mehr den Schüler und die Schülerin fordernde implizite Mitteilen bis hin zum Erteilen von Aufträgen, die in vornehmlicher Eigenleistung und fristgerecht zu erfüllen sind. Dabei steigert sich die Eigentätigkeit der LernerInnen (ihre Holpflicht) und die Bringpflicht der LehrerInnen verringert sich entsprechend und nimmt qualitativ andere Züge an.

Im Sinne einer Anspruchssteigerung geht es hier um den Weg von der direkten Unterweisung³⁶¹ (Erläuterungen mit expliziten Bezügen; „mastery approach“) zum offenen Unterricht (Selbststeuerung; „situierter Lernumgebungen“) (Abb. C20).

³⁶¹ „Direkte Unterweisung“ hat primär nichts zu tun mit „Lehrervortrag“. Nach Hattie werden bei „Direkter Unterweisung“ sieben Abschnitte unterschieden:

- klare Zielsetzungen und Erfolgskriterien, die den Lernenden transparent sind
- aktive Miteinbeziehung der SuS in die Lernprozesse
- genaues Verständnis der Lehrperson, wie Lerninhalte zu vermitteln und zu erklären sind
- permanente Überprüfung im Unterrichtsprozess, ob verstanden worden ist
- angeleitetes Üben unter Aufsicht
- Bilanzierung des Gelernten auf eine für Lernende verständliche Weise und Integration des Neuen (Wesentliches und Schlüsselbegriffe) in einen größeren Zusammenhang (Vgl. Steffens & Höfer, 2015, S. 219)

Greutmann et al. (2021) unterscheiden bei „Direkter Instruktion“ sechs Elemente:

- Prüfen der Lernvoraussetzungen
- Darstellende Stoffvermittlung
- Angeleitetes Üben mit Verstehensprüfung

Von der gelenkten zur freien Wissenskonstruktion

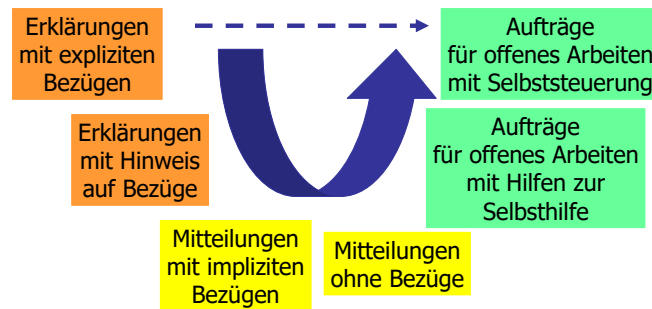


Abb. C20: Abschnitte der Wissenskonstruktion mit konkreten Methodenbeispielen im Verlaufe der komplexer werdenden Nutzung von Lernangeboten im Theoriefeld

Wichtig ist, dass diese Steigerung auf der Anspruchsseite UND auf der Erfolgsseite explizite Hervorhebung erfährt. Sowohl das Gelingen wie auch der Misserfolg kann zusammen mit dem Schüler und der Schülerin metakognitiv(!) reflektiert werden. Damit konkretisiert sich das Fähigkeitsselbstkonzept und es wird die Lernmündigkeit der jungen Menschen gefördert. Das gilt in vergleichbarer Weise ebenso für das Praxisfeld.

In der Hinführung zu den chemischen Fertigkeiten geht es von der einfachen Geräte- und Chemikalienkunde (Kumulieren) über die Konstruktion von Versuchsaufbauten mit und ohne Anleitung (Kombinieren) (vgl. hierzu auch: Öhding et al., 2008) bis hin zum Entwurf von experimentellen Hypothesenprüfungen (Organisieren). Die Abb. C21 zeigt konkretisierende Beispiele.

-
- Lernüberwachung und Rückmeldungen
 - Selbständiges Üben
 - Regelmäßige Kontrolle des Lernfortschritts (S. 78-80)

Von der gelenkten zur freien Wissenskonstruktion

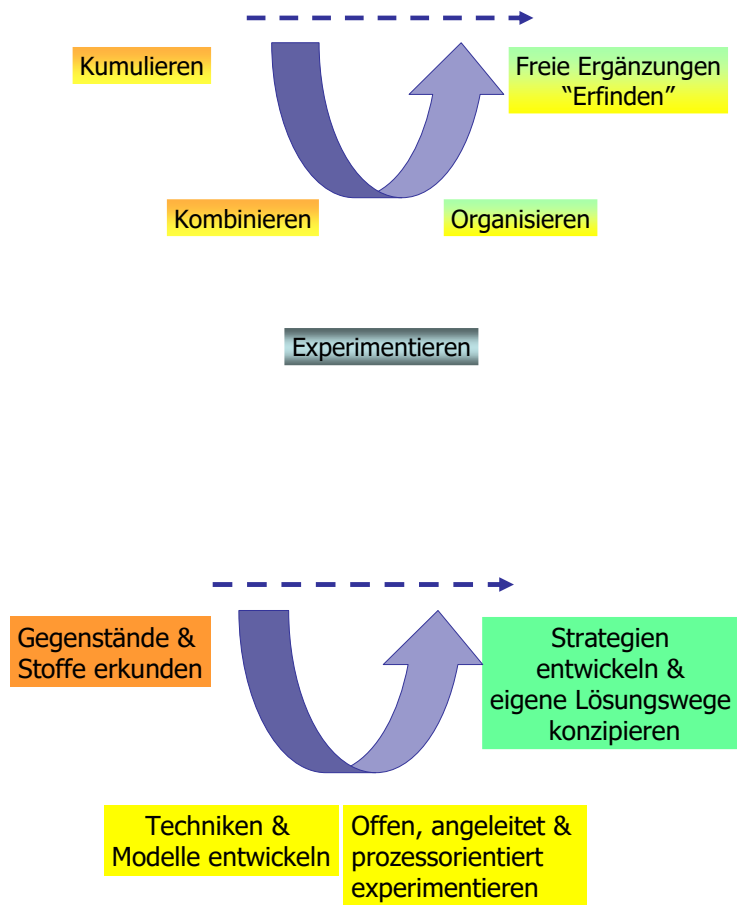


Abb. C21: Abschnitte (Stufen) der Wissenskonstruktion mit konkreten Methodenbeispielen im Verlaufe der komplexer werdenden Nutzung von Lernangeboten im Praxisfeld

Im Sinne einer Anspruchssteigerung verläuft der Weg von allgemeinen Fertigkeiten (handling) zur kreativen Problemlösekompetenz („anchored instruction“ = narrative Anker (vgl. hierzu auch: „Lernen mit mysteries“); „Kompetent durch problemorientiertes Experimentieren“: KOMPEX; Kreatives Lösungsorientiertes Experimentieren: KLEEx).

Überdies lässt sich die Forderung nach einem letztlich eigenverantwortlichen und selbstständigen, problembasierten und entdeckenden Lernen (Scientific Discovery Learning (SDL): Reid et al., 2003; Selbstgesteuertes Lernen: Weinert, 1982; Problem-based Learning (PBL): Ram, 1999; Discovery Learning (DL): Neber, 2007; Selbstorganisiertes Lernen (SOL): Wagner, 2020) sicherer, weil kleinschrittig verbunden (*Small-step teaching*) und damit bewusster erfahrbar, erfüllen.

Das Problembasierte Lernen (PBL) kann als Methode wie folgt ausdifferenziert werden (Tab. C1):

Schritte	Kurzbeschreibung
1	GA: Textanalyse, Begriffsklärung
2	Problemfindung und –eingrenzung; Fragenfindung; Vorwissensanalyse
3	Hypothesenbildung; Informationsbeschaffung
4	Fragen- und Hypothesenpassung
5	Textbearbeitung/Experimententwicklung
6	Recherchearbeit/Experimentdurchführung und Datensammlung
7	Ergebnisbewertung vor dem Hintergrund der Aufgabenstellung/Präsentationen und Verteidigung

Tab. C1: Schritte zum problembasierten Lernen aus: „Bayer. Kultusministerium“: „Erfolgreicher MINT-Abschluss an bayerischen Hochschulen“, 2015, S. 133

Es ist darauf zu achten, dass beim Vorbereiten des offenen Unterrichtens³⁶², etwa im Zuge des Experimentierens im Chemieunterricht (Priemer, 2011, S. 325), insbesondere im Bereich der Mittelstufe (Sekundarstufe I) höhere Ansprüche einerseits an das Lernverhalten hinsichtlich Gruppen- und Selbstorganisation bei den SchülerInnen (Tepner et al., 2009) und andererseits an die Vorbereitung und begleitende Betreuung sowie Ergebnissammlung und –würdigung durch die Lehrperson (Walpuski & Sumfleth, 2007; Berger & Granzer, 2013) zu erfüllen sind, als gemeinhin angenommen wird.

Mit einer explizit deutlichen Gliederung der Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen auf sehr unterschiedlichen Anspruchsebenen werden auch solide Voraussetzungen geschaffen für eine adäquate Bewertung der SchülerInnenleistungen im Zuge ihrer praktischen Arbeit. Gerade hier ist der Kompetenzzuwachs für SchülerInnen meist kurzfristig und unmittelbar erfahrbar (vgl. hierzu auch das dritte Unterrichtsfeld, das Reflexionsfeld) und für die Lehrkraft auf vielerlei Art messbar (Anton, 2008, S. 187-193: inkl. dortiger Literaturhinweise).

Die entsprechende Veränderung der LehrerInnenrolle bzw. der LehrerIn-SchülerIn-Beziehung kann über sechs unterschiedliche Grade der offenen Arbeitsweise (inquiry levels) beschrieben werden (Martius et al., 2016)³⁶³ (Tab. C2).

Inquiry level	Fragen	Planen	Durchführen	Daten erheben	Schlussfolgern	Darstellen	Anwenden
0	L(ehrer)	L	L	L	L	L	L
1	L	L	LS	L	L	S	L
2	L	L	S	LS	LS	S	L
3	L	LS	S	S	S	S	S
4	LS	S	S	S	S	S	S
5	S(chüler)	S	S	S	S	S	S

Tab. C2: Übersicht zu den Abstufungen der Lehrer-Schüler-Beziehungen beim Durchlaufen eines forschungssimulierenden Experimentierens (Martius et al., 2016; Tabelle von S. 223, verändert)

³⁶² Priemer unterscheidet 6 Dimensionen mit jeweils bis zu 4 graduellen Ausprägungen:

Fachinhalt (Vorgabe von 1, mehreren, keinen FI), Strategie (vorgegeben, vorskizziert, ohne Vorgabe), Methode (wie Strategie), Lösungen bzw. Lösungswege (ein/e oder mehrere Lösungen/Lösungsweg/e), Experimentierphase (Ausprägungsgrad des Forschungszyklus bzw. der Experimentierstufen)

³⁶³ Im Lehrbuch-Set für die MS und die AHS in Österreich („Erforsche Deine Umwelt mit Expedition Chemie“) wird genau diese Vorgehensweise ausdrücklich vorgestellt und inhaltlich umgesetzt (Haim & Müller, 2016).

C 2.1.2 Reflexionsfeld

Das zusätzliche Reflexionsfeld (Abb. C25) schafft den Raum, die Grenzen, die Unsicherheiten und die Optionen der empirisch-naturwissenschaftlich ermittelten Einsichten zu erkennen und kritisch zu bewerten, ermöglicht also die Hinzunahme der Kriterien der „Nature of Science“ (Craig, 1949; Hofheinz, 2008; Bruns, 2009; Stäudel & Rehm, 2010). Es ist aber auch das Feld, in dem eigene Überzeugungen geprüft werden und eigener Kompetenzzuwachs registriert wird, beispielsweise durch metakognitive Prozesse. Hier ist es hilfreich, zwischen Kognitionen und Metakognitionen zu unterscheiden: „Lernen ohne nachzudenken ist verlorene Zeit; nachzudenken, ohne zu lernen, ist von Übel“ (Konfuzius, 551-479 v. Chr.).

„Unter Metakognition versteht man das deklarative sowie prozedurale Wissen über kognitive Prozesse beim Umgang mit konkreten Lernaufgaben“ (Wißner, 2014) sowie intelligenten Übungen (Hänsel, 2014). „Metakognitionen können Lernstrategien induzieren und deren Ausführung überwachen. Sie können bereichsspezifisch, aber auch bereichsübergreifend sein“ (Waldmann, 1996, S. 460).

Metakognition bedeutet, die eigenen Kognitionen (Erinnerungen, Wahrnehmungen, Entscheidungen) zu reflektieren und zu bewerten. Im konkreten Fall umfasst die Metakognition das Wissen um die Analogisierbarkeit der genannten chemischen Prozesse sowie das Entdecken (Principle Disclosure-Learning) von Prinzipien und deren Anwendung:

Bezieht man sich auf das Alkalimetall-Thema, so ist das Ziel, die unterschiedlichen Präsentationen auf eine generalisierbare Formel, etwa in Form von: $2 \text{ Alkali-Me} + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Alkali-MeOH} + \text{H}_2$ zusammenzuführen:

Bei einer vergleichenden Experimentreihe zu den unterschiedlichen Verhaltensweisen von Alkalimetallen der ersten Hauptgruppe (PSE) gegenüber Wasser finden unterschiedliche Mengen, Gefäße, Nachweise und sicherheitsbezogene Vorgehensweisen sowie Demonstrationsformen Anwendung. Das Element Lithium reagiert langsam, sodass der entstehende Wasserstoff aufgefangen und nachgewiesen werden kann. Natrium reagiert heftiger und ermöglicht vornehmlich die alkalische Reaktion sichtbar zu machen, was sich sehr gut in der Projektion auf dem Overhead zeigen lässt. Bei Kalium entzündet sich der Wasserstoff spontan und es bedarf eindeutiger Schutzmaßnahmen, damit die Reaktion geordnet ablaufen kann.

Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn es gelingt, die enorme Anzahl von unterschiedlichen Versuchsbedingungen so zu reduzieren, dass die Verbindung vom Phänomen zum hochabstrakten Reaktionsschema möglichst lückenlos in beiden Richtungen hergestellt werden kann. Dies bedarf der geistigen Fähigkeit zum Hervorheben des Wesentlichen. Will man diese Leistung in Einzelmaßnahmen, die erlernt und bewusstgemacht werden müssen, zerlegen, so erkennt man die Ansprüche an die hier erforderliche Denkleistung, welche sich zur metakognitiven Strategie verdichten muss.

Nach Rickey & Stacy (2000) ist davon auszugehen, dass metakognitive Kompetenzen u.a. zwei Auswirkungen haben: Das Verstehen von Prinzipien und das erfolgreiche Vorgehen beim problem-lösenden Denken (PBL). „Ebenso dient uns die Metakognition dazu, unsere Stärken einzuschätzen. Menschen mit guter Metakognition können sich der nächsten Schwierigkeitsstufe stellen, sobald sie bereit sind; sie verlieren also weniger Zeit beim Vervollkommen ihrer Fähigkeiten“ (Fleming, 2015, S. 56) (Vgl.

Abb. C22 und C23)³⁶⁴. Nach Nida-Rümelin & Weidenfeld (2018) muss die hierzu nötige Zeit unbedingt zur Verfügung gestellt werden, da in unserer `Epoche der Digitalisierung´ mit dem Missverständnis aufzuräumen sei, es ginge nur mehr um methodisches und keinesfalls mehr um fachliches Wissen. Vielmehr muss gerade hier mehr Aufmerksamkeit der Persönlichkeitsbildung gewidmet werden: „Nicht die passive Aufnahme vorgefertigten Stoffes, sondern die aktive Bewältigung komplexer Urteile und Entscheidungsstrukturen muss im Mittelpunkt stehen. Der aktuelle Trend zur Normierung, zur Beschleunigung des Unterrichts und zur Verschulung des tertiären Bildungsbereichs geht jedoch in die entgegengesetzte Richtung: Die Zeiten für Reflexion werden knapp, die Stofffülle zwingt zur passiven Rezeption, die sozialen und ethischen Kompetenzen, aber auch die künstlerischen und gestalterischen, die handwerklichen und die technischen verkümmern“ (S. 161-162). Und passend hierzu ein Zitat eines Physikdidaktikers: „The processes of reflection and communication are two of the most critical supports for deep learning, but they are also two of the easiest things to feel like we don´t have time to do in the classroom“ (Nordine, 2017, S. 16).

Metakognition muss im Unterricht bewusstgemacht und explizit eingeübt werden (vgl. „Creative Stopp-Points“), etwa mit Hilfe von Concept Maps (CM) inklusive CM-Test. Dabei muss nicht nur die richtige Antwort gefunden, sondern die falschen Statements müssen auch als solche begründet werden. Auch zwei weitere Verfahren helfen bei der Einübung metakognitiver Strategien. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass Vorhersagen bzw. Modellvorstellungen vorausgesetzt werden, denen dann bei so genannten „Predict-Observe-Explain“ (POE) -Tasks“ die Beobachtung und die Erklärung von Abweichung oder Übereinstimmung folgen müssen oder wie beim „The-Model-Observe-Reflect-Explain (MORE) Thinking-Frame“ eine Reflexionsphase zugeordnet wird (S. 918-919; zu MORE vgl. auch: Mattox & Reisner, 2006; Tien, 2007).

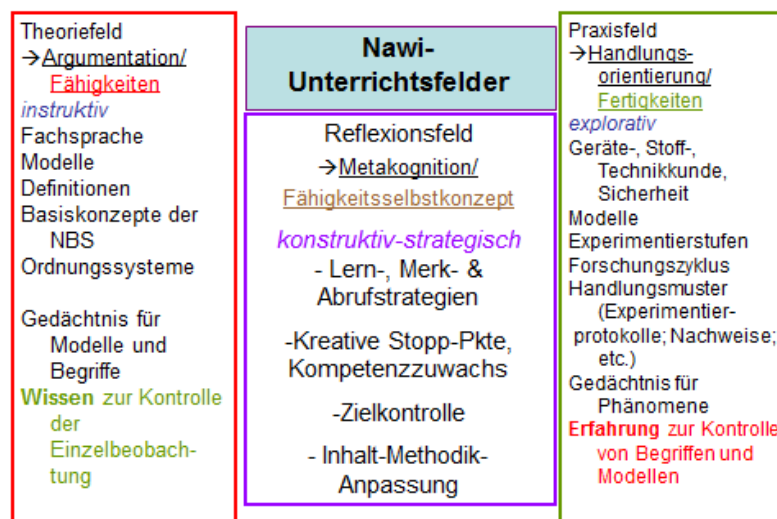


Abb. C22: Charakterisierung der drei Unterrichtsfelder.

³⁶⁴ Neben der Optimierung von individuellen Wissens- und Lernvoraussetzungen, sind metakognitive Fähigkeiten auch Anlass für die Ausbildung bedarfsorientierter, beispielsweise beruflicher Fortbildungsziele. Die hierzu erforderlichen Hilfen, sogenannte „**Lernhacks**“ (Tillmann, 2018), sollen dies erleichtern und zielorientiert unterstützen. Auch für SchülerInnen können die folgenden an sich selbst zu stellenden Fragen bei der individuellen Weiterentwicklung hilfreiche Orientierung geben: „Was sollte ich, was will ich lernen? Und warum? Welche Wege, zu lernen bieten sich an? Wie möchte ich das konkret angehen? Komme ich so voran, wie ich mir das vorstelle? Wie könnte ich mein Lernen verbessern?“ (S. 39-40). Vgl. auch www.lernhacks.de

Im Kontext mit metakognitiven Leistungen müssen auch die „epistemologischen Überzeugungen“ genannt werden. Hierbei handelt es sich um „Vorstellungen über die Struktur des Wissens und des Wissenserwerbs“ (Urhahne, 2006). „Epistemologische Überzeugungen wirken wie ein Filter, durch den bestimmte Informationen ausgewählt, oder wie kognitive Prozesse höherer Ordnung, durch die andere mentale Vorgänge gesteuert werden. Sie nehmen dadurch Einfluss auf Motivation, Denken, Schlussfolgern, Problemlösen, Lernstrategien und Lernleistungen“ (S. 189). Zu solchen Überzeugungen zählt auch die Auffassung, wonach das Expertenwissen qualitativ primär alternativlos richtig ist.

Erst viel später, fallweise erst nach dem Studium, wird die Relativität von Wissen akzeptiert und davon ausgegangen, dass es mehrere Weltzugänge gibt und „viele Entscheidungen und Urteile von Menschen besser oder schlechter begründet sein können und insofern nicht beliebig sind“ (Krettenauer, 2005, S. 70).

Hierzu zählt auch das Bewusstsein, dass beim Lernen immer ein Gleichgewicht gestört bzw. neu eingestellt wird, nämlich das zwischen Wissen und Nichtwissen. So wie man sich des gelingenden Wissensaufbaues und dessen Erweiterung metakognitiv bewusst werden soll, gilt es auch, das eigene Nichtwissen dazu in Beziehung zu setzen. Dies gilt völlig analog für die Relation zwischen Verstehen und Nichtverstehen und sogar für ein Gleichgewicht zwischen der Sicherheit und der Unsicherheit des eigenen Wissens!

Es mag sein, dass der reflexive Umgang mit diesen jeweiligen Gleichgewichtssituationen auch Motiviertheit und Fähigkeitsselbstkonzept der Lernenden nicht unwesentlich mitbestimmen bzw. mitbestimmbar machen, was wiederum zu einem weiteren Aspekt von Differenzierung³⁶⁵ in Unterrichtssituationen führt.

³⁶⁵ Schratz & Westfall-Greiter (2010) unterscheiden hier zwischen der Individualisierung und der Personalisierung. Erstere „wird von der Lehrperson initiiert, gestaltet und gesteuert“ und „erzielt vergleichbare Ergebnisse durch unterschiedliche Aktivitäten“; letztere „wird von den Lernenden gestaltet und gesteuert“ und „erzielt einzigartige Ergebnisse durch persönliche Aktivitäten (*Urheberschaftserlebnis*)“ (S. 27)

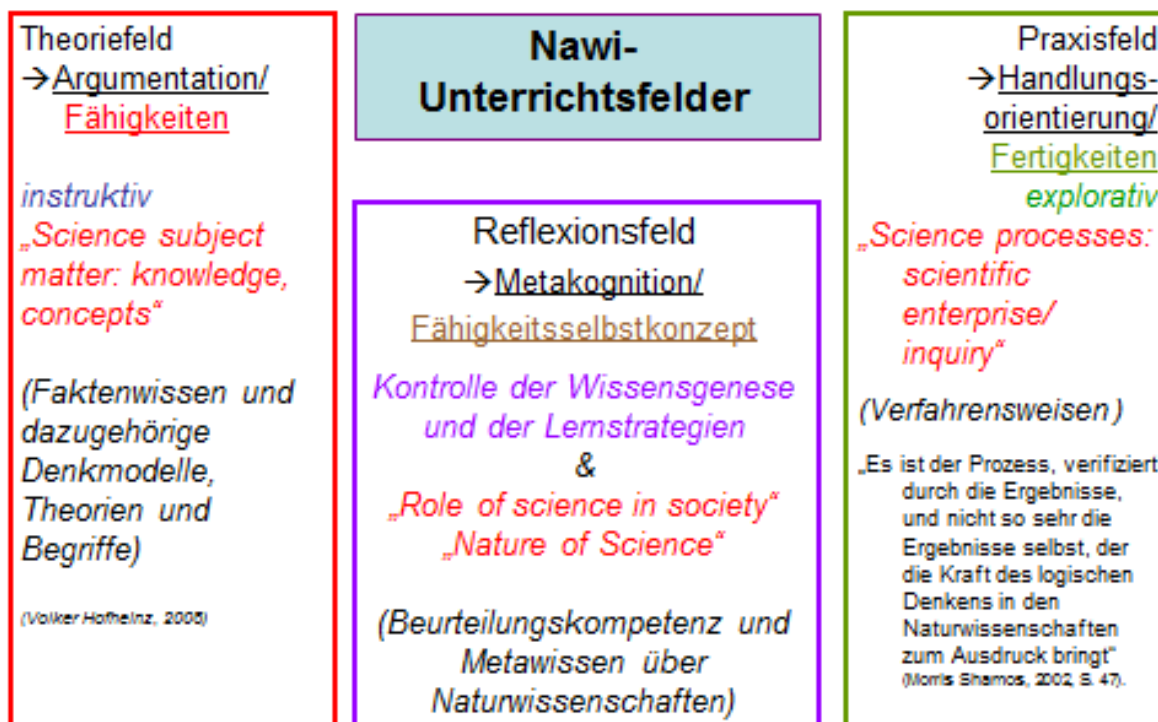


Abb. C23: Schematische Gegenüberstellung aller drei Unterrichtsfelder: Theorie-, Praxis- und Reflexionsfeld. Nach Hünig (1984) lassen sich die jeweils über die Arbeit in den Feldern erzielbaren Effekte ebenfalls deutlich kontrastieren („Wissen zur Kontrolle der Einzelbetrachtung“ ergänzt durch „Erfahrung zur Kontrolle von Begriffen³⁶⁶ und Modellen“).

Alle drei der bis hierher ausführlich charakterisierten Unterrichtsfelder haben eine entfernte, dennoch interessante Ähnlichkeit mit den „drei Curriculum Emphases“ nach van Berkel (2005; zit. nach Markic et al., 2009).

So ließe sich mit Vorsicht

- das Theoriefeld mit dem Konzept „Reine Chemie (Fundamental Chemistry)“ in Einklang bringen,
- das Praxisfeld deckt Bereiche aus dem Konzept „Chemie als lebendige Wissenschaft (Knowledge Development in Chemistry)“ ab und
- das Reflexionsfeld entspricht den Zielen von „Chemie-Technik-Gesellschaft (Chemistry, Technology, and Society)“. In der hier genannten bundesweit angelegten Studie an 1142 Chemielehrern zeigte sich ein hohes Defizit im Bereich des Reflexionsfelds.

Die Felder können zusätzlich mit „naturwissenschaftlich relevanten Haltungen“ (Schönborn et al., 2012) in Verbindung gebracht werden, wobei „Haltungen, im Gegensatz zu Einstellungen (als Bewertungstendenzen) als „sehr allgemeine und gleichwohl grundlegende Verhaltenstendenzen (d.h. Neigungen zu bestimmten Verhaltensweisen)“ definiert werden können (S. 310):

³⁶⁶ Hierfür ist in der Literatur ein geeignetes Beispiel zu finden (Steininger & Freytag, 2020): Im vorliegenden Artikel „Begriffe begreifbar machen“ zu der besonderen Sensibilität bei der Verwendung von Begriffen aus dem Basiskonzept „Stoff-Teilchen-Modell“ wird (leider) auch vom „Salzteilchen“ (S. 12) gesprochen. Dieser Theoriebegriff stellt keinesfalls eine „Vereinfachung“ dar und lässt sich in der Praxis nicht verifizieren!

Zum Theoriefeld gehörig:

- die *Formalisierungshaltung* (Neigung zur (mathematischen) Abstraktion)
- die *Wissbegierde* (Neigung zum Wissenserwerb im Bezug auf die Natur);

zum Praxisfeld gehörig:

- die *Genauigkeitshaltung* (Neigung zum exakten Arbeiten)
- die *Bewunderungshaltung* (Neigung zum Staunen über die Natur(-wissenschaften) und

zum Reflexionsfeld gehörig:

- die *Ehrlichkeitshaltung* (Neigung zur Ehrlichkeit in der Wissenschaft)
- der *Rationalitätshaltung* (Neigung zum vernunftgeleiteten Denken und Handeln)

Setzt man sich zudem mit den Besonderheiten der „scientific literacy“ auseinander, dann lassen sich wesentliche Einteilungen von Inhalt, Erkenntnisverfahren und Metawissen den drei Unterrichtsfeldern sinnvoll zuordnen (Hofheinz, 2008):

- Learning science (naturwissenschaftliche Basiskonzepte lernen) → Theoriefeld
- Doing science (naturwissenschaftlich orientierte Denk- und Arbeitsweisen erlernen) → Praxisfeld
- Learning about science (über naturwissenschaftliche Denkweisen und Wege naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung reflektieren) → Reflexionsfeld

Im landläufigen Schulunterricht erweist sich das Theoriefeld häufig als der 'eigentliche' Unterricht. Das Praxisfeld wird fallweise und unter dem Aspekt des „Dürfens“ sporadisch, improvisatorisch bis verhaltenstherapeutisch eingesetzt. „Insbesondere das experimentelle Arbeiten wäre jedoch dazu angetan, den Umgang mit Fachwissen methodologisch zu hinterfragen und die Ergebnisse in didaktische Entscheidungs- und Begründungszusammenhänge 'vor Ort' einfließen zu lassen“ (Reiners, 1994, S. 34); denn „Das Denken unserer Wissenschaft bewährt sich erst im Handeln, im geglückten Experiment“ (Carl Friedrich von Weizsäcker, 1912-2007). Wer also nur Phänomene bietet und Erklärungen vorenthält, liegt genau so falsch wie derjenige, welcher die Erklärungen ohne Rückbezug zum Erlebbareren vermitteln will.

Lehren und Lernen im Fach Chemie wie in den anderen naturwissenschaftlichen Fächern, aber auch in Mathematik und den Geisteswissenschaften umfassen stets das gesamte Spektrum menschlicher Tätigkeiten, sowohl der körperlichen als auch der geistigen. Die jeweilige Begünstigung all dieser Aktivitäten für den Erwerb der Lerninhalte spiegelt sich in der Methodenvarianz wider. Bei der traditionellen Dominanz der Inhalte, die aus dem Lehrplan und der Fachkompetenz entspringt, wird bei der Methodenwahl häufig willkürlich, spontan und weitgehend ad hoc situationsabhängig entschieden. Vorlieben der Lehrkraft, Größe und Disziplin der Klasse, Ausstattung der Lehrräume und zeitliche Rahmenbedingungen schaffen einen meist engen Rahmen für die angewandte Methodik. So steht es auch um das Ziel „Einführen in das Denken und Arbeiten von Chemikern“. Man kann Grundwissen und Fachkonzepte durchaus guten autoritativen Büchern entnehmen. Sie müssen aber ergänzt werden durch lebendiges und authentisches Erklären, Erläutern und Erzählen (Kober, 2010). Die LehrerInnenpersönlichkeit zeigt den SchülerInnen zusätzlich die Faszination gewonnenen Wissens und erlebten Verstehens und ist darin Vorbild! Der Umgang mit Gerätschaften und Stoffen, die Kombination von Glasgeräten zu Apparaturen und die selbstständige Organisation von Versuchsabläufen mit einem klaren Untersuchungsziel sind jedoch weder durch das Lesen von Beschreibungen bzw. Ansehen von Filmsequenzen noch durch bloßes Vormachen durch LehrerInnen zu erlernen.

„Im Zentrum steht eine Lehrperson, für die allerdings die Lernenden im Zentrum stehen. Sie muss ihr Lernen sehen können, um ihr Lehren daran orientieren zu können. Lernende müssen ihr eigenes Lernen sehen können und es mental begleiten, als wären

sie selbst ihr eigener Lehrer (Selbstdidaktisierung); dabei werden sie von der Lehrperson beobachtet und unterstützt“ (Terhart, 2014). „Wenn die Lehrer-Schüler-Beziehung nicht intakt ist, wird davon auch der Erfolg des Unterrichtskonzepts beeinflusst“ (Bohl, 2014). Bei Winnefeld (1971) heißt es hierzu: „Es gehört zu den besonderen personalen Qualitäten eines Lehrers, sich rasch von einer starken personalen Bindung im Kontaktgeschehen zugunsten der Verstärkung des Sachbezugs zu lösen, wie auch umgekehrt die personale Berührung durch Lockerung des Sachbezugs zu intensivieren“ (S. 131).

Abschließend sei noch einmal auf die Bedeutung eines synergistischen Zusammenspiels der drei Unterrichtsfelder eingegangen. So muss sich zu Beginn der Chemie bereits im Vorschulalter das Experimentieren aus dem bloßen Wahrnehmen, über das bewusste Beobachten hin zum spielerischen Tun, zum Nutzen einfacher Gerätschaften (Löffel, Trichter, Filterpapier, Spatel, Teelichter mit Agraffe ...) dann zum mehr gezielten Einsatz von Geräten und ungefährlichen Chemikalien (Kochsalz, Rohr- und Traubenzucker, Stärke, Natron, Blaukrautsud...) langsam und mit vielen und immer erfolgreicher werdenden Wiederholungen entwickeln. Schüler und Schülerinnen müssen sich das Experimentieren „vertraut machen“ (Vgl. „Der kleine Prinz“ von Antoine de Saint-Exupéry). Versetzt hierzu, entwickeln sich neben diesen instrumentellen Fertigkeiten auch kognitive Fähigkeiten in Form eines chemischen Grundwissens und Grundverstehens. Beides zusammen unterstützt die Generierung von Fragen (Nur, wer viel weiß, kann gut fragen!), welche vorwissensaktivierende Vermutungen herausfordern. Ihre empirische Überprüfung gelingt in dem Maße, wie sich das experimentelle Können dazu instrumentalisieren lässt. Dieses komplexe Zusammenspiel führt zum 'Forschungszyklus'. Jede dieser Stationen stellt für die Didaktik und für die Mathematik eine eigene Herausforderung dar!

Keines der Unterrichtsfelder stellt für sich ein starres Gefüge von über die Zeit hinweg gleichbleibenden Ansprüchen dar. Im Gegenteil, jedes Feld muss dynamisch gedacht werden. Im Verlaufe ihrer Verwirklichung erfolgt eine sukzessive Anspruchssteigerung und damit auch eine fortschreitende Entwicklung von Kompetenz erzeugenden Fähigkeiten und Fertigkeiten. Diese Steigerungen lassen sich –wie oben angeführt– über das Wissensmodell nach Neber beschreiben, jedoch auch mit Hilfe der älteren Lernziel-Taxonomie nach Bloom et al. (1972), wie sie in Tab. C1 wiedergegeben wird.

AB	Operator	Erwartete Leistung
1	wissen	Erinnern von Wissen (Begriffe, Fakten, Abläufe, Kriterien, Symbole) → wiedergeben, reproduzieren, aufzählen, nennen, nachschlagen
2	verstehen	Einen Sachverhalt in eigenen Worten erklären können → beschreiben, erläutern, erklären, verdeutlichen, interpretieren
3	anwenden	Etwas in einem anderen Zusammenhang gebrauchen → anwenden, übertragen, lösen, gebrauchen
4	analysieren	Kriterien ermitteln, Fehler feststellen, Besonderes aufzeigen → analysieren, ableiten, ermitteln, aufdecken
5	evaluieren*	Alternativen abwägen und auswählen, einen Sachverhalt anhand von Kriterien beurteilen → bewerten, beurteilen, entscheiden
6	kreieren*	Umfassende Verallgemeinerungen ziehen, andere Lösungswege finden, Pläne oder Strukturen entwerfen → entwickeln, verfassen, kombinieren, konstruieren, vorschlagen

Tab. C3: Moderne Darstellung der Lernziel-Taxonomie nach Bloom et al. (1972), S. 31; geändert nach Krathwohl & Anderson; Vgl. özbf (2016). Wege in der Begabungsförderung, S. 19

C 2.2 Stufungen der Experimentierfertigkeiten

Mit dem in Abb. C24 vorgestellten Stufungsschema gelingt es noch besser, die Grobstruktur im Praxisfeld des Chemieunterrichts aufzudröseln und die Vielzahl an Ansprüchen deutlich voneinander zu unterscheiden, denen sich die SchülerInnen der Reihe nach zu stellen haben. Je nach Beginnzeitpunkt, Beschäftigungsfrequenz, Betreuungskompetenz, Kontinuität, Aufgabendifferenzierung und Feedback-Qualität können die Stufen unterschiedlich ausführlich und beispielreich betreten werden.

Die Ausformungen dieser Ansprüche sind vom Bildungssystem, von der Schulart, vom Ideenfundus, von der materiellen Ausstattung sowie von der Fach-, Diagnose-, Lern- und Methodenkompetenz der Lehrkraft abhängig.

Wie sehr es dabei (wieder!) auf die Lehrkraft ankommt, wird bereits 1868 von Hellmich in seinem Werk „Über den Unterricht in der Chemie auf Realschulen erster Ordnung“ sehr nachdrücklich und immer noch zeitgemäß betont: „Es gibt aber nicht bald eine Wissenschaft, bei deren Behandlung auf der Schule ungeeignete Lehrkräfte so viel schaden könnten als wie dies bei der Chemie der Fall ist. Wer nicht gründliche chemische Studien gemacht hat, wird vielfach verleitet, interessante Nebendinge zu betonen, Hauptsachen zu vernachlässigen. So muss zwar behauptet werden, dass das Experiment allein und nur das Experiment der Ausgangspunkt zu sein hat, durch dessen genaue Beobachtung der Schüler das Naturgesetz findet oder doch mit Hilfe des Lehrers finden lernt, aber das Interesse, welches der nicht genügend Eingeweihte selbst an dem Versuche nimmt, verleitet ihn oft, das Experiment nicht als Mittel zu gebrauchen, sondern zur alleinigen Hauptsache zu machen, um das Interesse der Schüler rege zu erhalten. Im Gegensatz hierzu kommt es andererseits vor, dass einem, der nicht selbst tüchtige Unterweisung empfangen hat, die Experimente trotz aller Sorgfalt und Mühe nie recht glücken wollen; denn die glatte Ausführung der meisten hängt ja von der Beobachtung vieler an sich geringfügiger Vorsichtsmaßregeln und Handgriffe ab. Die Folge ist, dass er die Lust verliert und lieber gar nicht experimentiert“ (zit. aus Schmitz-Wallrafen, 2003, S. 83).

In den traditionellen Abläufen von SchülerInnenübungen (Chemie), insbesondere in den Jgst. 5 und 6 (Natur und Technik) und in den Jgst. 8 bis 10 spielen die sogenannten `Versuchsanleitungen` eine sehr wichtige, wenn nicht unverzichtbare Rolle. Sie können in unterschiedlichen Versionen vorkommen und sind stets auf das Erreichen einer konkreten Beobachtung oder Messung hin konzipiert. Die Auflistung von Geräten und Chemikalien, die Sicherheitshinweise für Verwendung und Entsorgung, die Vorschrift für das Handling und die Gliederung für das Protokollieren sowie die Rahmen für die Ergebnissicherung sind meist standardisiert.

Dennoch sollten auch hier Abstufungen vorgenommen und Modifizierungen bei den Anleitungen und Alltagsbezügen eingesetzt werden. So weist Efler (2005) ausdrücklich darauf hin, dass der Einsatz von erläuternden Textstellen (historisch, rein informativ, technisch, anwendungs-, aufgabenorientiert) „einen experimentell ausgerichteten Chemieunterricht unterstützen und ergänzen kann“ und gerade „in der Erarbeitungsphase am erfolgreichsten war“ (S. 22).

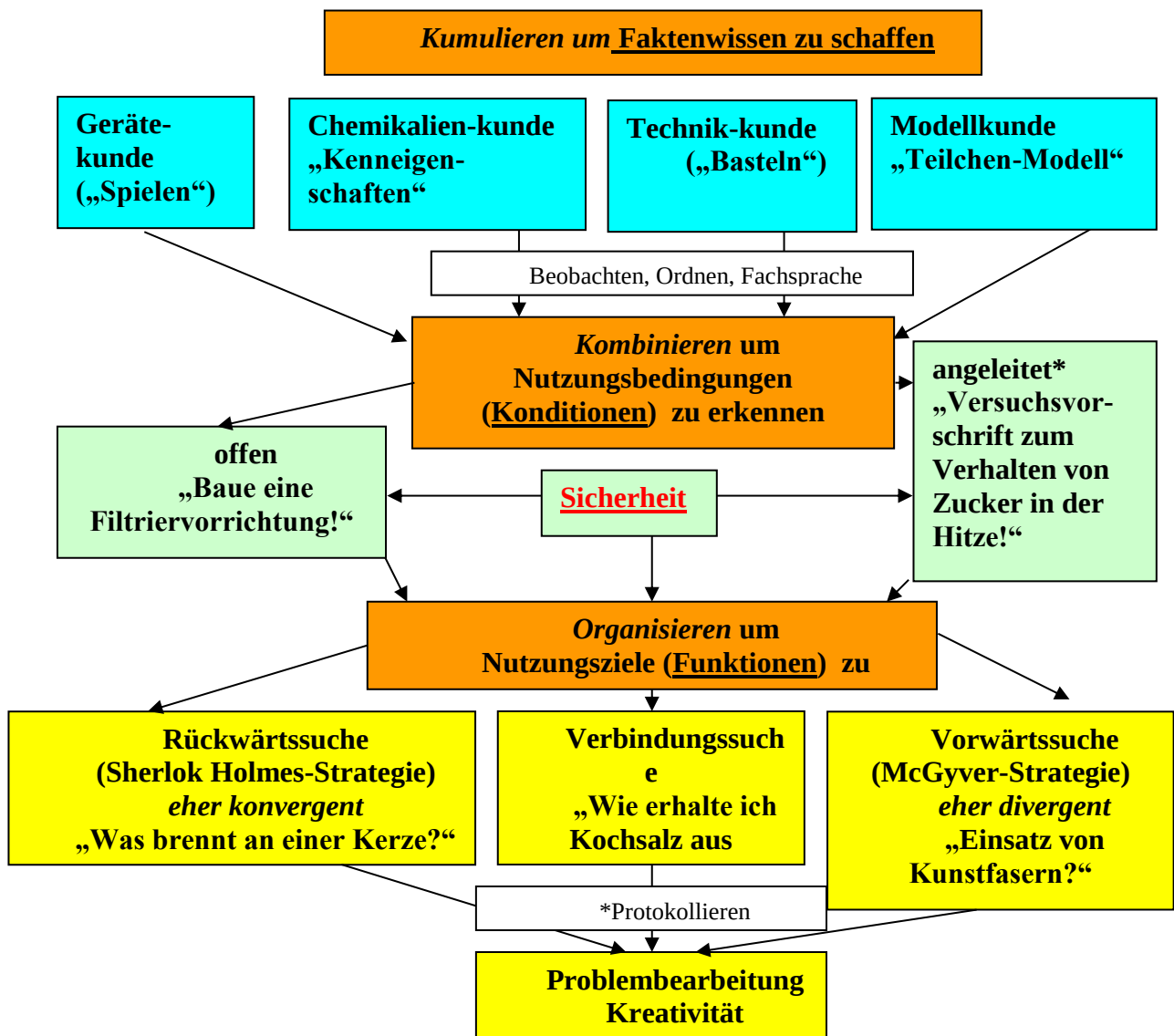


Abb. C24: Schematische Darstellung der Stufen (Kumulieren, Kombinieren, Organisieren). Sie stellen die Voraussetzung für die Einführung in den Forschungszyklus dar (Anton, 2008a, S. 84, Anton, 2009b, S. 22).

Die experimentellen Ziele lassen sich in unterschiedlicher Ausprägung, entsprechend der drei Anforderungsstufen der NBS, erreichen. Dafür ist entscheidend, dass die SchülerInnenübungen so angelegt werden, dass sie sich als zunehmend anspruchsvoller und vielschichtiger wahrnehmen lassen und die SchülerInnen ihren eigenen Kompetenzzuwachs registrieren können³⁶⁷ (Wollenschläger & Harms, 2013; Sommer et al., 2018). Die Stufen dienen der sukzessiven Ausformung des Selbstkonzepts. Personen erschließen die eigenen Fähigkeiten aufgrund vorangegangener Leistung (Erfolg, Misserfolg) und formen das Fähigkeitsselbstkonzept (Fsk) (Möller, 2007; Rheinberg, 2007) auf der Basis kumulierter Erfahrungen stetig aus (skill-development). Das wiederum beeinflusst nachfolgendes Verhalten und das Erleben (self-enhancement).

³⁶⁷ Bay. Staatsministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.): Der Bayerische Bildungs- und Erziehungsplan für Kinder in Tageseinrichtungen bis zur Einschulung; Kap. 5.9 Lernmethodische Kompetenz – Lernen, wie man lernt. Beltz 2006.

(Dickhäuser, 2006) sowie in unserem Fall die Einstellung zum Fach Chemie bzw. zur Chemie ganz allgemein.

Hierbei kann der Chemieunterricht einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Entwicklung eines auf Objektivierung ausgerichteten Erlernens empirischer Denk- und Arbeitsweisen leisten (Reiners & Bruns, 2007).

Damit das Experimentieren in Schülerhand effektiv UND effizient verlaufen kann, sollten die folgenden, erfahrungsbasierten Akzeptanzkriterien für SchülerInnenversuche Beachtung finden:

- Versuchsablauf schlicht, über alle Phasen & mit mehreren Sinnen wahrnehmbar, langsam (sicher & ungefährlich) mit erwartbarem eindeutigen Ergebnis
- Prozess gut und rasch wiederholbar, evtl. leicht variabel
- höchstmöglich selbstbestimmbar („Entzündbarkeit eigener Ideen“)
- selbst durchführbar (eindeutige Versuchsanleitung) und selbst kontrollierbar (Fehlerkontrolle)
- Fokussierung auf EIN Phänomen („Isolation der Schwierigkeit“, Erkennen „kritischer Merkmale“)
- Edukt-Produkt- & Ursache-Wirkung-Vergleich möglich
- Energetik klar erkennbar
- Produkt verwendbar, mitnehmbar (Alltagsbezug, Bedeutungsbeimessung)
- Systematisierbar in vorhandene Wissens- und Erkenntnisstrukturen („Überblicks- und Orientierungswissen“)

Auf der Basis einer hier beschriebenen Erfahrungssättigung einer handlungsbasierten Arbeit am Phänomen, insbesondere im Anfängerbereich ermöglichen es dann, die zusätzlichen Kenntnisse von Modellen, Gesetzmäßigkeiten und Generalisierungen, Begründungen zu liefern. Mit ihnen gelingt es, das Beobachtete zu erklären und zu generalisieren (Induktion) sowie das Beobachtbare vorherzusagen (Deduktion) und das bedeutet „forschungsorientiert“ zu lernen.

Zum bereits Erläuterten soll noch die Funktion einer experimentellen Präsentation als Modell vermerkt werden (Sommer et al., 2017). Um als „Modellexperiment“ zu gelten, müssen drei Kriterien erfüllt sein:

- a) Die experimentelle Handlung „erfolgt unter Nutzung der Methoden des Faches Chemie und bedarf der Verwendung chemischer Geräte, Apparaturen, Chemikalien und weiterer Hilfsmittel“ (S. 14).
- b) Das Modellexperiment besitzt einen direkten Bezug zum Original, ist jedoch unabhängig von dessen (komplexen bzw. historischen) Kontext
- c) Das Modellexperiment übersetzt originale Substanzen und Geräte in analoge Veranschaulichungen; „das Original wird materiell modelliert“ (S. 15).

In der Fotofolge in Abb. C25 sind zwei Modellversuche zur Katalyse dargestellt. Links kann gezeigt werden, dass ein Stück Würfelzucker in einem Drahtkäfig beim Erhitzen nur schmilzt und keinesfalls brennt. Behandelt man den Haushaltszucker jedoch äußerlich mit Zigarettenasche, so lässt er sich tatsächlich entzünden, sodass er mit leuchtender Flamme verbrennt. Auf diese Weise kann modellhaft gezeigt werden, dass Metalloxide (Asche) eine katalytische Wirkung aufweisen gegenüber der letztlich exothermen Reaktion von Saccharose und Luftsauerstoff.

Die untere Bildfolge zeigt die Veränderung einer Kaliumbichromatlösung ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) nach dunkelgrün (Cr^{3+}) bei Zugabe von 30%iger Wasserstoffperoxidlösung (H_2O_2). Anschließend beginnt eine immer heftiger werdende Gasentwicklung. Die Gasblasen lassen sich mit einem Glimmspan als Sauerstoff identifizieren (für den Nachweis sollte ein enghalsiger Erlenmeyer-Kolben verwendet werden). Mit dem Rückgang der Gasbildung tritt nach ca. 30 Minuten wieder die ursprüngliche Farbe der Bichromatlösung

auf. In diesem Versuch wird die Rolle des Katalysators (hier Kaliumbichromat) verdeutlicht (Zersetzung von Perhydrol), der nach der katalysierten Reaktion wieder in der ursprünglichen Form (orange Lösung) vorliegt.

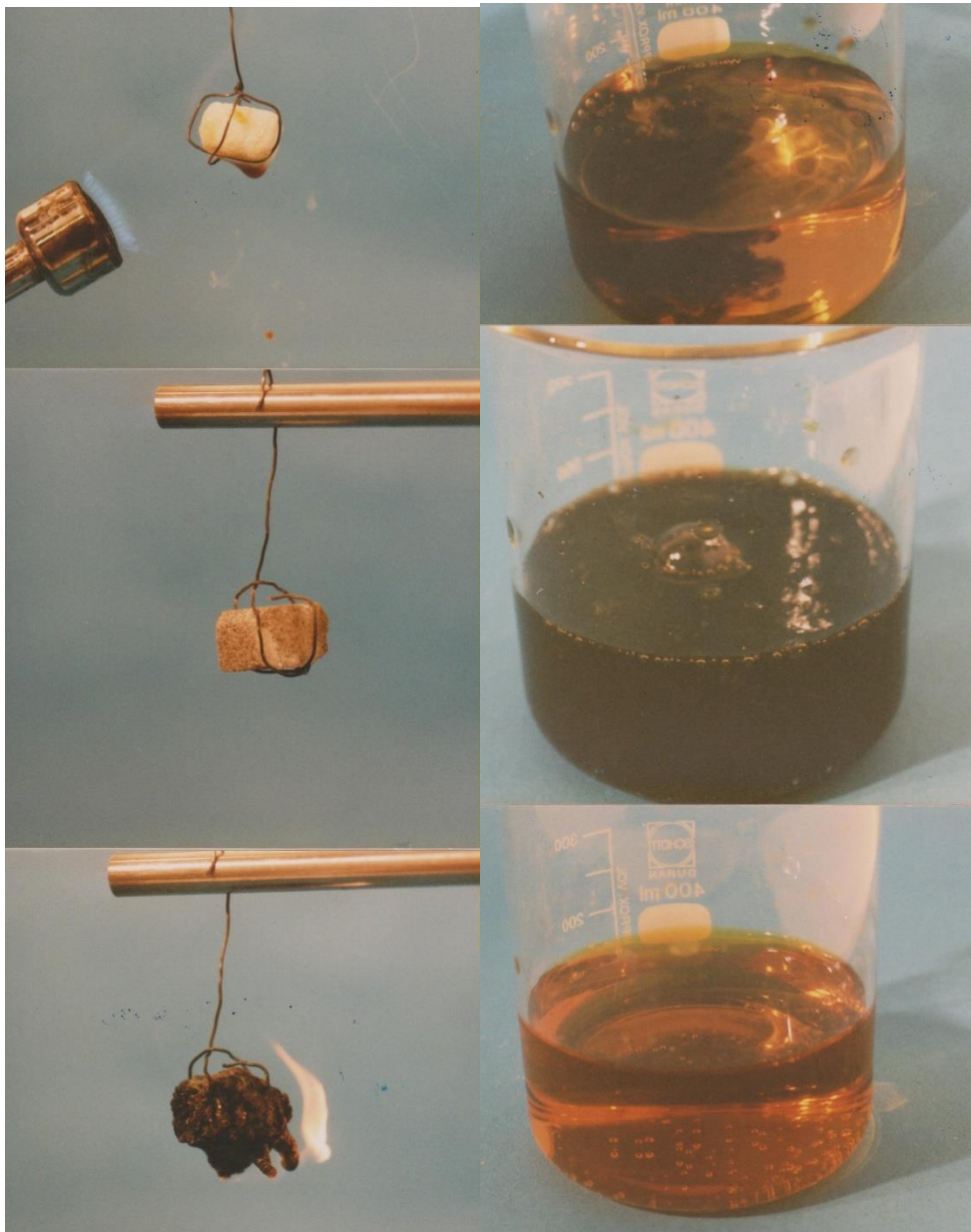


Abb. C25: Modellversuche zur Katalyse: Saccharose-Verbrennung und Perhydrolzerersetzung

C 2.3 Phasen des Experimentierens

In der Praxis des traditionellen Unterrichts in Chemie erfolgt die schülerInnenaktive Erweiterung des bereits erworbenen chemischen Faktenwissens in Richtung eines Verständnisses des chemischen Denkens und Arbeitens eher zufällig. Der primär mögliche Umgang (Anwendung) beschränkt sich meist auf Reproduktionen und auf Beschreibungen, verweilt also auf der Stufe des Kombinierens (Abb. C21) (Anton 1999d).

In der Regel erreichen das Fachwissen und vor allem seine Anwendung die metakognitive Ebene nicht. Dieser Feststellung entspricht auch die Kritik aus der PISA I-plus-Studie an der mangelhaften Übersetzung allgemeiner Problemlösekompetenzen in fachspezifische Strategien (Prenzel et al., 2006).

Beim explorativen Einsatz des Experiments im Chemieunterricht kann dies aber unter bestimmten Umständen erreicht werden (Neber & Anton, 2008ab, Anton & Neber, 2008c; Metzger & Sommer, 2010; Kranz & Schorn, 2012; Reitinger, 2013; Meier & Mayer, 2014; Ostwinkel et al., 2015; Jannack et al., 2015).

Gray (2012), ein Mitglied im europäischen Projekt „PROFILES“ (*Professional Reflection Oriented Focus on Inquiry-based Learning and Education through Science*), sieht in der konsequenten Umsetzung eines forschungssimulativen Naturwissenschaftsunterrichts (Science, Technology, Engineering and Mathematics: STEM) eine fundamentale Chance, die anstehenden Probleme der Menschheit mit einer größeren Lösewahrscheinlichkeit auszustatten. Hierzu zählen nach seiner Meinung: Gesundheit, demografischer Wandel, Wohlergehen, sichere Ernährung, nachhaltige Landwirtschaft, sichere Energien, inklusive Gesellschaften, Klimasicherung, Rohstoffeffizienz usw. Innerhalb der dafür einzustellenden Bedingungen wird stets die Forschungsorientierung hervorgehoben. Nach Abrams et al. (2007) kann man sich diesem Ziel in drei Stufen nähern: 'Learning scientific knowledge, Learning about inquiry, Learning to inquire'. Wobei die dritte Stufe nochmals in vier Anspruchsebenen unterteilt werden kann, die sich auf drei Bereiche des Forschungszyklus beziehen lassen (Blanchard et al., 2010; vgl. Tab, verändert):

	Fragenfindung	Untersuchungsmethode	Ergebniskritik
Übersicht	Lehrkraft	L	L
Strukturierung	L	L	SchülerIn
Anleitung	L	S	S
Freiarbeit	S	S	S

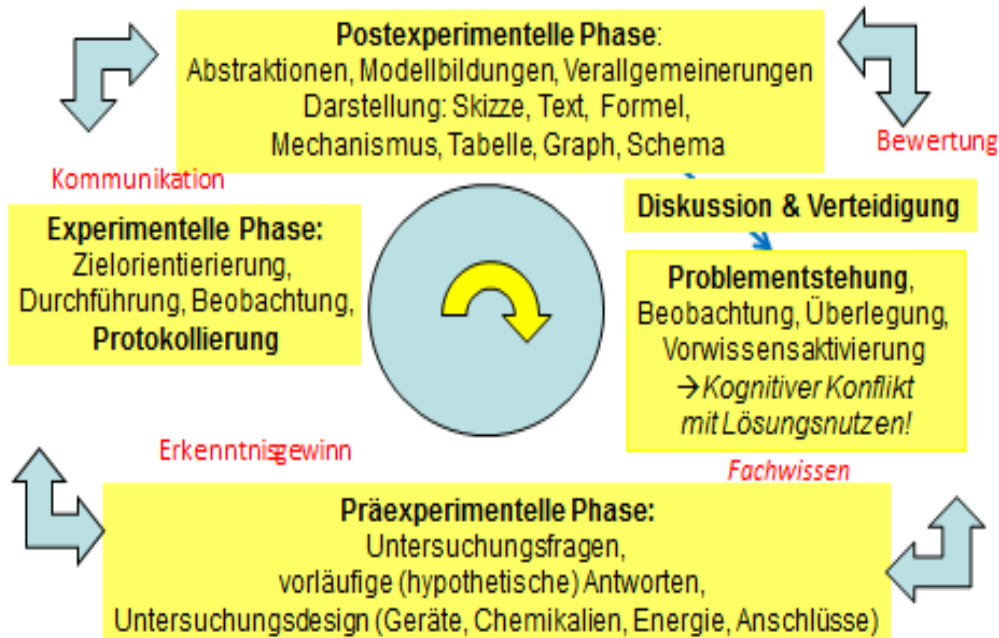
Tab. C4: Gliederung in der Vorgehensweise beim schrittweisen und geleiteten Hinführen zum eigenverantwortlichen Überprüfen der Hypothesen (Vermutungen) zu chemischen Fragen

Mittlerweile handelt es sich hierbei auch um die Erfüllung des NBS-Kompetenzbereichs „Erkenntnisgewinnung“ und damit um eine wissenschaftspropädeutische Unterrichtsleistung (Arnold et al., 2014; Stäudel, 2016). Durch sie wird einerseits fachspezifisches Handling gefördert, andererseits stellt sie auch die lernpsychologisch so wichtige Gelegenheit für einen sichtbaren Kompetenzzuwachs bereit. Im Zuge solcher Vorgehensweisen gilt es, den empirisch gesteuerten Erkenntnisgewinn in dezidierte Phasen zu gliedern (Abb. C26)³⁶⁸.

³⁶⁸ Im Themenheft von PdN-ChiS „Unterrichtskonzepte“ (65 (2016) 5), herausgegeben von A. Marohn, werden zahlreiche Beispiele vorgestellt, mit denen es der Lehrkraft gelingen kann, die wissenschaftspropädeutischen Zugänge zur Chemie im Unterricht praktisch zu erproben.

Forschungszyklus (Inquiry-Cycle)

als Variante des Lehrlernzyklus (Neber & Anton, 2010)



Forschungszyklus (Inquiry-Cycle)

als Variante des Lehrlernzyklus (Neber & Anton, 2010)

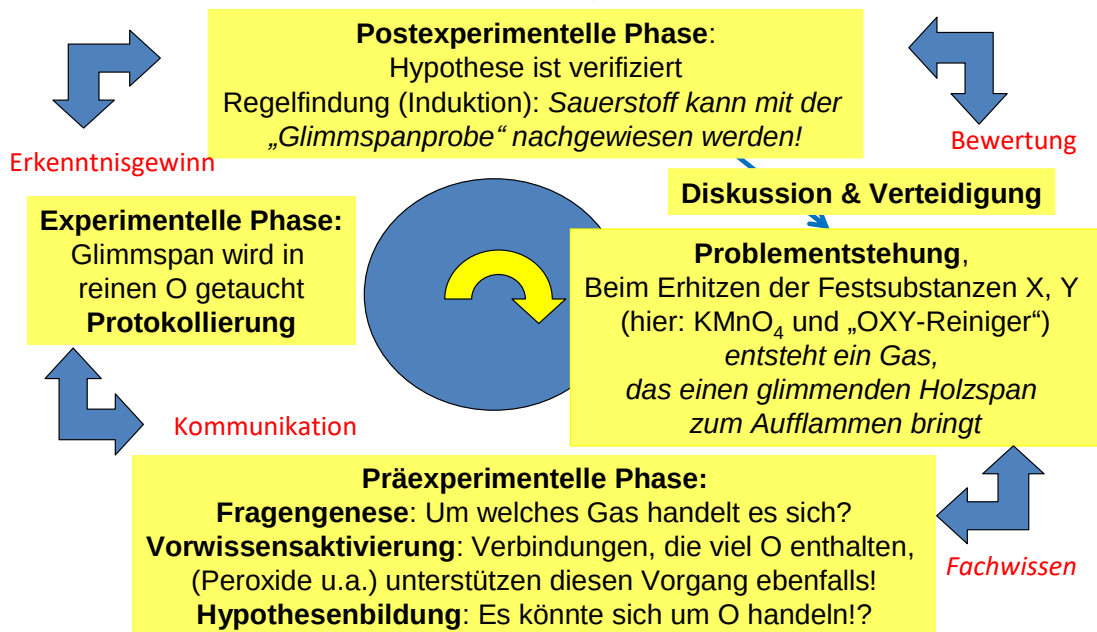


Abb. C26: Die Phasen des Experimentierens (allgemeine Darstellungen inkl. eines Beispiels) im Sinne einer Fragenfindung, Hypothesenbildung, praktischen Überprüfung und Schlussfolgerung (Forschungszyklus)

Aufgrund der unterschiedlichen Ansprüche und Komplexität finden diese Phasen im traditionellen Unterrichtsverlauf zunächst eine differenzierte Betonung und Abfolge, bevor sie sich zum vollständigen Forschungszyklus formieren lassen. Reitinger (2013) formuliert diesbezüglich sehr überzeugende und feinsinnig gegliederte Abschnitte, die sich auch in Abb. C23 einfügen bzw. dazu analogisieren lassen:

„a) Emergenz [„Auftreten neuer, nicht voraussagbarer Qualitäten beim Zusammenwirken mehrerer Faktoren“ (d. Verf.)]:

- Entstehen eines persönlich bedeutsamen Entdeckungsinteresses und Konsensbildung bezüglich des zu durchwandernden Forschungsprozesses

b) Vermutung:

- Verbindung der Bedeutungen und Fragen aus der Emergenz-Phase mit vorhandenem Wissen und bestehenden kognitiven Modellen und Mustern; Formulierung von eigenen Hypothesen

c) Konzeption:

- Gemeinsame Untersuchungsplanung

d) Untersuchung:

- Umsetzung der Konzeption

e) Entdeckung:

- Darstellung der gewonnenen Daten und Erkenntnisse; Überprüfen der Vermutungen

f) Kritische Phase:

- Reflexion des Ergebnisses; Reflexion des Prozesses; Vergegenwärtigung und Entwicklung persönlicher Bedeutungsgehalte

g) Transfer:

- Anwendung; Veröffentlichung (sich nach außen öffnender Diskurs)“ (S. 87).

Andererseits wird auch auf Lücken in der Wissenschaftspropädeutik hingewiesen, wonach Schulversuche und Forschungsexperimente sowohl in der Konzeption als auch in der Verwertung der Daten deutlich voneinander zu unterscheiden sind (Randler et al., 2015; Schroedter & Körner, 2015). Man sollte aber davon ausgehen, dass diese Unterschiede kein Grund sind, auf den wissenschaftsähnlichen Charakter eines Schulexperiments hinzuwirken und evtl. mit SchülerInnen (der Sekundarstufe II) die jeweiligen Abweichungen zu diskutieren. Dies gilt auch schon für die entsprechenden Stellen des Grundschullehrplans (HSU) (Schabauer, 2015; Zölfel, 2015).

In jedem Fall sind die oben ausgeführten Teilkompetenzen für empirisch-wissenschaftliches Arbeiten Voraussetzung für den Aufbau des Kompetenzbereichs „Erkenntnisgewinnung“. Aktuelle Untersuchungen aus der Physik (Boyer, 2016) weisen nach, dass für die Bewältigung der spezifischen Aufgaben innerhalb der Phasen „Planung“ und „Auswertung“ insbesondere das Interesse bzw. die sprachlichen Fähigkeiten Voraussetzungen für ein erfolgreiches Experimentieren darstellen.

C 2.3.1 Experimentelle Phase

Traditionell steht die experimentelle Phase als attraktives Moment des Chemieunterrichts im Vordergrund. In ihr wird das Handwerkliche gelernt (Vgl. Kumulieren und Kombinieren) und der sichere Umgang mit Geräten und Substanzen geübt³⁶⁹. Vom Bunsenbrenner über die Destillationsapparatur bis zur Gasflaschenbenutzung kann dabei Versiertheit gewonnen werden. Der Sicherheitsaspekt steht grundsätzlich und überall im Fokus³⁷⁰. Es darf den SchülerInnen und den Lehrpersonen nichts passieren! Und dazu dienen die „Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht“ („RiSU“) als „Empfehlungen der KMK“ vom März 2003 sowie Gefahrstoffsymbole, Sicherheitsdatenblätter, Betriebsanleitungen, Ersatzstoffprüfungen etc.. Sie stellen neben der Vernunft und dem eigenen Erfahrungsstand die höchste Autorität dar³⁷¹. Beim Entwurf der Versuchsanleitungen finden Sicherheitsregeln ebenso Anwendung wie genaue Zusammenstellungen von 100%ig reproduzierbaren Rezepturen.

Das Protokollieren begleitet zunehmend ein aktives und immer zielstrebiges werdendes Beobachten (Groß, 2013). Portfolios können angefertigt werden und beschreiben vorrangig ein induktives, Regeln findendes Vorgehen (Punk & Anton, 2010; Gerrer, 2014). Bezüglich der Trennung von Beobachtung und Deutung, der im traditionellen Unterricht stets große Bedeutung beigemessen wird, weist Tetens-Jepsen (1992) darauf hin, dass die „Theoriegeladenheit“ (S. 28) einer jeden Beobachtung immer auch deren interpretierende Anteile verursacht. Die scharfe Trennung von Sinneseindrücken bzw. Messwerterfassungen und deren Deutung muss nach der unsortierten Sammlung beliebiger Eindrücke mit „vorläufigem Deutungsansatz“ der Schüler erfolgen und nicht gleich durch die Korrektur durch den Lehrer als „theoriefreie Bedeutungssätze“ (S. 29) eingefordert werden.

Die Bedeutung des Protokollierens wird häufig unterschätzt. Neuere Untersuchungen und eine Vielzahl sich nie widersprechender Erfahrungen aus dem Unterricht aber auch Beobachtungen bei freien Experimentiertagen lassen zwingend darauf schließen, dass das Anfertigen von Protokollen, auch in der einfachsten Art wesentlich dazu beiträgt, nicht nur Gerätschaften und Chemikalien fachsprachlich anzusprechen und voneinander zu unterscheiden und in ihren Einsatzziele festzuhalten, sondern vor allem das prozessuale Hintereinander von Handlungsschritten einerseits und der damit verursachten bzw. verhinderten Effekte andererseits nachzuvollziehen und auch nachträglich in eine sinnvolle chronologische Reihenfolge („Handlungskette“) zu bekommen³⁷².

Für anspruchsvolle und wissenschaftsorientierte Protokollierungen ist es zudem sehr hilfreich, die entsprechenden Begrifflichkeiten zu kennen und zuordnen zu können. So bezeichnet man die zentrale Fragestellung als „abhängige Variable“; „unabhängige

³⁶⁹ Unter Umständen bringen junge Schüler*innen bereits einfache Fertigkeiten mit, die sie bei der Nutzung von Experimentierkästen zuhause erprobt und geübt haben. Vgl. auch: Öxler (2010): Vom tragbaren Labor zum Chemiebaukasten

³⁷⁰ In diesem wichtigen Zusammenhang sei auf ein Themenheft von NiU-Chemie verwiesen „Gefahrstoffe im Blick“, herausgegeben von Venke et al. (2016). Darin finden sich alle aktuellen Sicherheitsvorschriften vom konkreten Experimentieren in Schülerübungen bis zur Organisation einer Chemiesammlung an der Schule

³⁷¹ Vgl. auch: www.unfallkassen.de und www.d-giss.de (Schulchemikalienverwaltungssoftware)

³⁷² Meyer & Prechtel (2013) bieten hierzu eine praktische Lernhilfe an, in der Textteile und Bildbeschreibungen fragmentiert werden („steps-and-parts“-Abbildungen), die dann von SchülerInnen in eine logische Reihenfolge gebracht werden sollen

Variablen“ sind Größen, die auf diese abhängige Größe Einfluss nehmen können. Lassen sich diese bewusst kontrollieren, konstant halten, dann nennt man sie „Kontrollvariable“, das hierbei angewendete Verfahren heißt „Kontrollvariablenstrategie“³⁷³.

Dieser reflektive `Nach-Denkprozess` scheint für die Merkarbeit von größter Bedeutung zu sein, da sich unschwer feststellen lässt, dass Schüler nach einem ausschließlich handwerklichen Experimentieren über mehrere Stationen hinweg am Ende kaum mehr in der Lage sind, zwischen den Versuchen zu unterscheiden oder gar einzelne Handlungsabläufe innerhalb eines Versuchs sinnentsprechend nachzuvollziehen, geschweige denn zu begründen. Protokolle können bereits in der Grundschule und auch dort schon in der Jgst. 1 und 2 als Zeichnungen, anspruchsvoller in den Jgst. 3 und 4 angefertigt werden. Am Beginn sind es gemalte Bilder, anschließend Skizzen mit Beschriftung und kurzen Beschreibungstexten.

Bereits in diesem Anfängerstadium ist es förderlich, die Protokolle seitens der Lehrkraft zu würdigen, später kann das Protokoll auch bewertet werden, also benotet („Protokoll-Checker“ von Bayrak et al., 2015). Bezüglich der LehrerInnendemonstrationsexperimente³⁷⁴, welche ebenfalls eine Protokollierung nach sich ziehen, soll an dieser Stelle auch auf die psychologisch abgesicherten Wahrnehmungskriterien verwiesen werden, welche auch zur sicheren Fixierung von Versuchsaufbauten dienen (Schmidkunz & Büttner, 1992; Schmidkunz & Klaetsch, 1996) (Abb. C27):

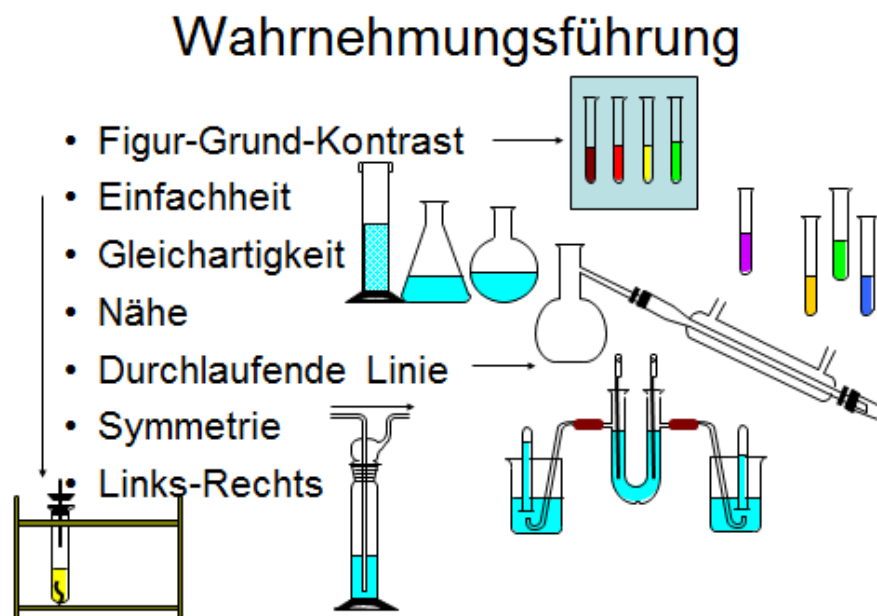


Abb. C27: Bildliche Darstellung der Wahrnehmungsregeln

1. Das Gesetz des Figur-Grund-Kontrastes
Der wahrzunehmende Gegenstand muss sich vom Hintergrund abheben

³⁷³ Eine übersichtliche und sehr anschauliche Darstellung (Analyse und Selbstbau eines Klebestifts) dieser Strategie im Chemieunterricht findet sich bei Toschka et al., 2018

³⁷⁴ Es muss betont werden, dass so lange LehrerInnen und SchülerInnen Stoffartänderungen effektiv vorführen, dies einer Zauberei gleichkommt. „Der Schüler staunt und freut sich am gelungenen Experiment, aber denken hat er dabei nicht gelernt“ (Kerschensteiner, 1901, zitiert aus: Roth & Roth, 1973, S. 43)

2. Das Gesetz der Einfachheit
Einfach Darstellung mit klaren Konturen sind komplexen, detailreichen vorzuziehen
3. Das Gesetz der bekannten Figur und der Geschlossenheit
Bekannte und von Linien umgebene Figuren wird wahrnehmungsaktiver als ihr Gegenteil
4. Das Gesetz der Gleichartigkeit
Gleichartig geformte Figuren werden als zusammengehörig empfunden
5. Das Gesetz der Nähe
Nahe beieinanderstehende Gegenstände werden als funktionelle Einheiten aufgefasst.
6. Das Gesetz der durchlaufenden Linie
Werden Informationen miteinander verbunden, so muss ihnen das Auge folgerichtig auf der Spur bleiben können. Dies gilt für Schaltkreise, Fließbilder, Grafiken etc.
7. Das Gesetz der Symmetrie
Die symmetrische Anordnung von Geräten und Aufbauten erhöht die Wahrnehmungsaktivität. Sie wird zudem als angenehm empfunden
8. Das Gesetz der Dynamik von links nach rechts
Muss sich die Blickrichtung von unten nach oben und von rechts nach links ausrichten, z.B. während eines Versuchsablaufes, so treten Wahrnehmungswiderstände auf.

Zudem dient das Protokollieren dem Fachsprachenlernen und erhält damit eine sehr aktuelle Konnotation im Zusammenhang mit den Zielen des inklusiven sprachsensiblen Fachunterrichts (Tajmel, 2011; Leisen, 2014). Nieswandt (1998) weist zudem nach, dass die eigenen Schreibleistungen beim Verfassen von Protokollen und anderen Verschriftlichungen (Concept-Maps, Steckbriefen, Zeichnungen etc.) zu einer besseren Vernetzung und damit zum Verstehen der Zusammenhänge führen kann. Die Variation der Arten solcher Fixierungen anhand von drei unterschiedlichen Texttypen (*Beschreibung von Beobachtungen, Erklärung von Beobachtungen, Deutung von Phänomenen*) sowie die Ermöglichung des Schreibens in Gruppenarbeit wirken dabei einem möglichen Motivationsverlust beim Erstellen von Hausaufgaben entgegen. Aktuelle Untersuchungen, etwa von Beerenwinkel et al. (2016) scheinen die Induzierung von Schreibansätzen durch kleinere Schreibaufträge, wiederum verbunden mit der Bereitstellung von „Redemitteln zur Unterstützung des Schreibprozesses“ (S. 23) als förderlich für die intensivere Auseinandersetzung mit dem Lernstoff zu erweisen. (Vgl. hierzu auch: Kehren, 2008.) Der umgekehrte Prozess, nämlich das Umsetzen von Bildmaterial (Abb. von Versuchsaufbauten) in experimentelle Vorgehensweisen bzw. in die Identifikation von theoretischen Zusammenhängen wurde untersucht von Sumfleth und Gnoyke (1995) und soll Auskunft geben über mögliche Korrelationen zwischen Augenbewegungen und kognitiver Verarbeitungsgeschwindigkeit (Vgl. „Eye-Tracking“).

C 2.3.2 Postexperimentelle Phase

Drängend und lehrplanorientiert wird die postexperimentelle Phase hervorgehoben und von der experimentellen Phase abgesetzt. Die „Auswertung“ der Ergebnisse und ihre Diskussion vor dem Hintergrund der ausgeführten Handlungen erhellen zunehmend den Sinn der versuchstechnischen Vorgaben. Sie schaffen Grundlagen für deren Veränderungen und Optimierung. Die Fragen, welche mit den Protokollen eine Antwort finden sollen, sind häufig implizit vorgegeben, was oft zu nicht ausformulierten Missverständnissen führen kann, etwa wenn ein Experiment einen Effekt darstellen soll, obwohl es eigentlich auf die Überprüfung einer Hypothese hin ausgerichtet wäre (Anton, 1999b, 2005). Der Einsatz des Hofmannschen Wasserzersetzungsapparates ist ein geeignetes Beispiel für die gemeinte Vielfalt (Abb. C28).

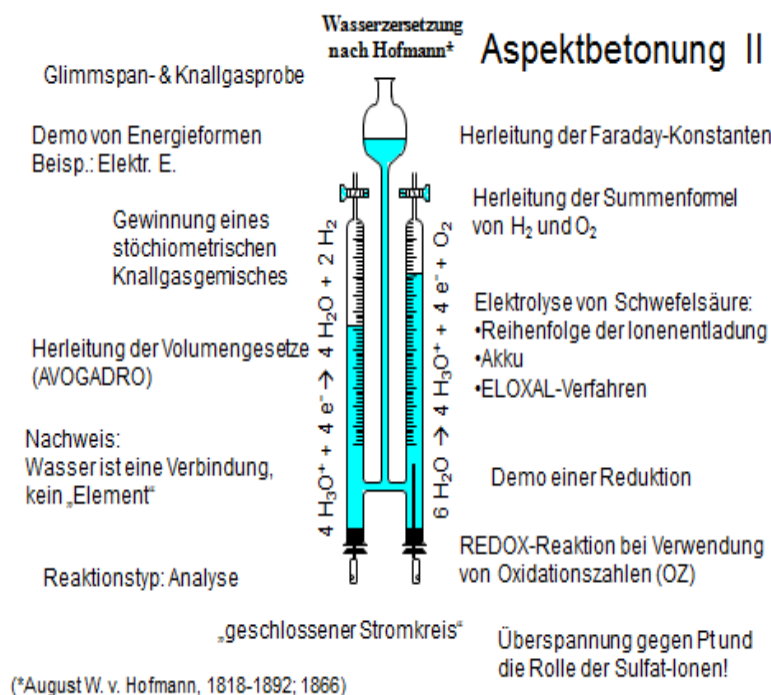


Abb. C28: Übersicht zu den möglichen Zielen bei Verwendung des „Hofmann“ im Chemieunterricht auf unterschiedlichen Jahrgangsstufen

Häufig wird dem Ergebnis eine zu geringe Bedeutung beigemessen. D. h. es wird nicht hinterfragt, auf seine Entstehungsart hin diskutiert und in seinem Aussageumfang relativiert. Das gewonnene Resultat einer Untersuchung sollte deutlich betont und kritisch gewürdigt werden. Es handelt sich immerhin um ein Arbeitsprodukt, welches die Mühe und den materiellen Aufwand empirischer Hypothesenprüfung repräsentiert.

Einer eher unkritischen Akzeptanz „gewünschter“ Ergebnisse kann dadurch entgegengetreten werden, indem die Auswertung ausführlich, detailliert und anhand von Vorher-nachher-Protokollierungen erfolgt. Gelingt dies, etwa anhand genauer Tafelanschriften, dann ist es leichter möglich, die Bezüge zwischen den beabsichtigten und tatsächlich registrierbaren Effekten zu diskutieren. Zudem wird erneut das Prinzip der chemischen Stoffartumwandlung als verfolgbarer Prozess verdeutlicht.

Mit den Erklärungen für ein bestimmtes Phänomen betritt man gerade in der Chemie sehr schnell die Ebene der Abstraktion. Es ist unabdingbar, dass sich LehrerInnen und SchülerInnen auf eine gemeinsame Vorstellung vom Aufbau der Materie einigen. Ein

einfaches DEMOKRITsches Teilchen-Modell kann hier an den Anfang gestellt werden. Das DALTONSche, THOMSONSche, RUTHERFORDSche und BOHRsche Atommodell folgen jeweils und behalten ihren Anwendungsumfang. Wie bei allen Modellen, handelt es sich um „Bilder“ des Unsichtbaren oder des nicht gänzlich Überblickbaren als unverzichtbare Kommunikationshilfe und finden immer wieder besondere Darstellungsformen (Baumeister, 2012). Untersuchungen von Walpuski und Hauk (2014) zeigen u.a., dass in der Sicherungsphase der Nachbereitung auffällige Korrelationen bestehen zwischen dem Lernerfolg und der „Verwendung von Visualisierungen, wie z. B. Mind-Maps, Concept-Maps, Molekülbaukasten/-modelle, Plakate ($r=0,646$; $p<0,001$)“ (S. 405).

Durch die nun folgende ausdrückliche Hineinnahme der präexperimentellen Phase werden die essenziellen Eigenschaften des „learning to inquire“ abgerundet (National Research Council (NRC), 2000, Darstellung verändert):

- Learners are *engaged* by scientifically oriented questions
- Learners give priority to evidence, which allows them to *develop and evaluate explanations* that address scientifically oriented questions
- Learners formulate explanations from evidence to *address scientifically questions*
- Learners evaluate their explanations in light of alternative explanations, particularly those *reflecting scientific understanding*
- Learners *communicate and justify* their proposed explanations

C 2.3.3 Präexperimentelle Phase

Mit dem Zugewinn an Sicherheit, dem Erkenntniszuwachs und mit dem Stabilwerden von Handlungs- und Denkmustern (Routinen) kann auch die präexperimentelle Phase immer stärker betont und genutzt werden. Sie fußt auf umfangreicherem Fachwissen, welches aufgrund eines für SchülerInnen bedeutungsvollen kognitiven Konflikts aktiviert und neu kombiniert werden muss. Die Vitalisierung des Vorwissens (Fakten) und seine Neukombinationen ermöglichen vor dem Hintergrund neuer Phänomene kreative Fragestellungen (Neber & Anton, 2008) und Lösungsansätze. „Zum Beispiel bestehen Naturwissenschaften nicht immer darin, dass man etwas tut – sondern, dass man auch etwas in seinem Kopf sehr, sehr lange bewegen muss. Das ist Arbeit – obwohl man nur dasitzt und ins Leere starrt“ (Angela Merkel)³⁷⁵. Es können dann neue Probleme angegangen werden.

Mit den Fragen unterschiedlicher Qualität entstehen „vorläufige Antworten“ (Vermutungen, Hypothesen) und es gelingen Präzisierungen und Einengungen, die sich zu Experimententwürfen verdichten lassen (Kizil & Kattmann, 2014), was wiederum dem `nachhaltigem Wirken des Experimentierens auf Selbstständigkeit´ (Rossa, 1992, S. 12) zuarbeitet. Dieses „forschend-entdeckende Lernen“ bedient sowohl wissenschaftspropädeutische wie auch berufsorientierende Ziele des Unterrichts. Es zählt zu den erklärt wünschenswerten naturwissenschaftlichen Lehrlernmethoden, welche langfristig und vielseitig angebahnt werden müssen (Schmidkunz & Lindemann, 1976; Rossa, 1992; Johnstone, 1997; Brown, 1997; Krajcik et al., 1999; Cobb et al., 2000; Quintana et al., 2005; Gotwals et al., 2006; Lee et al., 2006; Cheung, 2006; Songer & Gotwals, 2006; Reid, 2008; Anton & Neber, 2008; Wentorf et al., 2014; Toschka et al., 2018)³⁷⁶. Auf solchem Weg kann „Scientific Inquiry“ über den Forschungszyklus, auch im Sinne einer „isolierenden Variablenkontrolle (IVK)“ (Künsting et al., 2008) in Vorstufen umgesetzt werden.

In solchem Kontext müssen auch die Arbeiten von Priemer und Kirschner gesehen werden. Anhand von Beispielen aus dem Fachbereich der Physik wird hier sehr kritisch untersucht, unter welchen Bedingungen SchülerInnen tatsächlich erkenntnisgenerierende Experimentierkonzepte entwickeln können, wenn man ihnen eine konkrete Lernaufgabe stellt. In den drei Untersuchungen wird sehr deutlich, dass das Auswählen von Variablen und ein wissenschaftlich sinnvoll gegliedertes Versuchskonzept keinesfalls zu den Dingen gehören, die im Unterricht en passant geleistet werden können. Vielmehr zählen gerade sie zu den aufwändigsten didaktischen und mathetischen Anstrengungen für LehrerInnen und SchülerInnen. Insbesondere die Übungen, die langfristigen Vertiefungen sind die Elemente, mit denen zielerreichend gearbeitet werden muss. Gleichzeitig muss man sich darüber klar sein, dass dies viele Lehrpläne (immer noch) nicht unterstützen (Priemer & Kirchner, 2008; Kirchner & Priemer, 2008; Kirchner & Priemer, 2007).

Forschendes Denken und Handeln wird dabei am geeigneten Beispiel so vorgemacht und dann von SchülerInnen wie auch vom Chemie-StudentInnen nachvollzogen, dass sowohl der Gewinn als auch die Eingeschränktheit von objektiver Gültigkeit, also Kennzeichen der „Nature of Science“ (NOS) (Bruns, 2009) deutlich werden können.

³⁷⁵ Dieses Zitat der deutschen Bundeskanzlerin Dr. Angela D. Merkel, studierte Physikerin, findet sich in der SZ vom 14./15.4.2007, S. VIII in der Rubrik „Interview“

³⁷⁶ <http://ec.europa.eu/research/science-society/index.cfm?fuseaction=public.topic&id=1100&lang=1>: Experten fordern radikale Erneuerung des naturwissenschaftlichen Unterrichts! „Science Education Now – A Renewed Pedagogy for the Future of Europe“

Dieses Vorgehen ist dann beispielsweise entweder stark strukturiert (Schmidkunz & Lindemann, 1976) oder auch konkret eingekleidet in anspruchsvolle Unterrichtsthemen (Kaufmann, 2000, S. 114-119). Im Zusammenhang mit der Bewertbarkeit von praktischen Schülerleistungen im Chemieunterricht setzen auch Hammann et al. (2007) auf eine Einbettung des Experiments in Denkfelder, welche die empirische Arbeitsweise strukturieren. Sie gehen dabei nach dem SDDS-Modell („Scientific Discovery as Dual Search“) nach Klahr (2000) vor. Dieses legt zwei Problemräume (Hypothesen- und Experimentraum) vor, in denen nach Lösungen gesucht werden muss. Letztlich mündet die Empirie in die Testung von Hypothesen, die hier auf biologische und biochemische Bereiche hin abgefasst sind³⁷⁷.

Da nicht jedes Experiment, auch nicht als klassisches und „idiotensicheres“ Schulexperiment ausnahmslos den gewünschten Effekt zeigt, kommen auch Fehlersuche und –diskussionen ins Spiel. Sie sind von großer Bedeutung für den Lernprozess, insbesondere wenn er wissenschaftspropädeutisch angelegt werden soll. Nach Böhnke und Thiel (2016) ist zu beachten: „Beim Lernen aus Fehlern werden Lernprozesse durch die Reflexion dysfunktionaler Handlungsrouitinen provoziert“ (S. 57). Gerade beim chemischen Experimentieren kann dies bewusst vermittelt werden. Es bedeutet aber keinesfalls, dass man die Schulchemie dadurch charakterisieren könne, dass „die meisten Versuche sowieso nicht gehen“³⁷⁸. Im Gegenteil, Demonstrations- und Schülerexperimente müssen ganz besonders sicher und effektiv ablaufen³⁷⁹. In den genannten Untersuchungen und auch bei Hofstein & Lunetta (2004) wie auch bei der Nutzung so genannter „Inquiry Boards“ (Fischer, 2010) wird deutlich, dass das Experiment ein komplexes Unterfangen ist, das viel Denkarbeit und gründliche Vorkenntnisse bedingt. „Bekanntlich impliziert das Beherrschen naturwissenschaftlicher Methoden weit mehr als das richtige Handling. Vielmehr geht es um die Befähigung, die richtigen Fragen zu stellen und valide Möglichkeiten zu deren Beantwortung abzuleiten“ (Schlegel & Niethammer, 2007, S. 40). Es unterbleibt aber häufig die explizite Fragestellung als Komponente des explorativen Experimentierens, wie sie Stäudel (2003) hervorhebt: „Experimente können zwar Antworten liefern, aber deren Bedeutung erfasst nur derjenige, der die Frage selbst –wenigstens teilweise- formuliert hat“. Und: „It doesn't matter how beautiful your theory is, it doesn't matter how smart you are. If it doesn't agree with experiment, it's wrong“ (Richard Feynman)³⁸⁰.

³⁷⁷ Inwiefern man den Forschungszyklus zum „Modell domänenspezifischen, komplexen Problemlösens“ (Scherer, 2014) erhebt und bereits als ein Kompetenzmodell in Verbindung mit Vorwissen, Strategiewissen und schlussfolgerndem Denken (Reasoning) interpretieren kann, in dem „die Domäne Chemie durch die Gesamtheit ihrer Basiskonzepte definiert“ ist (S. 182³⁷⁷), erscheint insbesondere mit Blick auf die Sekundarstufe I und die dort noch unvollständig ausgebildete Abstraktionsfähigkeit als kritisch hinterfragbar.

³⁷⁸ Wambach & Wambach-Laicher (2012) arbeiten hierzu einen chemiespezifischen Schwerpunkt auf. In zwei Bänden geht es um „Möglichkeiten der methodischen Gestaltung von Arbeitsprozessen zur Individualisierung und Aktivierung im Chemieunterricht“, was sich beispielsweise in der schülerInnenaktiven „Bestimmung des Gehalts einer Vitamin-C-Tablette im methodischen Rahmen des Gruppen-Puzzles“ abspielen soll (S. 66-75).

³⁷⁹ Der olympische Ausspruch „Dabei sein ist alles!“ ist ein Satz von Verlierern. Analog hierzu ist der Ausspruch „Chemie funktioniert ja sowieso nicht immer!“ ein Satz von wenig begabten Experimentatoren.

³⁸⁰ Ein sehr deutlich auf Forschungsprinzipien, also wissenschaftspropädeutisch ausgerichtetes Buch für die Hand von jugendlichen Chemiefans gibt es von Weirauch et al. (2023): Glibber, Glimmer, Laserschwerter

C 2.3.4 Die Frage im forschungsorientierten³⁸¹ Unterricht

Die präexperimentelle Phase verdient es, besonders unter die Lupe genommen zu werden, da in ihr Fragen generiert werden sollen (Neber, 1975; Rosenshine et al., 2005; Middlecamp & Nickel, 2000&2005; Graesser & Olde, 2003; Pedrosa de Jesus & Watts, 2003; Lederer-Gamberger, 2004; Hofstein et al., 2005; Neber, 2008; Towndrow et al., 2008; Kabermann & Dori, 2009; Kobarg, 2009). Die Fragehaltung ist eine aktive sowie stark vom domänenspezifischen Vorwissen abhängige Größe (Flammer, 1981, Flammer et al., 1981; Niegemann, 2001, 2004; Neber, 2006b; Chin & Osborne, 2008) und „mit der Frage beginnt der echte Erkenntnisprozess“ (Copei, 1962, S. 62). Fragen sind ein Ausdruck der individuell empfundenen Notwendigkeit, entstandene kognitive Konflikte aufzulösen und damit argumentative Sicherheit zu gewinnen. Häufig reicht das vorhandene Wissen nicht aus bzw. es können erforderliche Aktivierungen nicht geleistet und Verknüpfungen nicht hergestellt werden, um Fragen formulieren zu können. Zusätzlich wird von SchülerInnen aus gesehen auch die Notwendigkeit des Fragens nicht erkannt. Dies erfolgt entweder aus Gleichgültigkeit oder aber aus dem Grund, dass kein kognitiver Konflikt auslösbar ist („Perplexität“; Dillon, 1988), weil neue Informationen (der Lehrkraft) und Vorwissen keine gemeinsame Schnittmenge bilden. Im traditionellen Unterricht ist das Fragen oft nur ein Ausfragen.

Graesser, Persson und Huber (1992) (zit. nach Niegemann, 2004; 345) unterscheiden vier Funktionsgruppen für Fragen, wie sie auch im Unterricht vorkommen:

- Ausgleich von Wissensdefiziten („epistemische Fragen“³⁸²),
- Sicherung einer gemeinsamen Gesprächsgrundlage,
- soziale Handlungskoordination sowie
- Konversations- und Aufmerksamkeitskontrolle.

Das Bemerken von Informationsdefiziten beim Hineingeraten in das „Spannungsfeld zwischen Wissen und Nichtwissen“ (Rieder, 1968) setzt ein beträchtliches Vorwissen voraus, wie auch eine Vorstellung vom Wissenkönnen. So kann davon ausgegangen werden, dass diesbezügliche Fragen an Zahl und Qualität in dem Maße zunehmen, wie die domänenspezifische Qualifikation ansteigt.

Die stets erforderliche Behebung kognitiver Konflikte kann einmal durch das Fragenstellen an Experten sowie durch Selbstfragen („self-questioning“) in die Wege geleitet werden. Es können jedoch auch Fragen aus der Gruppe, etwa bei einer Textbearbeitung (Glowalla & Glowalla, 2004) oder bei der Aufarbeitung von Experimentergebnissen wiederum in der Gruppe selbst zur strukturierten Erkenntnisfindung beitragen. Untersuchungen hierzu zeigen, dass die Formulierung der Fragen am Ende der Vorarbeit zu einem besseren Gesamtverständnis führt, als wenn die Fragen parallel zur Textarbeit gestellt werden. Fragen sind besondere Leistungen und bedürfen als solche oftmals einer expliziten Hervorhebung und qualitativen Würdigung.

³⁸¹ Interessantes zur Etymologie des Begriffs „Forschung“: Aus dem indogermanischen „perek“, das „wühlen, aufreißen“ bedeutet und sich im Wort „Ferkel“ wiederfindet. Über mhd. „Furchen ziehen, pflügen“ entstand das heutige „forschen, suchen“. Forschen kommt also vom Ackerbau! „Lehre“ kommt von „List“ aus der Wortfamilie „leisten“ („Schuster bleib bei deinem Leisten!“), ursprünglich „Fußabdruck, Spur“, „Jagd“. „Lehren bedeutet demnach „Jemandem nachspüren lassen, zum Nachspüren verhelfen“ (Vgl. Fundus von so genannten „Lehrmails“ (hier: Lehrmail 51-22/2000), kleinen, aber überaus praxisrelevanten Tipps zur Optimierung der Lehrtätigkeit in Universität und Schule. Sie wurden verfasst von Dr.-Ing. H.-Ch. Bartscherer und finden sich unter www.prolehre.tum.de: http://www.prolehre.tu-muenchen.de/cms/images/stories/lehrmails/lehrmails_gesamt.pdf und http://www.prolehre.tum.de/handreichungen/prolehre_handreichungen_lehren_20120923.pdf

³⁸² Neber (1999) unterscheidet hier „wissensgenerierende“ und metakognitive „prozessregulierende“ Fragen.

In diesem Kontext sei auf die grundsätzliche Wichtigkeit des Gesprächs verwiesen. „Die Allianz zwischen Unterrichtsgespräch und forschendem Lernen erweist sich für beide Seiten als ein großer Gewinn. Aus der Perspektive des Unterrichtsgesprächs ist das forschende Lernen ein idealer Partner, weil es in Gestalt des Problems und seiner Teilelemente Gesprächsanlässe zuhauf bietet“ (Merzyn, 2015; S. 6). Zudem unterstützt es den sozialen Charakter des Lernens per se. „Lernen in der kollektiven Interaktion erfordert Verständigung und Verstehen. Verstehen wiederum macht das wechselseitige Herstellen von Anschlüssen und Bezügen im Gespräch notwendig“ (de Boer, 2015, S. 18).

Im Fall des Chemieunterrichts bzw. allgemein in den Naturwissenschaften ergeben sich Fragen aus Beobachtungen und deren Deutungsschwierigkeiten, welche sodann durch experimentelles Vorgehen (Forschungszyklen; Anton & Neber, 2008) einer Klärung zugeführt werden können. In jedem Fall ist es nötig, eine gewisse verbale Fertigkeit anzuwenden, mit welcher die Zielrichtung der Frage ebenso verdeutlicht werden kann wie auch die möglichen Vermutungen bezüglich der Lösung. Die Qualität der Vermutungen, Annahmen und damit „Hypothesen“ ist sehr abhängig vom verfügbaren Vorwissen und von der angestrebten Wissensqualität (Neber, 1987) sowie vom Geübtheitsgrad (Neber & Anton, 2008a, 2008b). Der aktuelle, meist noch immer traditionell geführte Unterricht, nicht nur in Chemie, lässt sich u.a. durch ein Vorherrschen der LehrerInnenfrage charakterisieren. So kann man in einer Unterrichtsstunde eine durchschnittliche Fragenfrequenz bei SchülerInnen von 0.2 SuS-Fragen pro Lerner feststellen. In einem ausgesprochenen Tutorenunterricht, bei dem es um eine eher individuelle SchülerInnenförderung geht, steigt die Fragenhäufigkeit schon auf 21 SuS-Fragen (Neber, 2006b). Auf vergleichbare Ergebnisse kommt Tausch (1960; zit. nach Lichtenstein-Rother, 1963, S. 124-125). Auf der Basis von 40 Unterrichtsstunden kamen auf durchschnittlich 82 LehrerInnenfragen pro Stunde genau 2 SchülerInnenfragen (Niegemann & Stadler, 2001). Interessant ist zudem, dass die Zeit, welche die fragende Lehrkraft SchülerInnen zur Beantwortung spendiert (Nettobedenkzeit) ca. 2 sec beträgt. Im Kulturenvergleich wird eine Pause von 500 Millisekunden beim Fragenbeantworten als Zögern interpretiert (Dingemanse & Enfield, 2015). Da das Fragen zu den Aktivitäten des menschlichen Gehirns zählt, welche besonders auf geistige Eigenleistung hindeuten und Lernen kein bloßes Aufnehmen, sondern ein individuelles Verarbeiten von Informationen darstellt, welches an die Strukturen des vorhandenen Wissens anschließt (Mandl, Reinmann-Rothmeier, 1990), sollte der Fragetätigkeit auf SchülerInnenseite nicht nur grundsätzlich mehr Raum gegeben werden (Niegemann, 2004), Schüler müssen in ihrem Frageverhalten auch differenziert gefördert bzw. trainiert werden (Neber, 2004b). Es sollte zu einem „question-driven classroom“ (Shodell, 1995, zit. nach: Chin & Osborne, 2008) kommen. Darin kann die Fragenformulierung sogar zur *ästhetischen Selbstdarstellung der Lehrerpersönlichkeit* beitragen (Lüttge, 1914; Kalthoff, 1995). Kleinuntersuchungen erhärten die Vermutung, dass insbesondere eine intensive Vorwissensaktivierung einen fördernden Effekt auf die Fragenqualität und auf die Problemlösesicherheit ausübt (Marstaller, 2015).

Leider fragt stets der, der die Antwort kennt und den Lernenden wird dadurch allzu oft eine Frage in den Mund gelegt, die sie von sich aus kaum stellen würden, geschweige

denn beantworten können (Gaudig, 1909³⁸³; Aebli, 1968³⁸⁴). Hier sollte sich also Grundsätzliches ändern; denn wenn das eigenverantwortliche Lernen und die lebenslange Auseinandersetzung mit jeweils neuen Informationen in der Schule gelernt werden soll, dann muss sich der Schüler und die Schülerin im Verlauf der Schuljahre von der Lehrperson unabhängig machen können. Er muss also selbst Fragen generieren und sie in ihrer Bedeutung taxieren können. Genau das entspricht dem Lehrplanziel „Kritikfähigkeit“ (Vgl. auch Kompetenzbereich „Bewertung“). Die Schlussfolgerung lautet demnach, dass wir SchülerInnen nur dann mit zunehmender Selbstverständlichkeit zum Fragen animieren können und damit auch zur eigenverantwortlichen Bearbeitung ihrer Fragestellungen, wenn wir ihnen Lehrkräfte zuordnen, welche genau diese Fähigkeit an sich selbst erfolgreich erprobt haben und wie selbstverständlich praktizieren. Damit sollte es sich lohnen, nicht nur die Fragehaltungen unserer LA-Studierenden zu fördern (Levin & Arnold, 2004), sondern auch ihre metakognitiven Fähigkeiten, das eigene Fragen wie auch fremdes Fragen jeweils in seinen Qualitäten zu unterscheiden (Sembill & Gut-Sembill, 2004). Das erfordert ein sicheres Wissen über Fragenarten, Frageziele und Fragenqualitäten (Abb. C29).

Fragentypen

Lehrerfrage

- **Erkundigung** „Erkennst Du den Unterschied zwischen Salz- und Kohlensäure?“
- **Sicherheit** „Was versteht man unter einem `Ampholyt`“?“
- **Kombination** „Wie erklärt sich die Energetik von CuCl_2/Zn - und S/Zn -Gemengeverhalten?“
- **Verfügbarkeit** „Weshalb sollen Spengler keine Eisenspäne in einer Kupferdachrinne vergessen?“

Schülerfrage

- **Vollständigkeit** „Was ist ein Pistill?“
- **Kognitiver Konflikt (Perplexität)** „Sind die Verbrennungsprodukte nun leichter oder schwerer als der Brennstoff?“
- **Bestätigung** „Dann besitzen Säuren also immer einen Säure-Wasserstoff?“
- **Ordnung** „Gehört Vitamin C auch zu den Säuren?“
- **Nutzen** „Kann man Kalkbeläge mit Citronensäure entfernen?“

Abb. C29: Gegenüberstellung von typischen Fragenarten, wie sie im Unterricht auftreten.

Untersuchungen zeigen überdies, dass es sich beim Fragen der SchülerInnen selbst um einen limitierenden Faktor für das Verstehen (Aebli, 1968) und den Nachvollzug des „Forschungszyklus“ handelt, da das gefundene Ergebnis ohne Rückbezug bleibt und demnach schwer als Antwort erkannt werden kann. Hierdurch wird auch die Feststellung unterstützt, wonach das fachspezifische Vorwissen den sichersten Prädiktor für die zu erwartende Lern- und Verstehensleistung darstellt (Weinert & Helmke, 1993) und zwar in dem Maße, wie sich die Problemstellung von einer allgemein formulierten zu einer spezifischen wandelt (Weinert, 1998b). So erwies sich im aktuellen Chemieunterricht am

³⁸³ „Was gibt es Unsinnigeres als jene Schulsituation, in der Lehrer, der die Sache kennt, fragt, und der Schüler, der sie nicht kennt, antwortet? Gerade umgekehrt sollte es sein: Der Schüler soll fragen und der Lehrer soll antworten“ (H. Gaudig, 1909; Didaktische Prästudien).

³⁸⁴ Aebli (1968) spricht von „Gaudigs Trugschluss“ und rechtfertigt die Lehrerfrage. Hierbei unterscheidet er zwischen einer `didaktischen Frage` und einer ihr folgenden Aufforderung, über die dann die `Auffassungstätigkeit des Schülers gesteuert` sowie seine `geistige Arbeit geleitet` werden soll.

Gymnasium die Aufforderung an die SchülerInnen, sich zu einem „schlecht definierten Problem“ („ill-structured problem“) Fragen einfallen zu lassen, als besonders schwierige Aufgabe (Neber & Anton, 2008a&b) (Abb. C30).

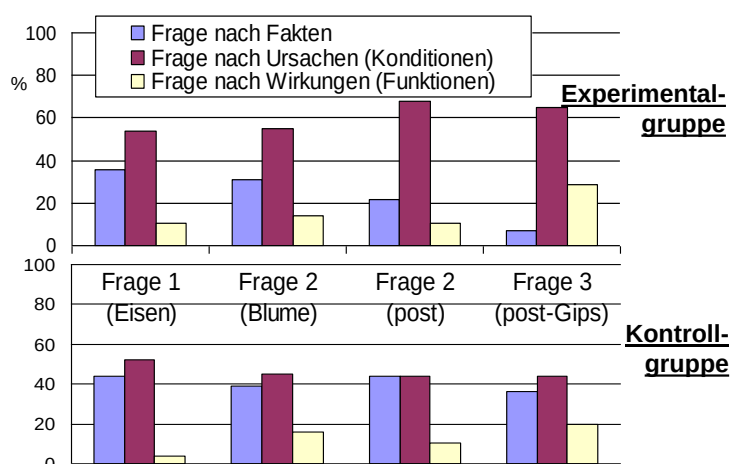


Abb. C30: Auszug aus den Untersuchungsergebnissen zum Frageverhalten in Chemie von SchülerInnen der Jgst. 10. Die unterwiesene E(xperimental)-Gruppe konnte im Aufgabenfall deutlich mehr anspruchsvollere Fragen stellen als es bei der K(ontroll)-Gruppe festzustellen war. Die Kategorisierung der Fragenqualität folgt dem Modell des „vollständigen Wissens“ nach Neber (1993).

Dieses Resultat verschärft sich in seiner Bedeutung, wenn man neben der Anzahl von Fragen auch deren Grad der Generalisierung vom konkreten Beispiel über induktive Regelfindung bis zu Gruppierungen (Ebene) und den Grad der Abstraktion von der Beschreibung über die Verwendung von Symbol und Fachbegriff zur deduktiven Modell- und Regelanwendung (Tiefe) bewertet (Otéro et al., 2004; Hergeth, 2007)³⁸⁵.

Um die Fragen qualitativ noch differenzierter unterscheidbar machen zu können, werden sie zunächst nach drei Kategorien eingeteilt, wobei es drei Haupt- und sechs Unterkategorien gibt. Die Hauptkategorien (Richtung) entsprechen dem *Wissensmodell* von Neber (1993): Fragen nach:

- Fakten (Fa: 100; vgl. Tab. C5), nach
- Konditionen (Bedingungen; Ko: 200) und nach
- Funktionen (Fu: 300).

Zudem lassen sich Nebenkategorien unterscheiden (Neber, 2006b). Das ist einmal die *Ebene der Frage*, womit der Generalisierungsgrad gemeint ist. Im einfachsten Fall (hier bei chemiedidaktischen Fragen) handelt es sich um

³⁸⁵ Noch eine Bemerkung zur weit verbreiteten Auffassung, wonach das Fragen z.B. der SchülerInnen, StudentInnen, ReferendarInnen usw. bei der Bearbeitung von Aufgaben, nicht in Prüfungen, sondern in Projekten und ähnlich gelagerten Aufträgen, sich negativ auf die Bewertung der Schlussleistung auswirken würde und man deshalb möglichst keine Fragen stellen sollte!

Fragen ist ein Zeichen dafür, dass man auf dem Weg zu einer Problemlösung ist. Wenn es hierzu noch keine Routinen gibt und man sich erst mühsam an das Problem heranpirschen muss, sind Fragen nicht nur natürliche Erkenntniswerkzeuge, sondern ebenso Kommunikationsmittel, mit denen Gehirne zusammengeschaltet werden. Dabei gilt: Wer auf seine Eingangsfragen gute, konstruktive und sinnvolle, zielführende Antworten erhält, fragt anschließend automatisch weniger nach! Antworten auf sinnvolle Fragen sind wichtige Feedbackelemente und ein Zeichen sehr anspruchsvoller Kommunikation auf einer jeweils höchsten Ebene.

Richtig fragen und die Frage richtig adressieren sind Zeichen von Souveränität!

- konkrete Einzelfälle, die meist mit Ja oder Nein zu beantworten sind („Ist ein Chemiesaal vorhanden?": 010), als nächstes kann eine
- `enge Verallgemeinerung' erfolgen („Können die Experimente von Schülern oder nur vom Lehrer durchgeführt werden?": 020) und zuletzt eine
- `weite Verallgemeinerung' („Unterstützen die Experimente das Verständnis für Chemie?": 030).

Die zweite Nebenkategorie betrifft *die Tiefe der Frage* („*deep understanding*", Graesser & Olde, 2003; „*deep-reasoning*"). Damit ist der Abstraktionsgrad gemeint. Im einfachsten Fall handelt es sich um

- konkrete Fragen auf der Phänomenebene („Gibt es Fluchtwege für die SchülerInnen?": 001). Anspruchsvoller sind
- Fragen mit Fachbegriffen und Modellvorstellungen („Liefert das Experimentieren erkenntnisfördernde Hypothesenprüfungen zur Chemie?": 002) und solche, welche sich auf
- Regelanwendungen und Gesetzmäßigkeiten beziehen („Ist Chemieunterricht ohne reales Experiment überhaupt möglich?": 003).

„Im naturwissenschaftlichen Unterricht, so stellen die Autorinnen [Kobarg et al., 2009; zit. nach de Boer, 2015, S. 21] fest, überwiegen die Kurzantwortfragen, selten werden offene Fragen, noch seltener *Deep-Reasoning-Fragen* gestellt. Die LehrerInnenrückmeldungen umfassen in der Regel einfache Bestätigungen (87%) und regen wenig zur selbständigen Unterstützung des Lernens an (12%)“ (ebd. S. 419).

Jede der obigen Kategorien ist formal in drei Bereiche unterteilbar, wobei jede Hauptkategorie mit je sechs Unterkategoriebereichen kombiniert werden kann. Von 111 bis 333 steigt die Qualität der Frage über 27 Schritte (aus dreimal neun) hinsichtlich Wissensqualität, Generalisierungs- (Ebene) und Abstraktionsgrad (Tiefe). Um die erhaltenen Werte vergleichbar zu machen, werden die jeweils zur Hauptkategorie gehörenden neun Optionen (jede der drei Kategorien mit je drei Ebenen und je drei Tiefen) mit den Ziffern 1 bis 9 gekennzeichnet, sodass neunmal je drei Dreierwerte (111, 211, 311 usw.) zusammengefasst werden können.

Die Werte 1 bis 9 werden als RET-Index bezeichnet und charakterisieren die Fragenqualität (Tab. C5 und Tab. C6).

RET

Rot-Blau-Grün!

Richtung Ebene	Fa1 Ko2 Fu3	Fa1 Ko2 Fu3	Fa1 Ko2 Fu3
1 ↓	111,211,311	112,212,312	113,213,313
	1 (jeweils für jede Richtung)	2	3
2	121,221,321	122,222,322	123,223,323
	4	5 (jeweils für jede Richtung, z.B.: Fa5,Ko5,Fu5)	6
3	131,231,331	132, 232,332	133, 233,333
	7	8	9
Tiefe	1	2	3

Tab. C 5: Schema zur Differenzierung von Fragenqualitäten nach ihrer **Richtung** (Wissensmodell nach Neber, 1993), **Ebene** und **Tiefe** mit Beispielen zum Thema „Gips“: Die Kennzeichnung geht von 111 (=einfachste Fragenform) bis zu 333 (=komplexeste Formulierungsart) bzw. von 1 bis 9 (Anton, 2009, unveröffentlicht)

Frage	Klassifizierung nach Qualitätsstufung	Erläuterung
Was ist Gips?	111	Faktum, konkr. B., Phänomen
Gibt es mehrere Gipssorten?	121	Faktum: Generalisierung
Gibt es polymorphe Gipssorten?	122	+ Fachbegriff
Gibt es mehrere Gips-Modifikationen?	122	Faktum: Generalisierung und Fachbegriff
Hat Gips die Summenformel CaSO_4 ?	212	Kondition: Beziehung zwischen „Begriff“ u. „Formel“, Fachbegriff
Wird beim exothermen Löschen von gebranntem Gips die ursprünglich aufgewendete Energie wegen des Energieerhaltungssatzes wieder frei?	233	Kondition: Beziehung zwischen Prozess und Energetik unter Verwendung einer Verallgemeinerung: Angabe des Gesetzes
Benötigt man Gips für die Herstellung von Stuck?	312	Funktion: Konkretes Beispiel und Fachbegriff
Kann man Gips-Mörtel zum Verputzen von Mauerwerk verwenden, wenn ein gründlicher Trocknungsvorgang sichergestellt ist?	323	Funktion: Anwendung des erkannten chemischen Prinzips auf Sachverhalte außerhalb des Fachs und unter Verwendung von Fachbegriffen

Tab. C6: Schema zur Differenzierung von Fragenqualitäten mit Beispielen aus dem Thema „Gips“: Die Kennzeichnung geht von 111 (=einfachste Fragenform) bis zu 333 (=komplexeste Formulierungsart)

In einer beim 10. Europäischen Chemielehrerkongress in Salzburg (2009) vorgestellten Untersuchung an 59 Lehramtsstudierenden mit dem Fach Chemie, in der die Studierenden zum „schlecht definierten Problem“ „Experimentieren im Chemieunterricht“ Fragen formulieren sollten, die in der Fachdidaktik beantwortet werden müssen, konnte nicht nur eine geringe Fragenfrequenz bestätigt werden, sondern ebenso das Überwiegen der fachlich weniger anspruchsvollen Fragentypen (Tab. C7).

Legt man die RET-Indices zugrunde und vergleicht dann die Fragenqualitäten, zeigt sich ein Bild, bei dem bevorzugt die Fragen der Realschul-Studierenden ein hohes Niveau hinsichtlich der Ebenen und Tiefen erreichen (Tab. C8). Dies mag damit zusammenhängen, dass hier grundsätzlich praxisnähere und konkrete Informationswünsche zum schulischen Experimentieren vorliegen. Unter den GSMS-Studierenden tritt eine hohe Zahl an Funktionsfragen auf und es überwiegen die Konditionsfragen. Dies kann damit begründet werden, dass im Heimat- und Sachunterricht die lebenspraktischen Anwendungen einfacher Experimente im Vordergrund stehen. Im Bereich des LA für das Gymnasium scheinen die innerfachlichen Anwendungsziele im Fokus der Fragehaltung zu stehen.

Schultyp Probanden	/	Fragenanzahl (Fakten/Konditionen/Funktionen)	RET-Index
GSMS(7)		61 (14/33/14)	4.2
RS(29)		221 (172/46/3)	6.1
GY(23)		203 (155/47/1)	4.9
(59)		(485)	(5.1)

Tab. C7: Grafik aus einer Untersuchung an 59 Lehramtsstudierenden mit dem Fach Chemie aus den Schularten Grund-, Haupt-, Realschule und Gymnasium. Der Auftrag lautete vor der Besprechung der Themenbehandlung: *Formulieren Sie Fragen zum Experimenteinsatz im Chemieunterricht!* Es wurden 485 Fragen formuliert (durchschnittlich 8 Fragen/TN). Die Fragenqualitäten wurden mit dem Wissensmodell nach Neber unterschieden. Dabei zeigte sich eine ähnliche Verteilung wie bei einer analogen Untersuchung an Schülern der gymnasialen Mittelstufe zum Thema „Ursachen und Folgen der Wasserhärte!“ (Neber & Anton, 2008ab).

Die Auseinandersetzung mit dem Fragenstellen im Zuge der LehrerInnenausbildung scheint demnach als sehr aktuelles und in seinen Auswirkungen folgenreiches Desiderat. Levin (2005) fand u. a., dass das Fragenstellen bei Studierenden im Vergleich zum üblichen Anfertigen von Notizen zu besseren Leistungen in der Wissensnutzung führte.

Aber: Neuere Forschungsergebnisse der Psycholinguistik weisen darauf hin, dass „die zeitliche Überlappung von Zuhören und Vorbereiten der eigenen Aussage weniger als eine halbe Sekunde“ beträgt. „Also werden unsere Kapazitäten fürs Zuhören durch das Planen eigener Äußerungen stark beeinträchtigt“ „Daher ist es (nach Antje Meyer vom MPI für Psycholinguistik, Nijmegen) auch überhaupt keine gute Idee, wenn wir unsere Studierenden dazu auffordern, sich während eines Vortrags kluge Fragen zu überlegen“. Stattdessen sollte die Devise lauten: Erst zuhören, dann eigene Gedanken und Fragen formulieren – alles andere geht auf Kosten der Aufnahmefähigkeit“

(Reinberger, 2016, S. 29). Dem entspricht die Richtigstellung der üblichen Vortragsabschlussbemerkung „Haben Sie noch Fragen?“ in: „Haben Sie SCHON Fragen?“

C 2.4 Beschreibung und Veranschaulichung im Fach Chemie

Zunächst sei hervorgehoben, dass mit dem Erlernen von Chemie zugleich das Erlernen von „Chemisch“ als Fachsprache verbunden ist (Anton, 2010b; Markic & Abels, 2013). „As mentioned previously, the learning of scientific language is very difficult because students do not only have to learn the vocabulary and the semantics they also have to develop an understanding of the phenomena and the theoretical concepts behind the terms“ (Markic et al., 2013, S. 131). Es ist daher nicht übertrieben, den Schülern vorzuschlagen, neben dem Schulheft ein „chemisches Vokabelheft“ zu führen, in das jeweils die neuen Begriffe (etwa als Hausaufgabe) aus dem laufenden Unterricht mit ihrer „Übersetzung“ eingetragen werden (Tab. C8).

KMnO ₄	Kaliumpermanganat „Übermangansaures Kali“ (Desinfektionsmittel)
NaCl	Natriumchlorid Kochsalz Aufbau aus Ionen (→ Ionenbildung, -bindung)
MgO	Magnesiumoxid (→ Oxidation) „Magnesia“ (Einsatz im Geräteturn- und Klettersport)
Redox-Reaktionen	Kombinierte Vorgänge aus Reduktion und Oxidation
Oxidation	Aufnahme von Sauerstoff Abgabe von Elektronen Erhöhung der Oxidationszahl
Reduktion	Abgabe von Sauerstoff/Aufnahme von Wasserstoff Aufnahme von Elektronen Erniedrigung der Oxidationszahl
Säure-Base-Reaktionen	Übertragung von Protonen (Säuren: Protonendonatoren; Basen: Protonenakzeptoren)

Tab. C8: Beispiel eines Eintrags in das „Chemie-Vokabelheft“ zur Hervorhebung der Grundkenntnisse aus dem Fach

Schon an anderen Stellen wurde betont, dass bei der Formulierung von Beschreibungen bzw. Deutungen chemischer Sachverhalte größtmögliche Genauigkeit angestrebt werden soll. Insbesondere gilt es, den „Laborjargon“ („Du weißt schon, was ich meine!“) nicht zur Unterrichtssprache werden zu lassen (Kotowski & Kullmann, 1999; Barke, 2016, 2019; Herdt, 2019; Barke & Büchter, 2020). An vielen Beispielen zeigt sich, dass zwischen der Fachsprache und der Wissenschaftssprache nicht nur Unterschiede bestehen hinsichtlich der Begrifflichkeit, was die fachspezifischen Formulierungen (Fachbegriffe: Oxidation, Ampholyt, Protolyse etc.) angeht, sondern auch in Bezug auf die unterschiedliche Bedeutung von in beiden Sprachen vorkommenden Begriffen. Klassisch ist die sehr unterschiedliche Semantik (Lehre von der Bedeutung der Wörter³⁸⁶), etwa von „Stoff“ (Minssen, 186; Soentgen, 1999), „Reaktion“, „Lösung“ etc. Markic et al., (2013) stellen hierzu eine umfangreiche Beispielliste vor (S. 133). Voß und Wagner (2023) vermuten anhand einer akribischen Untersuchung an Schulbüchern, dass „ein Teil der Frustrationen bei Lernenden wie bei Lehrkräften daher stammt, dass die Lehrkraft einen Begriff nicht als Fachbegriff identifiziert und deren fachliche Bedeutung als selbstverständlich voraussetzt“. Auf der Basis von ca. 90 Grundbegriffen schlagen Sie folgende Definition vor „Grundbegriffe im Chemieunterricht sind häufig und vernetzt

³⁸⁶ Verwandte Begriffe sind: „Semiotik“ (L. von den sprachlichen Zeichen und Symbolen) und Syntax (Satzlehre, Satzbau)

angewandte Fachbegriffe, deren Kenntnis, Anwendung und freie Abrufbarkeit im fachlichen Kontext vorausgesetzt wird“ (S. 34).

Ein meist unreflektierter Klassiker ist der Begriff „Lösen“, besonders dann, wenn man das (Auf-)Lösen von Zucker in Wasser und das „Auflösen von Magnesium in verdünnter Salzsäure“ meint. Weitere Auffälligkeiten sind die alltagsrelevanten Formulierungen wie „natriumarmes Mineralwasser“, „eisenhaltiges Gemüse“, „Iodsalz“, „fluorierte Zahnpasta“ uvm. Hier soll auch auf die Schwierigkeiten eingegangen werden, welche sich aus der Unterscheidung von Element, Verbindung, Zersetzung, Zerlegung, Entmischung, Synthese, Vereinigung und Umsetzung ergeben können, wenn man die passenden Beispiele genauer unter die Lupe nimmt.

In frühen Aufzeichnungen meines ehemaligen Kollegen Herbert Kiechle (1998), langjähriger Fachberater für Chemie und damit Verantwortlicher für die Ausbildung von ChemiereferendarInnen in Bayern, finden sich sehr hilfreiche Ausführungen, mit deren Hilfe sich das Problem der Begriffseingrenzung und –anwendung in den Griff bekommen lässt. Hieraus sind die folgenden Beispiele entnommen.

Entmischung:

... eines Gemisches, welches aus Bestandteilen zusammengesetzt ist, die innerhalb des Gemisches ihre typischen Kenneigenschaften behalten und anhand dieser im Gemisch identifiziert werden können (Diesem Vorgang entspräche die allgemeine Formulierung: $AB \rightarrow A+B$)

→Fe/S-Gemisch wird durch Magnetscheiden entmischt, die Komponenten des Gemisches werden voneinander getrennt

Analyse/Zersetzung (vs. Zerlegung):

... einer Verbindung führt zum Ende des Existierens (wird vernichtet) eines Stoffes und Stoffarten mit gänzlich neuen Kenneigenschaften beginnen zu existieren (treten auf):

Die allgemeine Formulierung soll heißen: $A \rightarrow B+C$ und keinesfalls $AB \rightarrow A+B$ (s.o.!).

Eine über das Element hinausgehende Zersetzung, auch eine Transmutation (alchemistische Elementumwandlung) ist nicht möglich, wenn der Atom- oder Ion-Charakter nicht zerstört werden soll.

→Eine Portion Ag_2O wird erhitzt, verschwindet und sowohl Silber als auch Sauerstoff beginnen ihre Existenz und können durch metallischen Glanz bzw. Glimmspanprobe indirekt nachgewiesen werden

→Eine Zinkiodid-Lösung wird elektrolytisch zersetzt und Zink wie Iod beginnen zu existieren (Abb. C30).

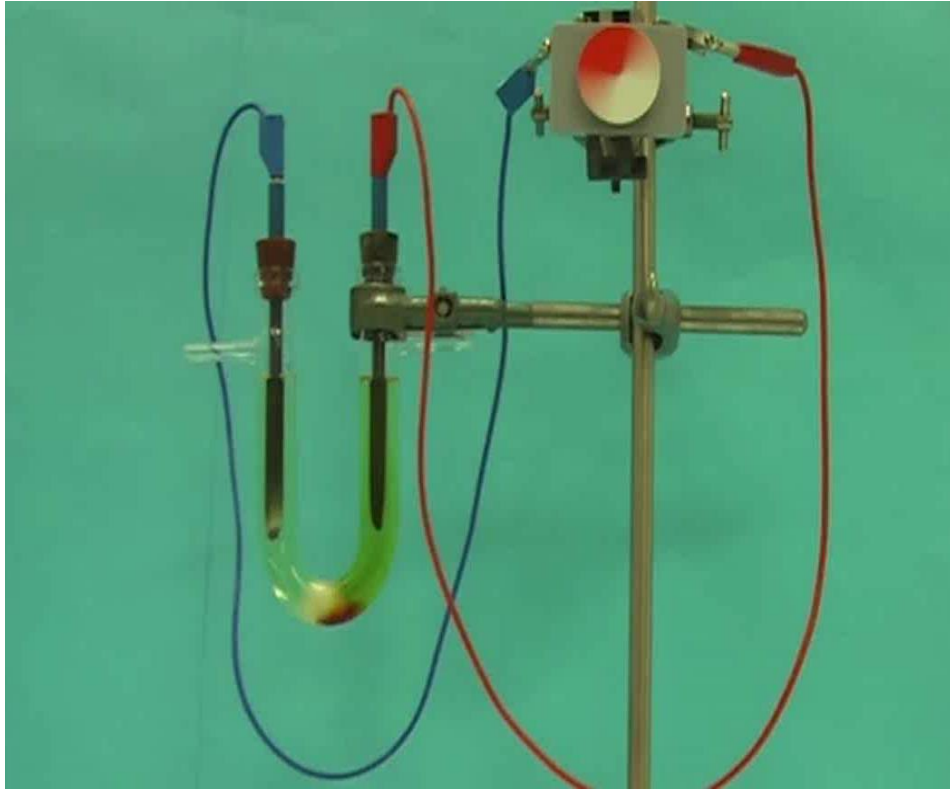


Abb. C30: Versuchsaufbau zur Kombination der zunächst erfolgten Elektrolyse einer Zinkiodid-Lösung mit anschließender Verwendung der polarisierten Elektroden als Batterie, welche einen E-Motor antreibt.

Synthese/Stoffaufbau:

...einer Verbindung: Sie ist aus den beiden Stoffen entstanden:

→ Zinksulfid „besteht“ nicht aus Zink und Schwefel, vielmehr ist ZnS aus Zink und Schwefel entstanden (herkunftsbezogene Benennung!)

So sollte die Wortgleichung für die Synthese von Eisensulfid aus Eisen und Schwefel als Produkt nicht –auch nicht vorläufig– die Bezeichnung „Schwefeleisen“ erhalten, sondern gleich als „Eisensulfid“ gekennzeichnet werden. Für die Oxide gilt dies entsprechend.

Allgemein soll man $A+B \rightarrow C$ formulieren und keinesfalls $A+B \rightarrow AB$

„Elemente sind nicht in Verbindungen enthalten, sondern hören im Augenblick der Synthese zu existieren auf!“ (Habelitz-Tkocz, 2002, S. 8).

Einfache und doppelte Umsetzung:

... zwischen einer Verbindung und einem Element bzw. zwischen zwei und mehreren Verbindungen vereinigt die Ausdruckweise von Analyse und Synthese:

Allgemein sollte hier folgerichtig formuliert werden: $A+B \rightarrow C+D$

Zur beschriebenen Thematik „Stoff“ folgen einige Fragen, welche die Begriffsverwendung konzentriert einfordern:

1. Was ist ein Stoff? (vgl. auch Barke, 2015)
2. Woran lassen sich Stoffe voneinander unterscheiden?
3. Was sind wesentliche oder unwesentliche bzw. konkrete oder abstrakte Stoffeigenschaften?
4. Wie lassen sich (fallweise) vorgestellte Stoffbeispiele eindeutig identifizieren?
5. Wie nennt man solche Stoffe, deren Untereinheiten sich in ihren wesentlichen Eigenschaften unterscheiden?

6. Wie nennt man solche Stoffe, deren Untereinheiten nicht dieselben Eigenschaften aufweisen?
7. Wie können Stoffe voneinander getrennt werden?
8. Wie lassen sich Stoffarten übersichtlich einteilen?
9. Was versteht man unter einer Stoffzustandsänderung und was unter einer Stoffartumwandlung?

In allen kommunikativen Bereichen (Sozialform) des Unterrichts (Vogt, 2015) ist es nötig, schon bei der Planung der Unterrichtssequenz bzw. –einheit die Wahl der Formulierungen mitzudenken, was deutlich wird, wenn Diktate oder Merksätze ins SchülerInnenheft Eingang finden sollen.

Überdies spielt die Wortwahl, etwa beim Ansprechen der SchülerInnen, bei den Feedback-Formulierungen, bei der Beschreibung von Arbeitsaufträgen sowie beim Ermahnen, Fragenstellen und Bewerten von Antworten, beim Loben und Zurechtweisen eine große Rolle (Peters, 1973), wenn es darum geht, das Unterrichtsklima (Dreesmann, 1982) mitzugestalten.

Mittlerweile sind die Anforderungen an das Sprachverständnis deutlich angestiegen. Im Zuge der Inklusion bahnen sich an vielen Universitäten (vornehmlich solche mit lehrerInnenbildenden Fakultäten) Kooperationsprojekte an zwischen den bislang häufig unauffälligen Arbeitsbereichen „Didaktik des Deutschen als Zweitsprache“ (DDaZ) in der Germanistik und den übrigen Fachdidaktiken. Gerade im Zuge der Flüchtlingsproblematik und damit der zahlreichen „unbegleiteten Jugendlichen“ verschärfen sich die akut zu meisternden Aufgaben einer frühen, sicheren und vielseitigen Nutzung der Sprache des Gastlandes. Da es um eine rasche Einschulung geht, muss sich das Sprachenlernen auch auf die Fächeransprüche ausdehnen.

Für die Chemie bedeutet dies eindeutig

- die Bekanntmachung mit Geräten, Gefäßen und einfachen Stoffen (Chemikalien)
- die Prozessbeschreibungen über kurze Texte, Bilder, Skizzen und Piktogramme,
- die Unterstützung bei der Beschreibung von Sinneswahrnehmungen und
- die Nutzung von Gesprächsanlässen durch gemeinsames Tätigsein in Gruppenarbeitsphasen.

Hierzu werden bereits Materialien zur Verfügung gestellt³⁸⁷:

Mittlerweile beginnt es üblich zu werden, dass die gängige Ausdrucksweise insbesondere auf der Ebene von Behörden umgewandelt wird in die sogenannte „leichte Sprache“: Kurze Sätze ohne Komma, Fremdwort und Genitiv. Übersetzte Texte werden von Menschen mit Lernschwierigkeit geprüft. Hierzu gibt es ein Internet-Wörterbuch „Hurraki“ (www.hurraki.de). Zwischen der schweren und der leichten Sprache gibt es noch die „einfache Sprache“. Hier dürfen die Sätze länger sein (bis zu 15 Wörtern). Bei der Abfassung von z. B. Experimentieranleitungen sollte dieses Prinzip auch mitbedacht werden. Bezüglich einer allgemein gehaltenen Sprachstilanalyse mit entsprechenden Optimierungsmöglichkeiten, sei verwiesen auf Anselm & Werani (2017).

Am folgenden Beispiel eines Protokollvergleichs (s.u.) nach dem Versuch zum „elektrochemischen Kurzschluss“, wenn ein unedles Metall (Zn) in die Salzlösung eines edleren Metalls (CuSO₄) eintaucht soll verdeutlicht werden, dass mit einer ausgewählten Form der Auswertung und deren Textverschriftlichung unterschiedliche

³⁸⁷<http://www.josefleisen.de/uploads2/04%20Sprache%20im%20Fachunterricht%20-%20Bilingualer%20Fachunterricht/17%20Sprachsensibler%20Fachunterricht.pdf>
und in Österreich: http://www.oesz.at/sprachsensiblerunterricht/materialienliste_02.php

SchülerInnennähe erzeugt werden kann. So ist der zweite (mathetisch orientierte) Text näher an der konkreten Beobachtung und damit als Theorie leichter mit der beobachteten Praxis verbindbar. Neben den sprachlichen Aspekten einer gelingenden Kommunikation im Fachbereich Chemie lassen sich auch didaktische Ansprüche bezüglich der Repräsentationstypen (Diagramme, Schemata) ausmachen. Dabei hat sich gezeigt, dass die bisherige Selbstverständlichkeit des Verstehen Könnens keineswegs Gültigkeit hat. Vielmehr wird klar, dass die Lesbarkeit von nichtsprachlichen Darstellungsformen wissenschaftlicher oder alltagsbezogener „Kurzbeschreibungen“, wie es Diagramme sind, mit denen „etwas auf den Punkt gebracht“ werden soll, in keiner Weise naturgegeben ist (Beck, 2017). Es bedarf nach Beck einer „personenbezogenen Repräsentationskompetenz“. Diese dient dann auch dem „Identifizieren schwierigkeitsgenerierender Aufgabenmerkmale“ (S. VI). Nach Beck gilt, „dass der inhaltliche Kontext für die Schwierigkeit einer Aufgabe weniger entscheidend ist als die Anforderung an den Integrationsprozess beim Repräsentationswechsel selbst“ (S. VII).

Wie die Fachsprache, so muss auch an das Verstehen von Diagrammen, an ein „repräsentationsspezifisches Wissen in den Naturwissenschaften“ herangeführt werden. Denn „Der Umgang mit unterschiedlichen Darstellungsformen [Text-Bild-Kombinationen] wird ... zu einem konstituierenden Merkmal fachsprachlicher Kompetenz und entscheidend bei der Vermittlung von Kommunikationsfähigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht“ (S. VI). Die Besonderheit unter Punkt 2 besteht darin, dass die Auswertung (Tabelle) sehr viel näher am Phänomen steht, welches gerade beobachtet worden war. Die abstrakten 0- und +-Zeichen sind ersetzt durch die Elementsymbole. Damit wird auch eine Ausformulierung der zugehörigen Redox-Gleichungen vereinfacht und die Verwendung des Begriffs Oxidation (als e-Abgabe) kann leicht begründet werden. Der Redox-Begriff als e-Transfer wird augenscheinlicher. Der Textfluss über die Tabelle hinweg im Uhrzeigersinn unterstützt die Sprechweise, welche sich bei der Beobachtungsbeschreibung einfordern lässt.

Elektrochemie: Die Lösungstensionsreihe der Metalle³⁸⁸ (Auswahl) in didaktischer und mathetischer Ausfertigung

Versuch:

In vorgegebene Lösungen taucht man das feste Metall und beobachtet fallweise Metallabscheidungen aus der Lösung am Metall. Dies wird in der Tabelle notiert.

1. Eher didaktisch orientiert

Salzlösung Metall	CuSO ₄	AgNO ₃	ZnCl ₂	FeSO ₄
Cu	0	+	0	0
Ag	0	0	0	0!***
Zn	+	+	0	0!*
Fe	+	+	0	0

Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass stets das abgeschiedene Element „unedler“ ist als das Metall, welches zur Abscheidung eingetaucht wurde. Daraus ergibt sich von edel nach unedel folgende Reihung: Ag Cu Fe Zn.

³⁸⁸ Verwunderlich und zugleich hochinteressant ist die Bedeutung der Unterscheidbarkeit von edlen und unedlen Metallen in der Liturgie, sodass es sogar den Begriff der „Pastoralchemie“ gibt (Fettingner, 1930)

Lehrerinfo:

*am Zn kann rein optisch eine Fe-Abscheidung nur dann beobachtet werden, wenn es sich um eine frisch hergestellte Eisen(II)-Salzlösung handelt (FeCl₃-Lösung liefert keine Abscheidung).

**Verwendet man eine Eisen(III)-Salzlösung, so finden Anätzungen gegenüber Silber, Kupfer und Zink statt, da sich das Normalpotential von Fe(II) nach Fe(III), von -0.44 V nach +0.77 V verändert, demnach dreiwertige Eisen-Ionen sozusagen „edler“ sind als Ag und dieses oxidieren.

2. Eher mathetisch orientiert

Metall-Atome ...

Cu	Ag	Zn	Fe	... tauchen ein in ...
		Cu	Cu	Cu ²⁺
Ag		Ag	Ag	Ag ⁺
				Zn ²⁺
		Fe		Fe ²⁺

... Metall-
Kationen-
Lösungen ...

... und dabei nehmen folgende Metall-Kationen Elektronen von den Metall-Atomen auf und werden selbst zu Metall-Atomen (s. Tab.).

Pro Spalte ist der edle Charakter eines Elements dann besonders groß, wenn in den Zeilen darunter viele andere Metalle zu finden sind. Damit ergibt sich folgende Reihung von edel nach unedel: Ag Cu Fe Zn.

C 2.5 Unterscheidbarkeit von „wichtig vs. unwichtig“

Mit dem Ziel, Wissen zu differenzieren, also das Wichtige gegen das Unwichtige abzuwägen und Ordnung in die Hierarchie des Gelernten zu bringen bedarf es im Zuge der metakognitiven Leistungen entsprechender Kriterien. Dieses 'Trennen von Spreu und Weizen' setzt ein solides Überblickswissen voraus und gilt selbstverständlich für alle Bereiche des Chemieunterrichts. Der Satz der Lehrkraft „Ihr müsst nur das Wichtigste für die Prüfung können!“ macht so lange keinen Sinn, wie es dem Schüler verborgen bleibt, wie man gerade dieses 'Wichtigste' erkennen kann.

Das jeweils Wichtige zu entdecken, auf Analoges zu beziehen und „rote Fäden“ ausfindig zu machen, anhand derer es bei spezifischen Problemlagen erneut gelingt, den Weg zurück zum Detail und zum Einzelfaktum, zum ehemaligen „nicht so bedeutsamen Beispiel“ zu finden, zählt heute mehr als jemals zuvor zu den elementaren (metakognitiven) Bildungskompetenzen, die in der Schule instruktiv und anwendend gelernt werden müssen: „Nicht zwischen wichtig und unwichtig unterscheiden zu können, ist das Wesen der Dummheit“ (Bolz, 2009). Den Lernenden müssen die Kriterien vermittelt werden, nach denen sie selbst dieses Wichtige entdecken können. Hierin äußert sich besonders einprägsam der Kompetenzbereich (KB) „Bewertung“ der Bildungsstandards³⁸⁹ (Abb. C31).

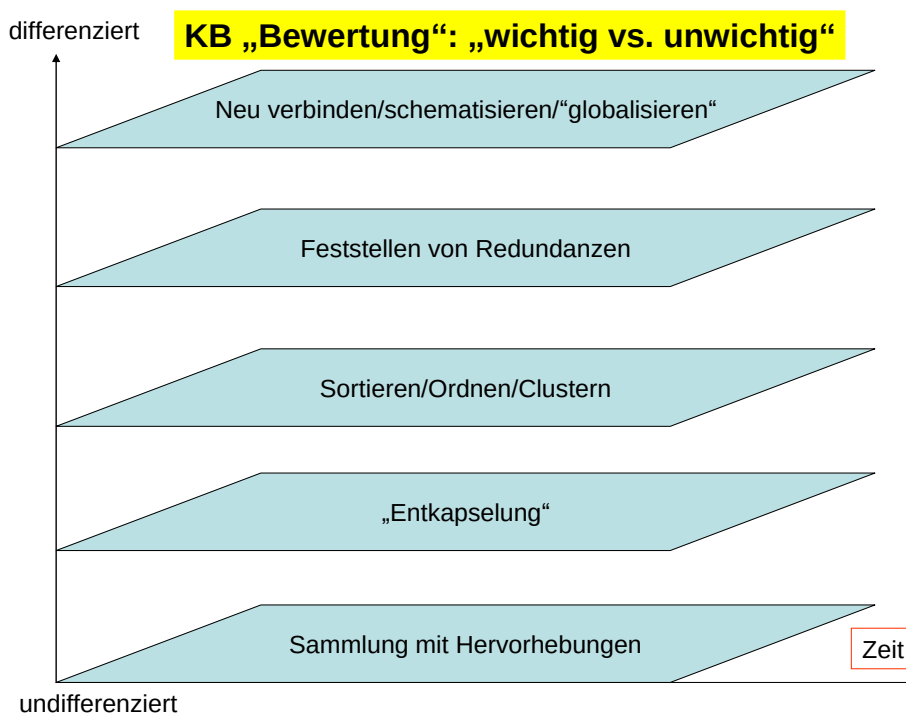


Abb. C31: Stufen in der Orientierung nach dem Wichtigem an Inhalten aus dem Unterricht.

Um das Wichtige zu finden, können die folgenden Kriterien herangezogen werden. Sie lassen sich nicht ausschließlich als objektiv bezeichnen; denn sie orientieren sich sowohl an den Auffassungen der Lehrenden (Beliefs) und der Lernenden als auch an den objektiven Aktualitäten. Dennoch lässt sich mit ihrer Hilfe auch der Detailreichtum der fachlichen Inhalte strukturell ordnen.

³⁸⁹ Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland: Beschlüsse der Kultusministerkonferenz - Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Jahrgangsstufe 10). München: Luchterhand 2005. www.kmk.org

- Erfahrungsstärke des Unterrichtenden
 - Lehrer zeigt Begeisterung und Einsatz bei der Erstellung einer attraktiven Lehrlernsituation
- Gegenwartsbedeutung
 - unmittelbar erforderlicher, wissenswerter Beitrag zur Lebenskompetenz, Teil des Orientierungswissens
- Zukunftsbedeutung
 - Wissensgrundlage für die anschließende Wissenserweiterung
- Markante Glieder einer Inhaltserarbeitungskette
 - Im Rahmen der Unterrichtseinheit werden bestimmte Inhaltsbereiche hervorgehoben und vermitteln deutlich zwischen den benachbarten Inhalten
- Schnittmenge zum Verknüpfen von sachlogischen Aussagen einer Sinneinheit
 - Elementarteilchentransfer als gemeinsames Prinzip von Säure-Base- und Redox-Reaktionen (Abb. D32)
- Kollision von Schülervorstellung und Fachaussage
 - Besonders auffallender Unterschied zwischen den mitgebrachten Vorstellungen und den fachlich logischen Aussagen: kognitiver Konflikt mit AHA-Effekt als Lösung
- Häufige Nennungen von Fachaussagen beim Erarbeiten eines Sachverhalts
 - „Vokabel“, die man immer wieder braucht, um sich im Fach argumentativ bewegen zu können
- Befriedigung von „elementaren Bedürfnissen“ und Lösung von „Entwicklungsaufgaben“
 - Fachbeitrag zur Lösung von fachunabhängigen, meist persönlichen Problemen

Das Extrahieren von Wichtigem gegenüber weniger Wichtigem, die Trennung von Prinzip und Beispiel ermöglichen es, im Unterricht verstreut auftretende Inhalte durch eine schematische Zuordnung neu aufeinander zu beziehen. Mit diesem „Knowledge-Mapping“ gelingt viererlei.

Zunächst werden so genannte „Chunks“, also Sinneinheiten geschaffen, die der Leistungskapazität des Arbeitsgedächtnisses entgegenkommen und die synchrone Verarbeitung komplexer Sachbestände erleichtern. Beispielhaft zeigen dies die beiden Übersichten zum Reaktionsverhalten zweier Säuren gegenüber Metallen (Abb. D2). Dem Lehrplan entsprechend, treten diese hier betrachteten Reaktionen über zwei Jahrgangsstufen hinweg in sehr unterschiedlichen Kontexten auf. Für die SchülerInnen ist es schier unmöglich, diese Zusammenschau ohne z.B. schematisierende, also vernetzende Vorleistung der Lehrperson zu erkennen („structural alignment“; Genter, 1989; „Structure-Mapping-Theorie“; Lohrmann, 2010).

Ein zweiter bedeutsamer Effekt dieser Synopse besteht darin, das in der konkreten Unterrichtssituation erworbene Wissen zu generalisieren, es aus seiner lernlogischen Chronologie zu befreien, von der konkreten Lernsituation zu „emanzipieren“, es zu „entkapseln“ (Abb. A22) um es dann in einen vom Lernprozess unabhängigen Zusammenhang stellen zu können und damit leichter transferierbar und sprachlich vital werden zu lassen, etwa zur Flexibilisierung für die Lösung neuer Aufgabenstellungen. Damit können dann Entdeckung von Gemeinsamkeiten, Finden von Prinzipien

(Basiskonzepte³⁹⁰; Tab. C9), Ermitteln von Regeln und das Abstrahieren begünstigt werden.

Vier offizielle Basiskonzepte (NBS Chemie, 16.12.2004)	Acht erweiterte Basiskonzepte (Anton)
1. Stoff-Teilchen-Beziehungen	Stoff-Teilchen-Konzept
	Fachsprachen-Konzept
2. Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	Struktur-Eigenschaft-Konzept
3. Chemische Reaktion*	Donator-Akzeptor-Konzept
4. Energetische Betrachtungen bei Stoffumwandlungen	Energie-Konzept
	Größen-Konzept
	Gleichgewicht-Konzept
	Technik-Konzept

Tab. C9: Gegenüberstellung zweier Basiskonzeptlisten: Links aus den Nationalen Bildungsstandards (NBS), rechts ausgeweitet nach den aufstellbaren Erwartungen im Chemieunterricht vor Ort

Solche Generalisierungen bilden im Idealfall den Schluss oder die Zwischenbilanz nach Durchnahme einer komplexen Unterrichtseinheit (Abb. C32 & C33). Sie beschreiben den induktiven Vorgang der Regelfindung, dem die deduktive Anwendung einer Regel folgen kann.

Wenn möglich, sollten sie auch an den Stundenstoff anschließen und auf die „highlights“ fokussieren, beispielsweise bei der Zusammenfassung nach der Behandlung von sauren Lösungen, Laugen und der Neutralisation.

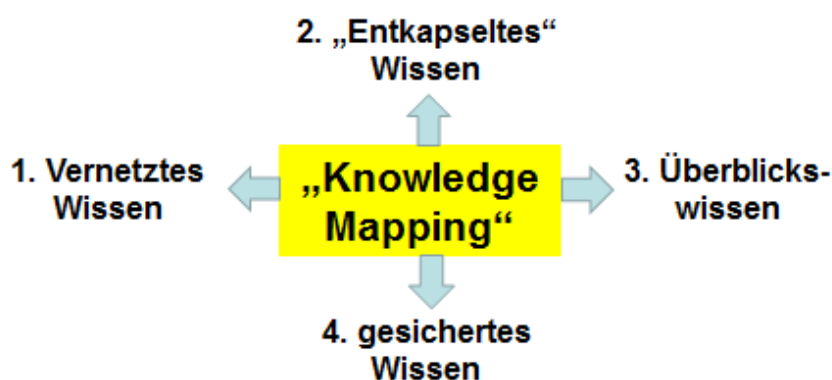


Abb. C32: Übersicht zu den vier Komponenten von konsolidiertem und anwendungsbereitem Wissen, wie es als Unterrichtsziel erreicht werden sollte

³⁹⁰Die Basiskonzepte stellen in ihrer ursprünglich vierteiligen Fassung einen Kompromiss zwischen den Länderkommissionen dar. Es gibt mehrere Beispiele für eine Ausweitung und Ausdifferenzierung in einzelnen Fachdidaktiken. Dasselbe gilt für die Kompetenzmodelle

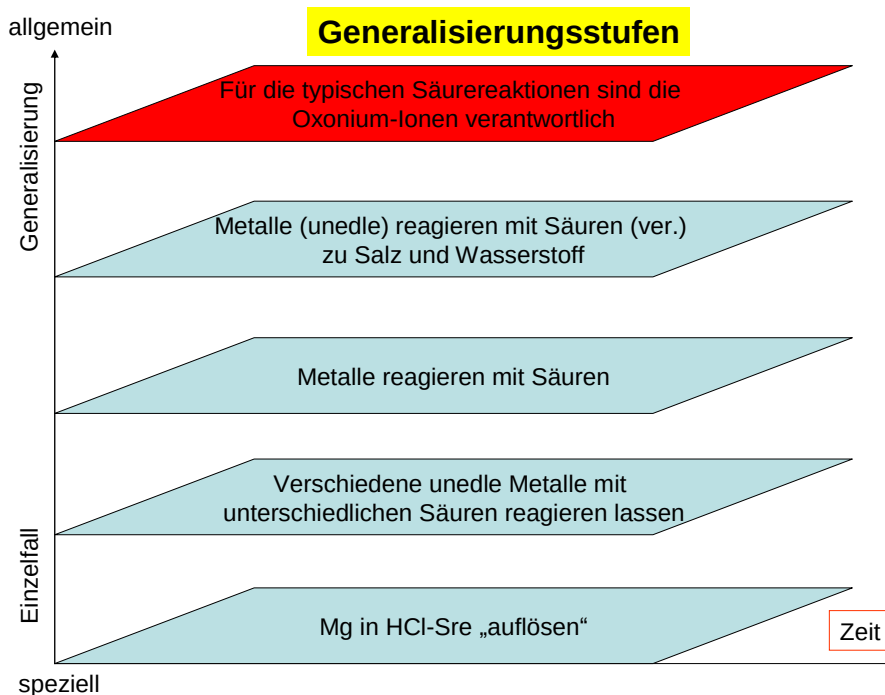
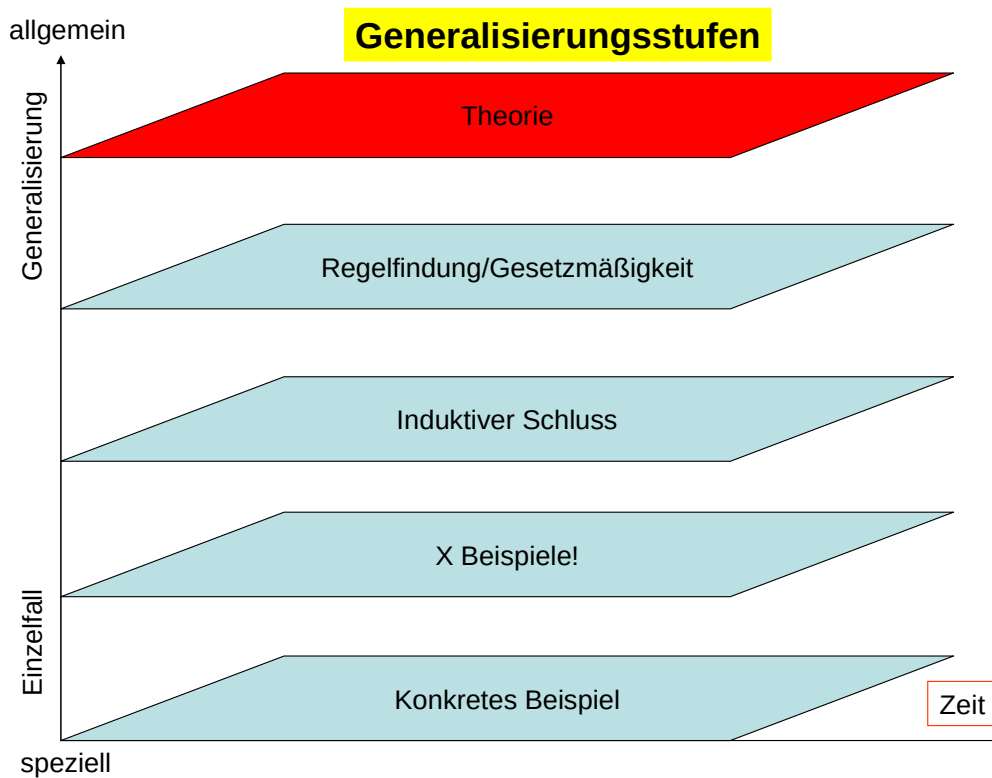


Abb. C33: Ebenen der Generalisierung vom konkreten Beispiel bis zur Herleitung einer Regel bzw. Heuristik (Gigerenzer, 2008). Die Theorie muss sich nicht aus der Gesetzmäßigkeit ergeben; sie kann auch der kreativen Denkweise des Experten entspringen und kann zum Auffinden eines oder mehrerer jeweils postulierter Beispiele führen.

Ebenfalls hilfreich ist eine solche Übersicht z. B. für das sehr unterschiedliche, aber dennoch vergleichbare Verhalten von in Schulversuchen häufig eingesetzten Halogeniden (von Calciumfluorid aus über Natriumchlorid und Kaliumbromid bis zum

Kaliumiodid) gegenüber konzentrierter Schwefelsäure. So entsteht im ersten Fall Fluorwasserstoff nur unter länger wirkender Hitze, im letzten Fall entwickelt sich bei Zimmertemperatur sofort nach Zusammengabe elementares Iod. Dazwischen erfolgt eine deutlich erkennbare Abstufung zwischen Halogenwasserstoff- bzw. Halogendarstellung (Abb. C34)³⁹¹.

Wenn Säuren oxidierend wirken, ... Vom Halogenid über den Halogenwasserstoff zum Halogen

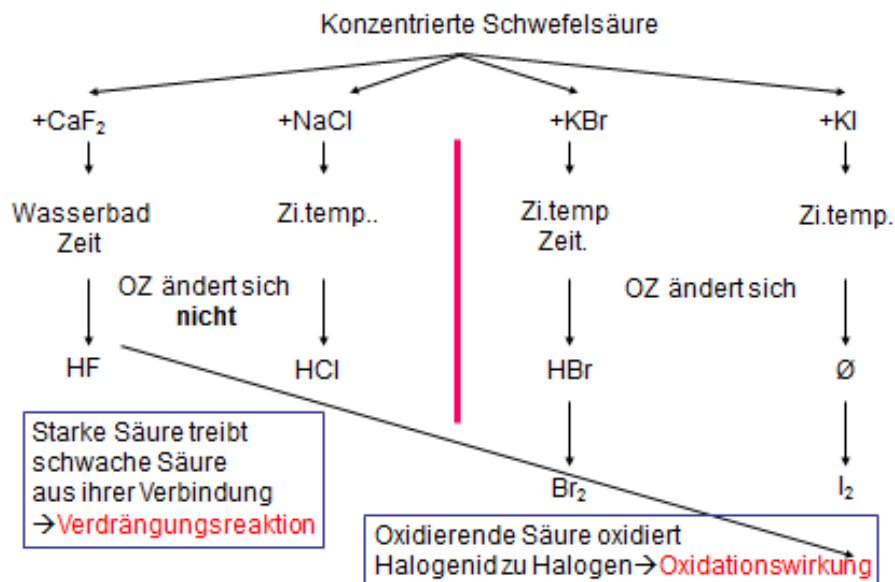


Abb. C34: Darstellung des Übergangs von Säure-Base- zu Redox-Reaktionen

Auch in der Organischen Chemie bietet es sich an, prägnante Zusammenfassungen und schematische Übersichten zu den Begrifflichkeiten anzufertigen, etwa zwischen den Oxidationsstufen vom Alkohol über den Aldehyd zur Carbonsäure und letztlich zum Kohlenstoffdioxid. So erhalten Schüler die Chance, sich aus der Fülle von für sie zunächst gleichwertigen Einzelfakten die entscheidenden Relationen herauszudestillieren (Wagner, 2009a&b). Anhand immer wieder angefertigter Schemata zur übersichtlichen Faktenordnung entsteht ein insbesondere auch innerhalb des Fachs wichtiges Überblickswissen, welches zur Lösung komplexerer Problemstellungen tauglich ist. In Bezug transdisziplinärer³⁹² Fragen lässt es sich dann zu Expertenwissen veredeln.

Und es gibt noch einen vierten Grund, sich mit dieser Unterscheidung „wichtig vs. Unwichtig“ genauer zu beschäftigen. Jeder Lehrkraft ist geläufig, dass Fragen an die SchülerInnen nicht immer ein intensives und umfassendes Meldeverhalten verursachen. Ganz im Gegenteil. Oft muntert auch die Bemerkung „Es macht nichts, wenn etwas falsch oder unvollständig ist!“ nicht weiter dazu auf, sich mit einer Antwort oder einem Antwortversuch hervorzutun. Dabei stellt sich immer wieder heraus, dass es nicht das fehlende Wissen ist, das die SchülerInnen zur Zurückhaltung „zwingt“, sondern dass die

³⁹¹ Solche Übersichten lassen sich auch durch die verfilmte Abfolge entsprechender Versuche rasch und erinnerungsfördernd reproduzieren (Brieger & Nitschke, 2010).

³⁹² „Wissenschaft ist transdisziplinär, wenn Menschen außerhalb der Wissenschaft und Alltagswissen in die Forschungsarbeit einbezogen werden“ (Faltblatt zu „Forschung zum Mitmachen“ des Österreichischen Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Wien, 2006)

Ursache meist nur die Unsicherheit ist. Mangelnde Sicherheit in der Argumentation lässt die Lernenden schweigen und abwarten. Derweil sind Fehler eigentlich Zeichen dafür, dass etwas fehlt. Diese Fehlstellen zu entdecken, ist für die Lehrperson in einer Lernsituation von großer Bedeutung; in der Prüfungssituation sollten solche Zeichen nicht mehr auftreten.

Diese fehlende Wissenssicherheit beruht auf einem fehlenden Überblick und eine erst mangelhaft ausgebildete Anwendungserfahrung. Dabei handelt es sich um logische Konsequenzen einer Unterrichtsführung, die fortgesetzt auf Neudurchnahme und wenig Wiederholung und Festigung setzt. Es bedarf also vieler Festigungsmethoden, die es den SuS ermöglichen, nicht nur wissend, sondern auch sicher wissend zu werden. Eine Möglichkeit, dies zu unterstützen, bietet sich in der Bearbeitung von Fehlersuchbildern. Das Prinzip wurde von Robert Engel (2015, Vortrag beim VCÖ-Kongress in Innsbruck) entworfen und getestet und darauf aufbauend von Heike Nickel (2017, 2018) ausgeweitet. Indem falsche und richtige Situationen, hier aus dem Submikroskopie-Bereich, zeichnerisch angeboten werden, müssen die SchülerInnen, evtl. auch in Gruppenarbeit Fehler finden und diese dann auch begründen. Auf diese Weise gelingt es spielerisch, gerade generiertes Wissen zu konsolidieren und sich als Newcomer sicher zu machen.

D Chemie verstehen durch Strukturierungen

Zur „guten Informationsverarbeitung“ (GIV-Modell nach Pressley et al., 1989; vgl. auch Hasselhorn & Gold, 2006, S. 67) zählen neben Intensität und Qualität auch Strategien. Nach Hasselhorn & Gold (2006) versteht man darunter „Prozesse bzw. Aktivitäten, die auf ein Lern- oder Behaltensziel ausgerichtet sind und die über die obligatorischen Vorgänge bei der Bearbeitung einer Lernanforderung hinausgehen“.

„Lernen ist nämlich vor allem der inhaltspezifische Erwerb und die sinnhafte mentale Repräsentation der Fakten, Konzepte, Relationen und Regeln bestimmter Realitätsausschnitte. Das Wissen als Ergebnis inhaltsbezogener Lernprozesse mit stets begrenzter Verallgemeinerung und Abstraktion der erworbenen Kenntnisse ist zugleich die wichtigste Bedingung für künftiges Lernen innerhalb der gleichen Inhaltsdomäne“ (Weinert, 1994, S. 196-197). Die Strategieentwicklung ist nach Polák (1996) abhängig vom Lerntyp und Lernstil und sie wird modifiziert durch verständnisorientierte, gedächtnisorientierte, kognitive, sozio-emotionale, metakognitive sowie Denk- und Problemlöseprozesse.

„Lernstrategien weisen wenigstens eine zusätzliche akzessorische Eigenschaft auf, indem sie entweder intentional, bewusst, spontan, selektiv, kontrolliert und/oder kapazitätsbelastend sind bzw. eingesetzt werden“ (Hasselhorn & Gold, 2006, S. 90). Solche Lernstrategien zu entwickeln, ist ein überfachliches Unterrichtsziel, welches aber zur Entwicklung einer „strategischen Expertise“ (S. 95) fachspezifisch ausgeformt werden muss. *Vgl. hierzu die Leistungen im Reflexionsfeld!*

Lernstrategien werden häufig mit Lerntypen in Verbindung gebracht, die es ausschließlich, wenn überhaupt, in Mischformen gibt. Sie lassen sich grob charakterisieren nach der Theorie der „Neurolinguistischen Programmierung“ (NLP). Nach ihr unterscheidet man neben den olfaktorischen und gustatorischen Typen vorrangig und grob den visuellen (Lernen mit Bildern, Grafiken) vom auditiven (Lernen in ruhiger Umgebung) sowie vom kinästhetischen Typ (learning by doing) (Kliebisch, 1996, S. 19). Interessant zu wissen ist, „35 Prozent der Menschen bevorzugen den Kanal der visuellen Information und verwenden Ausdrücke wie `Ich sehe, was Sie meinen`, `Können Sie sich das anschauen?`, `Das ist ganz klar` oder `Können Sie mir das zeigen?` und Sie erregen ihre Aufmerksamkeit, indem Sie ihnen Fotos, Tabellen und Grafiken zeigen und fragen, ob sie `sich ein Bild gemacht haben`. 25% bevorzugen den Kanal des Hörens und benutzen Ausdrücke wie. `Da klingelt's bei mir`, `Ich verstehe Sie`, `Das klingt nicht gut` und dass sie mit Ihnen `im Einklang sein` wollen. Die übrigen 40% bevorzugen den Kanal der Gefühle und sagen `Spielen wir einmal mit dieser Idee`, `Unsere Abteilung braucht einen Schuss vor den Bug`, `Ich kann nicht ganz begreifen, was Sie da sagen`“ (Pease & Paese, 2020, S. 179). Dennoch müssen Zweifel an einer unterrichtlichen Orientierung an Lernstilen angemeldet werden, denn in Wirklichkeit ist die Anpassung eines Unterrichts an die Leistungs- und Vorwissensheterogenität der Schüler und Schülerinnen die eigentlich wirksame (Bauer & Asberger, 2022): „Die Berücksichtigung bestimmter Lernendenmerkmale im Unterricht kann den Lerngewinn von Schüler/-innen fördern. Sogenannte Lernstile bzw. -typen gehören nicht dazu, auch wenn Sie dies immer wieder hören oder lesen. Oder wie Hattie (2009) es formuliert: „Learning strategies, yes; enjoying learning, yes; learning styles, no“ (S. 197)“.

Im Zuge des „Problembasierten Lernens“ (PBL) gilt es u.a. auch „Problemlösestrategien“ zu entwickeln³⁹³. Sie lassen sich nach Friedrich & Mandl (1992) in sechs Abschnitte einteilen, wobei der dritte Bereich besondere Beachtung finden soll:

- Selbsterklärung der Aufgabenstellung (Paraphrasierung³⁹⁴)
- Informationssuche in der Aufgabe (Fokussierung)
- Zerlegung in Teilschritte (Elaboration als Diskriminierung)
- Aktivierung des Vorwissens
- Skizzierung (Visualisierung)
- Lösungsnachvollzug (Verifizierung)

Sollen solche Lernstrategien beim Schüler ausgebildet werden, bedingt dies auch definierbare LEHRstrategien, die sich im guten Unterricht manifestieren müssen!

In seinem Buch „Five Minds of the Future“ beschreibt der amerikanische Psychologe Howard Gardner („multiple Intelligenzen“) fünf Fähigkeiten, Einstellungen und Haltungen („Minds“ hier gleichgesetzt mit „Intelligenzen“), die im 21. Jahrhundert überlebensnotwendig sein werden (Gardner, 2008, zit. nach Hoyer et al., 2013, S. 75): „strukturierende, systematisierende, kreative, respektvolle und ethische Intelligenz“³⁹⁵. Die Fähigkeiten zur Strukturierung, zur Clusterung und Ordnung, zur Systematisierung und zur Herstellung von Beziehungen sind auch wesentliche Kriterien für den Aufbau von Unterricht, ganz besonders in den naturwissenschaftlichen Fächern.

Sinnentsprechend formulieren Fischer et al. (2015) als eine von drei Ebenen, auf denen Unterrichtsentwicklung stattfindet: „Auf der Unterrichtsebene werden zunehmend die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler und das Handeln der Lehrpersonen durch den Unterricht strukturierende Maßnahmen organisiert“ (S. 406).

Unter Bezugnahme auf Jerome Bruner und dem von ihm verfassten Bericht zur Tagung „The Process of Education“ (1960) postuliert Roeder (2002) die „Notwendigkeit, möglichst früh über fundamentale strukturierende Prinzipien eines Faches zu unterrichten“ (S. 9). Analog schlussfolgern Steffens und Höfer (2015) aus ihrer Analyse und Kommentierung der Hattie-Studien: „Für ein anregungsreiches Lernklima ... kommt es vor allem auf angeleitete Lernprozesse an, und zwar in Form von gut strukturierten Erklärungen ...“ (S. 218).

Aus einer Untersuchung des MPI für Psychologische Forschung München an Grund- und Hauptschulklassen im Fach Mathematik hinsichtlich Leistungszuwachs und Leistungsstreuung ging u.a. hervor: „Unterricht in den Optimalklassen ist durch drei zentrale Faktoren gekennzeichnet: Instruktionsintensität (Abb. D1), Adaptivität und Verzicht auf geschwindigkeitsbetonte Leistungsanforderungen³⁹⁶. Daneben stellten sich effiziente Klassenführung, Klarheit in der Lehrerdarstellung, diagnostische Sensibilität und eine positive affektive Lehrer-Schüler-Beziehung als Charakteristika heraus“ (Helmke, 1988).

³⁹³ „Ein Problem zu lösen, bedeutet einfach, es so darzustellen, dass die Lösung erkennbar wird“ (Herbert A. Simon)

³⁹⁴ Sachliche Wiederholung einer empfangenen Nachricht/Botschaft

³⁹⁵ „disciplined“, synthesizing, creative, respectful, ethical mind“ (* dahinter steckt: „Beherrschung einer konkreten, grundlegenden Fachdisziplin“). Zudem spricht man auch von den „21st century skills“ bzw. den „4K-Kompetenzen“: Kommunikation, Kollaboration, Kritisches Denken, Kreativität (Weisbrodt, 2022)

³⁹⁶ Andreas Gold, Prof. für Päd. Psychologie an der Uni Frankfurt spricht von der „**Langsamkeitstoleranz**“ des Lehrers und von den vier Dimensionen guten Unterrichts: Zum Denken anregen (kognitive Aktivierung), Hilfestellungen, Rückmeldungen und Ermunterungen geben (konstruktive Unterstützung), ständige Lernfortschrittsmessungen und störungspräventive Form der Klassenführung (www.didacta-bildungsklick.tv)

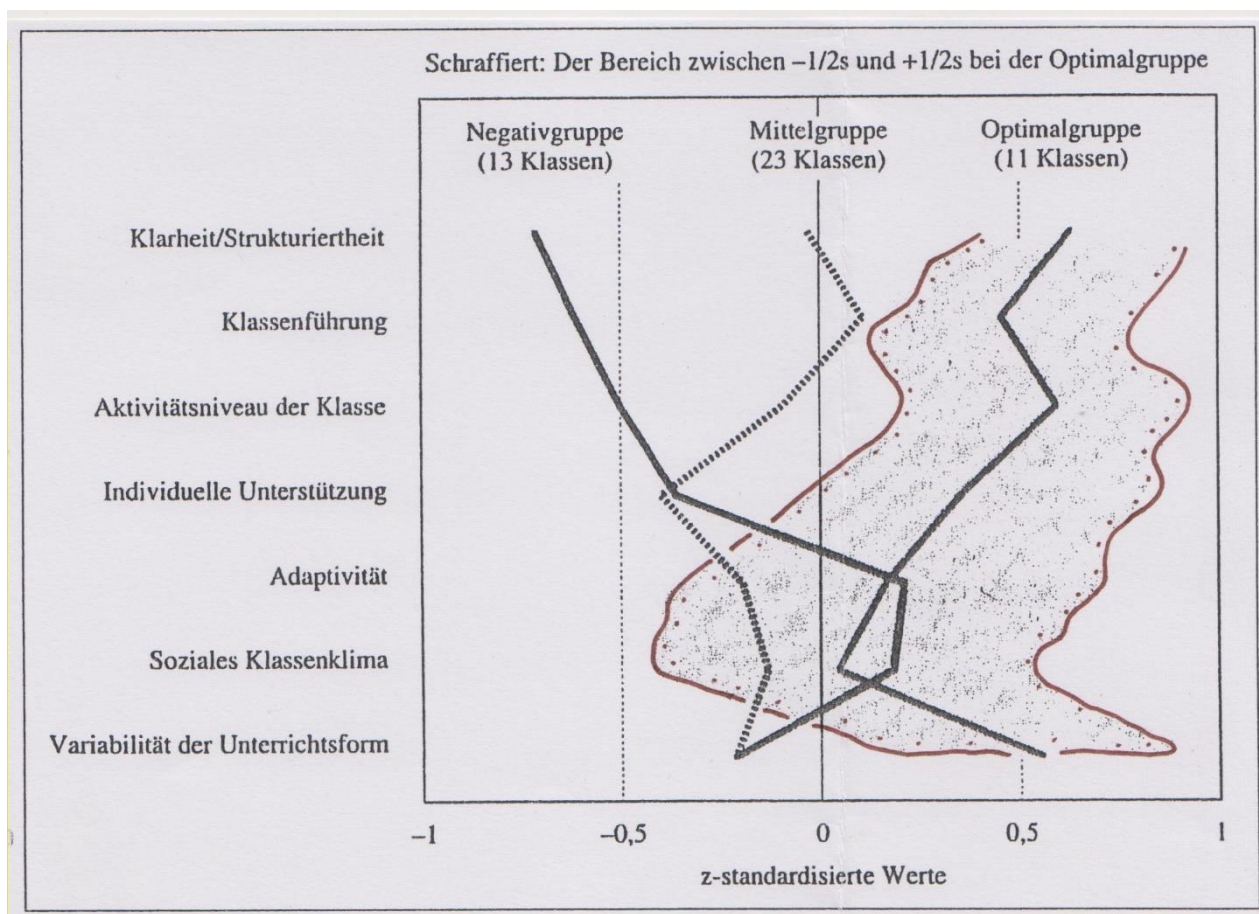


Abb. D1: Schematische Darstellung der Ergebnisse aus einer MPI-Untersuchung bei Grund- und Hauptschulschülern im Fach Mathematik (1986). Es konnte festgestellt werden, dass sieben Unterrichtsmerkmale bei drei unterschiedlich erfolgreichen Gruppen von Lehrern (Grafik aus: Weinert & Helmke, 1996; Terhart, 2005) hervortreten. Optimalgruppe: Klassen mit überdurchschnittlichem Leistungszuwachs und ebensolcher Verringerung der Leistungsstreuung. Negativgruppe: Klassen mit unterdurchschnittlichem Leistungszuwachs bei Vergrößerung der Leistungsstreuung. Das Merkmal „Strukturiertheit“ zeichnet besonders die „Optimalklassen“ aus.

Beim „Alleinstellungsmerkmal“ ‚Strukturierung‘ unter der Voraussetzung einer sehr ausgeprägten Diagnosekompetenz der Lehrkraft handelt es sich nicht um eines, das Unterrichtsqualität garantiert. Es tritt jedoch in fast allen untersuchten Unterrichtsstunden auf, deren Qualität als besonders hoch einzuschätzen ist (Martschinke, 1995; Anton, 1998b; Meyer, 2004; Helmke, 2009). Überdies wird es schon 1828 von Förstemann gefordert. Er „verlangt bereits eine Strukturierung des Lehrstoffs, der die Grundlagen der Wissenschaft deutlich macht“ (zit. aus Schmitz-Wallrafen, 2003, S. 80). Etwa 150 Jahre später erkennt Bruner: „zur erfolgreichen Gestaltung von Lernprozessen ist eine Strukturierung des Lehrstoffes unabdingbar“ (S. 80). Hinter dem Begriff „Strukturierung“ steckt die Fähigkeit, Begriffe, Dinge, Prozesse unterscheidbar zu machen und diese dann kriterienabhängig neu zu ordnen. („Nur, was sich unterscheidet, kann sich ergänzen“.) Dann erst gelingt eine Systematisierung. So können sich aus einer Fachsystematik, wie sie sich im Fach Chemie sehr prägend auswirkt, eine didaktisch orientierte Lehrsystematik sowie eine mathematisch orientierte und individualisierte Lernsystematik entwickeln. Diesen Prozess fachspezifisch zu gestalten, auf Lehrplan, Schulart und Jahrgangsstufe hin abzustimmen, stellt eine hochspezifische Aufgabe der Chemiedidaktik dar!

Strukturierungshilfen sind dann wirkungsvoll, wenn sie auf der richtigen Einschätzung der Könnensleistung der SchülerInnen beruhen (Schrader & Helmke, 1987) und damit in engem Zusammenhang

a) mit der 'Diagnosekompetenz' des Lehrers³⁹⁷ stehen (Schrader, 1997; Kretschmann, 2003) sowie

b) mit seiner, der Lehrkraft(sic!) „Lernkompetenz“ (Ruffo, 2013): „I have never really found it difficult to explain basic laws of nature to children. When you reach them at their level, you can read in their eyes their genuine interest and appreciation. Actually, I have always been amazed at the questions that children ask about science“ (Albert Einstein, zit. aus: Hilscher, 2005, S. 27).

Aktueller findet sich bei Roth (2017) die Strukturierung als eines von sechs Kriterien für den Lernerfolg:

- „a) Persönlichkeit des Lehrenden,
- b) Aufmerksamkeit,
- c) Anschlussfähigkeit des Stoffes,
- d) Motivation und Belohnungserwartung,
- e) Vielfalt der Unterrichtsmethoden sowie Strukturierung des Unterrichts,
- f) Fleiß und Wiederholung“ (S. 331).

Zieht man aus diesen und vergleichbaren Untersuchungen die entsprechenden Folgerungen für die Unterrichtspraxis, so scheint es für „gelingende Lernsituationen“ als „Bedingung für erfolgreichen Unterricht“ (Marohn et al., 2016), S. 2) aus mathetischer Sicht sehr nützlich zu sein, wenn sich die Lehrkraft vornehmlich um dessen Strukturierung sowohl im Ablauf (Lernprozessstrukturierung) als auch im Bereich der Darstellung seiner Inhalte (Lerninhaltsstrukturierung) bemüht (Teml & Teml, 2006; Rakoczy, 2007; Anton, 2012c) und damit der „Konzeptverständnissentwicklung“ („Learning Progressions“³⁹⁸) (Marohn, et al., 2016) Vorschub leistet. Strukturierung begünstigt das Verstehen, also das Herstellen von Beziehungen. Solches Überblickswissen stellt wiederum eine wesentliche Voraussetzung für divergentes Denken dar, also für Kreativität, mit der problemlösendes Denken besser gelingen kann (Haim & Aschauer, 2022).

In einer Untersuchung zum „Pädagogischen Wissen von angehenden Lehrkräften“ weisen König und Blömeke (2009) nach: „Das Wissen zu den beiden didaktischen Anforderungen Strukturierung von Unterricht und Umgang mit Heterogenität auf der einen Seite sowie das Wissen zu den beiden pädagogisch-psychologisch geprägten Anforderungen Motivierung und Leistungsbeurteilung (...) hängen untereinander erwartungsgemäß jeweils am stärksten zusammen“ (S. 521)

In Abb. D1 findet sich noch ein umrandetes Feld um die Kurve der Optimalgruppe. Es entsteht als Antwort auf die Frage, welche Qualitäten die Lehrkräfte aufweisen, welche solche Optimalklassen generieren. Für diese LehrerInnengruppierung gibt es (leider!) keine einheitliche Eigenschaftsbeschreibung. Daraus lässt sich mit Vorbehalt schließen, dass hier nicht nur bestimmte Kombinationen von Persönlichkeitsmerkmalen in Frage kommen, welche individuell und unverfälscht für das Entstehen besonders zuträglicher Unterrichtssituationen verantwortlich sind. Vielmehr könnten hier

³⁹⁷ „... ist der Lernerfolg der Klasse dann am größten, wenn eine hohe diagnostische Kompetenz mit einer hohen Häufigkeit von Strukturierungshilfen einhergeht“ (Schrader & Helmke, 1987, S. 46)

<http://www.isb.bayern.de/isb/download.aspx?DownloadFileID=93bcd2664be03b25ccf2032b1e260eb0>

³⁹⁸ Unter 'Learning Progressions' werden empirisch validierte Modelle des Lernens in einer bestimmten Domäne über einen gewissen Zeitraum hinweg verstanden. Sie gelten als „Instrument, um Kohärenz zwischen Standards, Unterricht und Assessment herzustellen“ (Neumann & Parchmann, 2016)

LehrerInnenpersönlichkeiten im Spiel sein, die „echt“ sind³⁹⁹, mit denen zielgerichtet und talentiert, junge Menschen geführt, angeleitet und begeistert werden können, die zugleich kompetenzwirksam sind und auf vorbildliche Weise nachhaltigen Einfluss ausüben. „Dies bedeutet, dass ein Lehrender in der Regel nur dann vertrauenswürdig, kompetent und feinfühlig wirken kann, wenn er *dies tatsächlich ist*“ (Roth, 2017, S. 327).

Die Streuung bei der Optimalgruppe (Abb. D1) entsteht vielleicht deshalb, weil dieses „best of“ auf sehr unterschiedliche Weise erreicht werden kann. Für die LehrerInnenbildung bedeutet das, dass LehrerInnenbildner die geeigneten und doch sehr unterschiedlichen Persönlichkeiten entdecken und sehr individuell fördern müssen! Dennoch lässt sich feststellen, dass diese Lehrpersonen durch zwei Qualifikationen besonders gekennzeichnet sind. Sie weisen eine sehr hohe Diagnosekompetenz auf und besitzen ein ausgesprochen umfangreiches Repertoire an Strukturierungshilfen, welche sie in Ihrem Unterricht sehr gezielt und differenziert einsetzen (Tab. D1).

Diagnosekompetenz und Strukturierungshilfen

Diagnostische Kompetenz ... als empathische Voraussetzungen	Strukturierungs- hilfen	Lernerfolg	Interpretation
deutlich ausgeprägt	sehr häufig	sehr hoch	Sehr gezielte Anwendung zahlreicher Möglichkeiten
deutlich ausgeprägt	sehr wenig	sehr gering	Es fehlt die Fähigkeit <i>und/oder die Motivation</i> zur Strukturierung
gering	• willkürlich • ohne Einfluss	niedrig	Ein gezielter Einsatz ist nicht möglich

Tab. D1: Vgl. Schrader, F.-W.; Helmke, A. (1987), Tabelle zum Text, S. 46 (verändert)

Nach Csikszentmihalyi (2014) ließe sich die Vermutung formulieren, wonach es sich bei dieser LehrerInnengruppierung um „autotelische Persönlichkeiten“ (S. 118) handelt mit hoher Aufmerksamkeitssteuerung und der ausgeprägten Fähigkeit zum „flow“. „Der Begriff (*autotelische Persönlichkeit*) bezeichnet wörtlich `ein Selbst, das sich selbst die Ziele setzt´, und er spiegelt den Gedanken wider, dass ein solches Individuum relativ wenige Ziele hat, die nicht dem Selbst entstammen. ... Die Hauptziele eines autotelischen Menschen entspringen der Erfahrung⁴⁰⁰, wie sie in seinem Bewusstsein (*auf der Basis seiner Professionalität* (d. Verf.)) eingeschätzt wird, und daher dem eigenen Selbst“ (S. 274).

³⁹⁹ „Neben einer langfristigen Überprüfung der Vertrauenswürdigkeit, Kompetenz und Feinfühligkeit im Rahmen des Umgangs von Lehrenden und Lernenden gibt es eine kurzfristige Überprüfung, die überwiegend auf dem Erfassen von Mimik, Gestik, Stimmführung und Körperhaltung beruht. Diese non-verbalen Kommunikationsweisen werden bei Lehrenden und Lernenden überwiegend unbewusst von der im limbischen System des Gehirns verankerten Persönlichkeit gesteuert und sind willentlich nur durch extensives Training zu beeinflussen (...). In der Regel offenbaren sie die Persönlichkeit des Lehrenden in ziemlich ehrlicher Weise“ (Roth, 2017, S. 327). Eine Kleinuntersuchung zum bewussten Einsatz findet sich in der Masterarbeit am IDC, Uni Wien von Lehner, 2023

⁴⁰⁰ „Erfahrung ist das, was man zu haben glaubt, bevor man mehr davon erwirbt“ (Dan Bennett)

D 1 Chemierelevante Strukturierungsfelder

Strukturierungen unterstützen das „induktive Denken“ (Klauer, 2014) als Intelligenzleistung, indem sie dessen sechs Kernaufgaben aufgreifen und diese im vorliegenden Fall fachspezifisch wirksam werden lassen können:

- Generalisierung (Gleichheit von Merkmalen erkennen),
- Diskriminierung (Verschiedenheit von Merkmalen erkennen),
- Kreuzklassifikation (Gleichheit und Verschiedenheit von Merkmalen erkennen),
- Beziehungserfassung (Gleichheit von Relationen erkennen),
- Beziehungsunterscheidung (Verschiedenheit von Relationen erkennen) und
- Systembildung (Gleichheit und Verschiedenheit von Relationen erkennen) (vgl. Klauer, 2104, S. 7).

Hervorzuheben ist, dass sich die Strukturierung nicht ausschließlich auf den Inhalt beschränkt, sondern ebenso auf die Denkleistung und die Interaktionsgestaltung des Unterrichtsprozesses ausgedehnt werden muss. Einsiedler und Hardy (2010) sprechen von „Kognitiver Strukturierung“ als „prozessorientierte Unterstützung individueller Wissenskonstruktionen“ (S. oA.). Solche „soft scaffolds“ und „hard scaffolds“ [Vgl. auch Kleickmann et al., 2010] gehen „einher mit hoher diagnostischer Kompetenz der Lehrkraft (und größerem Lernerfolg der Schüler)“ (S. 46). Vgl. auch Schrader und Helmke, (1987).

Im Fach Chemie lassen sich hierzu „Strukturierungsfelder“ unterscheiden, welche vielseitig gestaltbar sind (Anton, 2013, 2017) (Abb. D2).

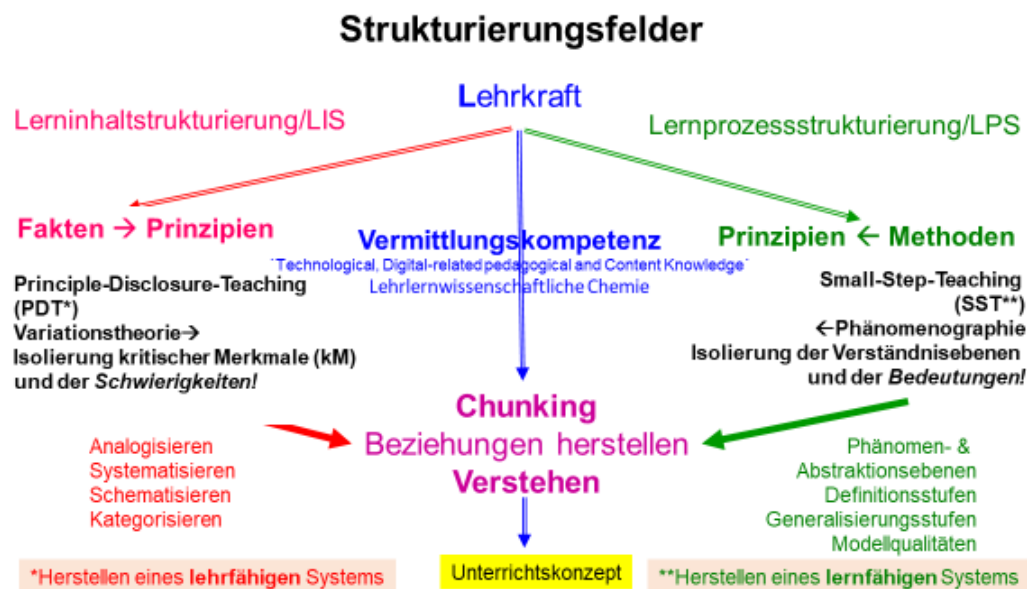


Abb. D2: Ausgewählte Bereiche, innerhalb derer sich explizite Strukturierungen anbieten (Unterrichtsfelder, Übersichten zu Stoffeinheiten, AO, Beziehungen zwischen ausgewählten Lerngegenständen, PDT, Klärung von Bedeutungen eines LG für LernerInnen, SST).

In den folgenden Kapiteln sollen die einzelnen Strukturierungsfelder mit Beispielen belegt werden. Dabei gilt es, bei den jeweiligen Planungsarbeiten von Unterricht nach geeigneten Stellen zu suchen, um den SchülerInnen Strukturierungsvorgaben zu machen und sie explizit auf dieses didaktische Werkzeug hinzuweisen. Gute Lehrpläne berücksichtigen solche Optionen, etwa dadurch, dass sie den Umfang der Inhalte reduzieren und auf das „Enthüllen“ von Prinzipien oder das kleinschrittige Entwickeln von Lehr- und Lernschritten abheben, und zwar zugunsten von nachhaltigen Lernerfolgen als Verstehensleistungen.

Nach dem Philosophen und Pädagogen Helmut Zöpfl (1967) verhält es sich so, „daß *nicht die Menge des Wissens, sondern die gültige Ordnung des Wissens* entscheidet. Der Mensch soll an besonderen Fällen lernen, größere Zusammenhänge zu sehen. Er soll erkennen, wie das Einzelne zum Ganzen in Bezug steht und wie er sein Wissen auszurichten hat“ (S. 96).

Beispielhaft sollen nun die vier Hauptbereiche der Strukturierungen vorgestellt und an Beispielen erläutert werden. Die „Unterrichtsfelder wurden unter C2.1, S. 237) ausführlich dargestellt. Es folgen nun „Advance Organizer“, die Lerninhaltstrukturierung mittels „Principle-Disclosure-Teaching“ (PDT) auf Basis der „Variationstheorie“ (D1.2) sowie die Lernprozessesstrukturierung in Form des „Small-Step-Teaching“ (SST) im Kontext der „Phänomenographie“ (D1.3).

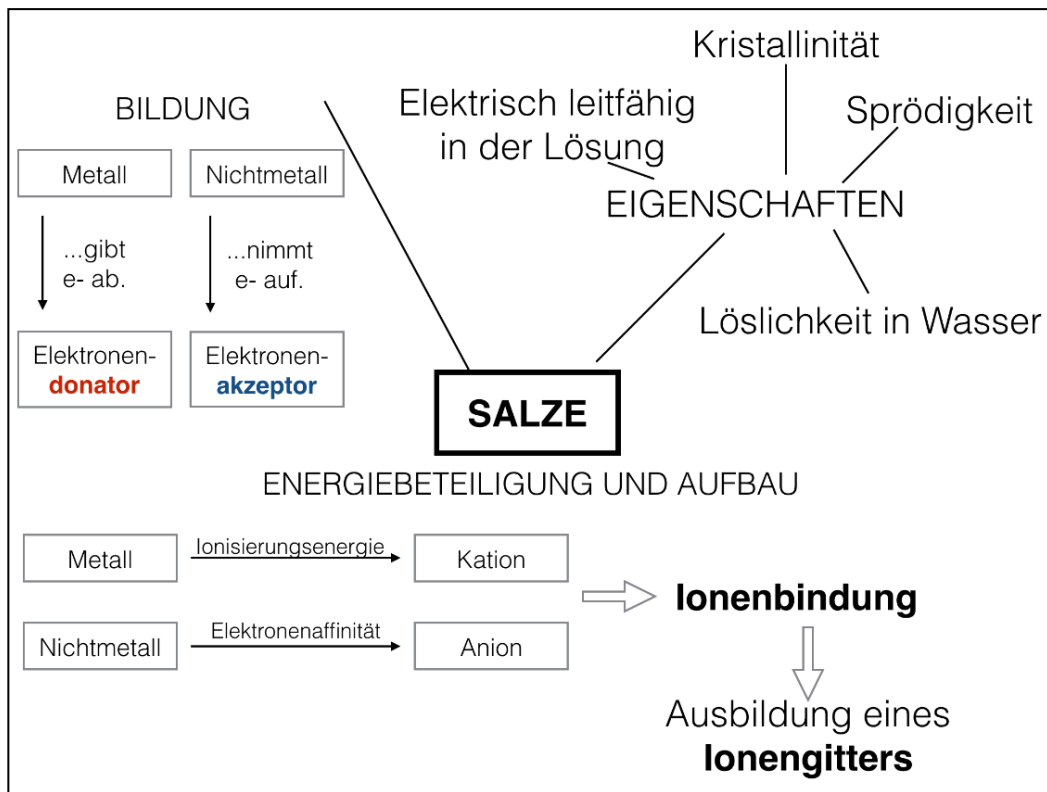
D 1.1 `Advance Organizer`

Eine programmatische Vorschau auf die kommenden Lerninhaltelemente („Advance Organizer“, AO) hat neben vielen anderen Vorteilen auch den einer „Mitmachverpflichtung“. Wissen SchülerInnen im Normalfall nicht, was jeweils in den Stunden aufeinander folgen wird, so können sie sich jetzt in die Stoffbehandlung einbringen, wenn sie das Programm kennen. Das hat nichts zu tun mit dem berüchtigten „Vorlernen“. Vielmehr unterstützt es die „Ko-Konstruktion“ beim Lernprozess; es entlastet die Lehrkraft und macht die gemeinsamen Lehr-Lern-Erfolge sichtbar⁴⁰¹. Es verdeutlicht aber auch die abgeschlossenen Lehr-Lern-Leistungen und schafft klare Verhältnisse bezüglich des vorauszusetzenden Wissens. Damit verpflichtet es die SchülerInnen, sich nach explizitem Abschluss einer Unterrichtseinheit selbst um die Behebung von Lerndefiziten zu kümmern und damit nicht den fortschreitenden Unterricht zu belasten.

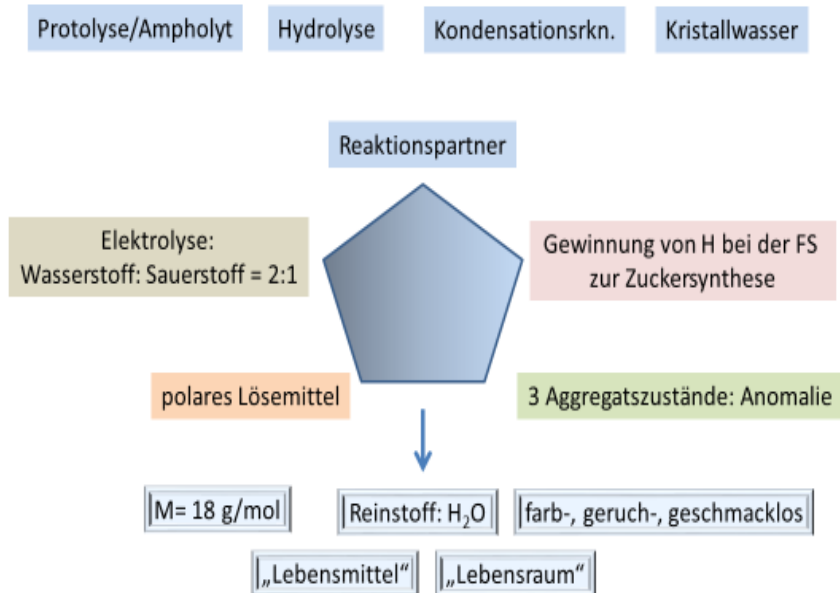
Advance Organizer können in unterschiedlicher Form abgefasst und verbildlicht werden. Beispielsweise als Gliederung, als Schema mit Ausschnitten der Stoffeinheit, als Begriffsliste etc. (Abb. D3). Sie können aber auch als Lernposter rückwirkend sukzessive ergänzt oder in Form fertiger Poster fortschreitend inhaltlich „abgehakt“ werden.

Am Ende der Unterrichtssequenz eignet sich ein solches „Kompodium“ zur Vorbereitung auf Prüfungen. Dabei kann es in seinen Grobüberschriften wieder vertieft und detailliert aufgedröselt werden. Wichtig ist stets, dass der Überblick und die Orientierung erhalten bleiben!

⁴⁰¹ In einem Zitat von Prof. Dr. mult. Wasilios Fthenakis, Präsident des Didacta Verbandes finden sich die folgenden zukunftsweisenden Aussagen: „In 30 Jahren sind Lehrer ... genauso wichtig wie heute. Ihre Rolle wird sich aber radikal verändert haben. Sie werden nicht mehr lehren, vielmehr werden sie zusammen mit den Schülern und mittels neuer Technologien den Bildungsprozess ko-konstruieren. Gemeinsam mit den Kindern werden sie Probleme lösen. Sie werden Mit-Lernende sein. Ihre Beziehung zu den Schülern wird im direkten persönlichen Austausch bestehen, aber auch in hohem Maß digital organisiert sein“ (didacta 10 (2018) 1, 43)



Das Wasser



Die Luft

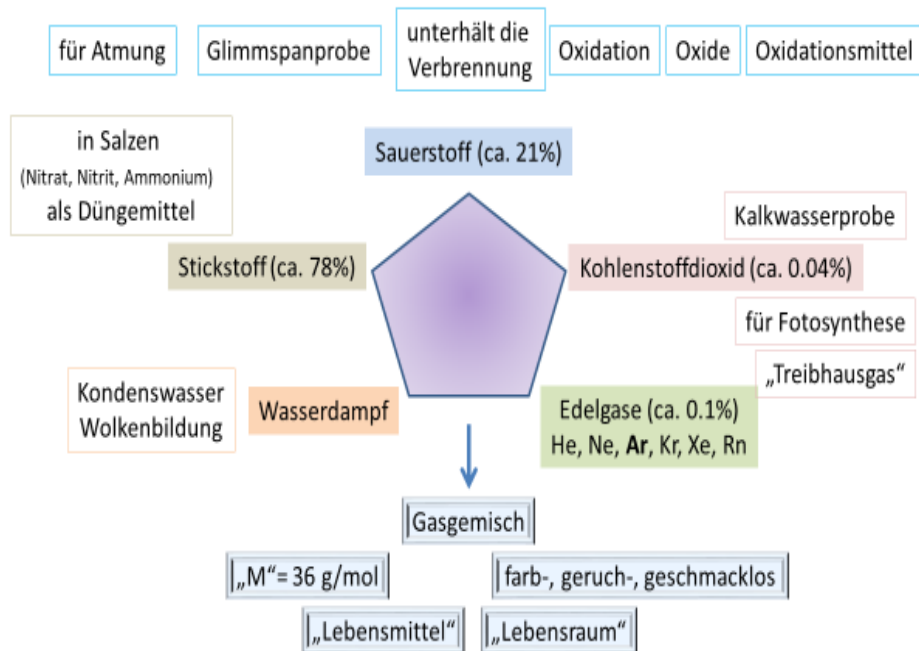


Abb.: D3: Beispiele eines AO zum Thema „Salze“ (aus Hartmann, 2017, S. 189), zu den Themen „Wasser“ und „Luft“ sowie ein Beispiel für die Überschneidung von AO und Lernposter (s.u.)

Chemische Bindungen

Metallbindung

Atomrümpfe/Kationen
Freibewegliche Elektronen
(„e⁻-Gas“)
(ungerichtet)

Ionenbindung*

Anionen/Kationen
Elektrostatische Anziehung
(ungerichtet)

Atom-, Kovalente Bindung*

Gemeinsame Elektronenpaare
Polarität bei Elektronegativitäts-
unterschieden / EPA-Modell
(gerichtet)

Koordinative oder „dative“ Bindung:
Ein bindendes Elektronenpaar stammt
von einem Bindungspartner

Elektronenabgabe

Linke Seite
des (gekürzten) PSE
Nebengruppenelemente

Elektronenübergabe

zwischen linker & rechter Seite
des (gekürzten) PSE

Elektronenzentrierung

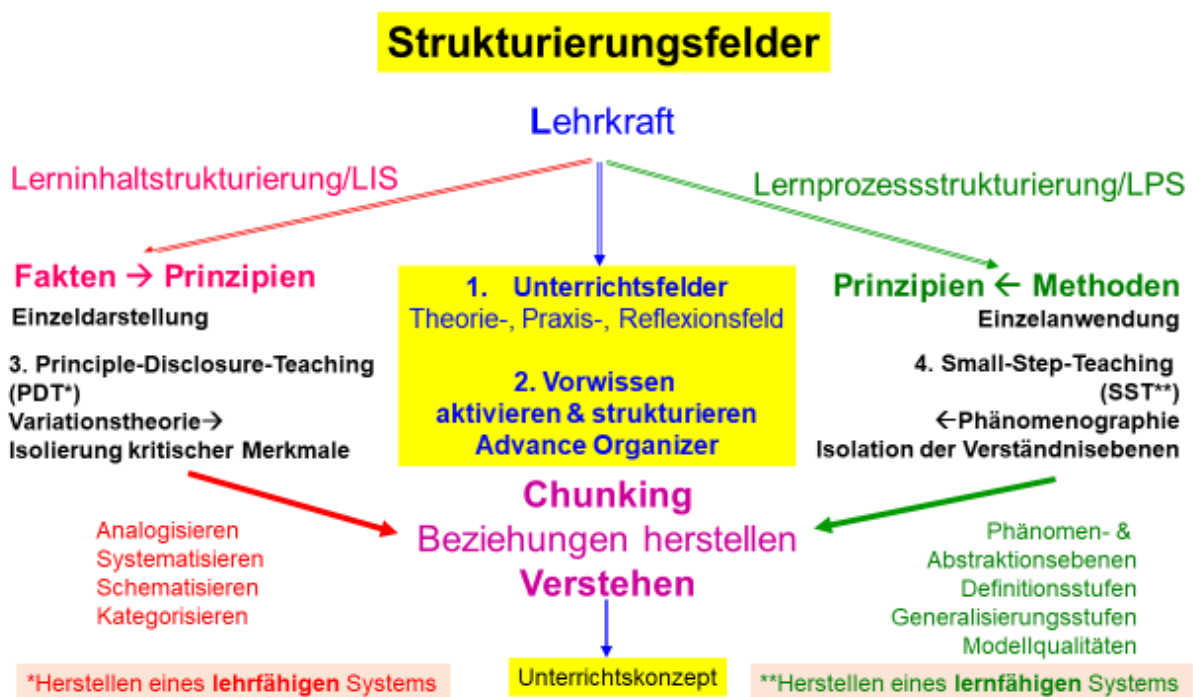
Rechte Seite
des (gekürzten) PSE

„Chemie ist die Verwaltung des Elektronenmangels“ (R. Hoppe)

**Die Natur der Bindung wird definiert über den niederenergetischsten Zerfall der Verbindung.
Erfolgt er z.B. heterolytisch, so handelte es sich um eine Ionenbindung oder um eine dative Bindung,
ist er homolytisch, so war es eine kovalente Bindung.*

D 1.2 Lerninhaltsstrukturierung

Welche Möglichkeiten für die Strukturierung von Inhalten bieten sich an? (Vgl. Abb D4). Während des Fachstudiums erlebt man die Ordnung der Wissensgebiete (Anorg., Organ. Chemie, Physikalische und Lebensmittel-, Biochemie ...) in Form einer Fachsystematik. Sie hat sich viele Jahre lang in der Anordnung der Schwerpunkte in Lehrplänen und Schulbüchern gespiegelt. Mit der Einführung von Kompetenzmodellen und insbesondere von Basiskonzepten war es plötzlich möglich, sich von der Fachsystematik zu emanzipieren. Das Struktur-Eigenschaft-Konzept war mit Beispielen aus der Gruppe der Alkane ebenso zu behandeln wie mit Hilfe von anorganischen Molekülen. Um eine damit verbundene Willkür nicht zu unterstützen, werden neue Ordnungsmechanismen nötig. Hierzu bieten sich ausgewählte Strukturierungsformen an.

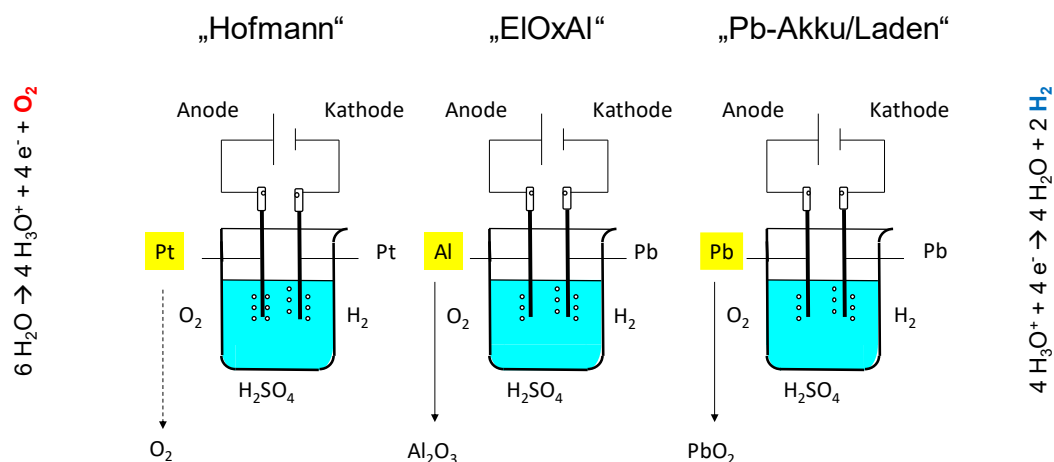


Lerninhalte dürfen nicht nur berichtet werden, sie müssen unterrichtet werden. Hierzu ist es erforderlich, dass sie zunächst überschaubar isoliert, dann typisch charakterisiert und eindeutig identifizierbar gemacht werden. Hierzu dienen die „Didaktischen Präparationen“ (Didaktische Vereinfachung, Didaktische Reduktion, Didaktische Transformation, Didaktische Rekonstruktion). Sie beschreiben „Vorgang und Ergebnis jener Veränderung, der ein Gegenstand im Hinblick auf seine Lehre unterworfen werden muß, damit er Schülern mit einem bestimmten Auffassungsniveau ohne Verfälschung verständlich gemacht werden kann“ (Kl. Lex. d. Päd. u. Did., 1976). Noch etwas detaillierter findet sich eine Definition von „Didaktischer Vereinfachung“ bei Hering (1958): „Die didaktische Vereinfachung einer wissenschaftlichen Aussage ist der Übergang von einer (in die besonderen Merkmale des Gegenstandes) differenzierten Aussage zu einer allgemeinen Aussage (gleichen Gültigkeitsumfanges über den gleichen Gegenstand unter gleichem Aspekt)“.

In dieser prägnanten Formulierung entdeckt man Begriffe, die in einer wenig bekannten Theorie zur Aufbereitung von Lerngegenständen LG) zum Wesentlichen gehören. Hierbei handelt es sich um die „Variationstheorie“ von Lo, 2015, Marton &

Booth, 1997; Abb. D4). Sie ist erst vor wenigen Jahren durch Veröffentlichungen bei uns bekannt geworden und entstammt einer hundertjährigen chinesischen Tradition (Hongkong) zur Verbesserung von Unterricht. Mit ihr lässt sich auf der didaktischen Seite der Inhaltsaufbereitung für den Unterricht eine Systematik anwenden, welche im Zusammenspiel mit der mathetischen Vorbereitung den Lehrgegenstand noch besser lehrbar macht.

Aspektbetonung



Nur der Kritische Aspekt „Anodenmaterial“ variiert! Pt, Al, Pb sind „kritische Merkmale“

Variationstheorie (VT)

(Lo, 2015)

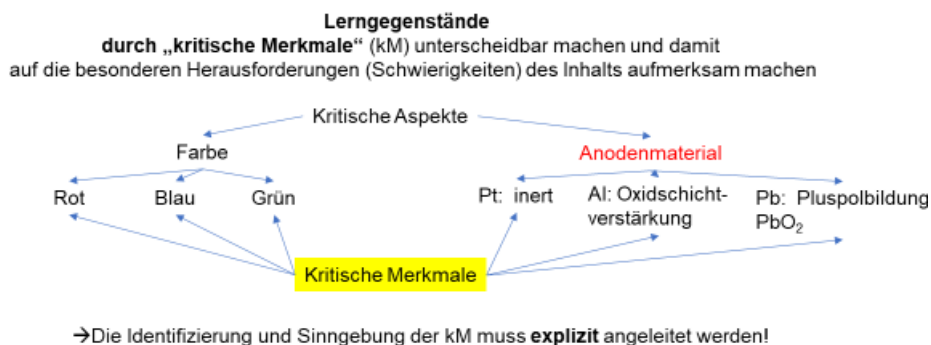


Abb. D4: Mit der Variationstheorie werden Lerngegenstände anhand kritischer Aspekte (Farbe) mit ihren jeweiligen kritischen Merkmalen (blau, grün etc.) betont unterscheidbar gemacht. Im obigen Beispiel geht es um die Unterscheidung von Elektrodenmaterialien (kritische Aspekte) bei der Elektrolyse von Schwefelsäure mit unterschiedlichen Zielsetzungen (kritische Merkmale)

Grundlage dieser Theorie ist die systematische didaktische Auseinandersetzung mit lehrplanrelevanten Lerngegenständen unter variierenden Perspektiven, um diese in ihren direkten (LG per se: Faktum) und indirekten (LG als Mittel zum Prinzip Erkennen: Funktion) ...Effekten mathetisch unterscheidbar, also lehr- und lernbar zu machen⁴⁰².

Mit der VT werden der systematischen Beschäftigung mit dem

- WIE des Lernens (Methodik) nicht nur das
- WAS des Lernens (LGd), sondern auch das
- WARUM des Lernens (LG_i, Kompetenz) eines LG ...gleichwertig zur Seite gestellt.

Einzelne Merkmale eines Lerngegenstands können sogenannten Variationsdimensionen (=kritische Aspekte) zugeordnet werden. So subsumiert der kritische Aspekt „Farbe“ alle möglichen Einzelfarben als „kritische Merkmale“ oder: Die Variationsdimension „Chemische Gerätschaften“ beinhaltet z.B. Erlenmeyerkolben, Liebig-Kühler etc. als „kritische Merkmale“. Auch hier zeigt sich erneut, dass diese Abläufe des Erkennens von kM keine automatisierte Leistung bzw. Erkenntnis der LernerInnen sein können. Da in dieser Entwicklungsphase die Fähigkeit zur Reflexion, die metakognitiven Qualitäten des Denkens noch nicht ausgeprägt belastbar sind, muss den LernerInnen ihr Könnensstand per Feedback zurückgespiegelt werden. Der Unterricht muss explizite Muster beinhalten, die es den Lernenden ermöglichen, den Erkenntnisfortschritt bewusst zu erleben. Letztlich kann dann damit gerechnet werden, dass die Entwicklung von Lernstrategien konsolidiert und so in die eigene Hand genommen wird.

Hinsichtlich des Einsatzzieles der VT unterscheidet man den direkten Lerngegenstand (LGd) als „Wissen und Fertigkeiten“ (fachspezifisch), die SchülerInnen kurzfristig erlernen sollen (Vgl. Fakten & Konditionen) und den indirekten Lerngegenstand (LG_i) in Form von Prinzipien, die durch das inner- und außerschulische Anwenden des Erlernten mittel- und langfristig entwickelt werden sollen (Lo, 2015, S. 48; Vgl. auch Funktionen im Wissensmodell nach Neber bzw. Kompetenzen in den Bildungsstandards) und über das reine Faktenlernen hinausgehen. In der täglichen Praxis können zusätzlich der intendierte, der realisierte und der erlebte LG unterschieden werden (Unterrichtsverlaufseffekt), da die Beziehung zwischen Unterricht und Lernen eine solche ist, wie zwischen dem, „was in der Unterrichtsstunde möglich gemacht wird (...[LGr]) und den Möglichkeiten, welche die SuS tatsächlich nutzen (...[LGe])“ (Lo, 2015, S. 85). Im Vgl. von Theorie und Praxis erweist sich die Variationstheorie demnach auch als Instrument für Unterrichtsforschung (→lesson study).

Zu den Besonderheiten der VT gehört es, dass weitere Differenzierungen des jeweiligen LG vorgenommen werden. So unterscheidet man Bedeutungen in Form des Externen Horizonts eines LGd: Jeder LG begegnet Lehrenden wie Lernenden in einem jeweils eigenen Kontext und verursacht so individuelle Bedeutung, welche mit ebenfalls individuellen Verständnisebenen verknüpft sind (Vgl. „Phänomenographie“ unter D1.3).

Dabei führen Lernergebnisse zu neuen Erfahrungen, die wiederum durch ein Weiterlernen Änderungen unterliegen („Learning is mostly a matter of reconstitution of the already constituted world“, Marton & Booth, 1997, S. 139; Lo, 2015, S. 31). Andererseits betrachtet man Strukturen in Form des Internen Horizonts eines LGd: „Wenn wir möchten, dass andere einen Gegenstand genauso sehen wie wir, müssen sie sich auf dieselben Merkmale konzentrieren wie wir“ (Lo, 2015, S. 32). Es muss eine gemeinsame Fokussierung auf „kritische Merkmale“ (kM) ermöglicht werden. „Eine

⁴⁰² Die VT basiert auf den Erkenntnissen von Neurobiologie, pädagogischer Psychologie und der Theorie des Moderaten Konstruktivismus. Damit können die `Didaktischen Präparationen` (Vereinfachung, Reduktion, Transformation, Rekonstruktion) weiter aufgeschlüsselt werden

Person hat in Bezug auf ein Phänomen dann gelernt, wenn sie in der Lage ist, ihre Aufmerksamkeit gleichzeitig auf andere oder mehr Aspekte eines Phänomens zu richten als zuvor' (Marton & Booth, 1997, S. 142)“ (Lo, 2015, S. 26).

Um einen Gegenstand oder Vorgang beschreiben zu können, müssen diejenigen Merkmale bestimmt sein, welche zur Eindeutigkeit beitragen und seine Unterscheidbarkeit sicherstellen, wozu auch zählt, dass gleichermaßen auf Unterschiede eingegangen werden muss: „kontrastierendes Wahrnehmen“. Allerdings erkennen Lernende „nicht immer selbstverständlich, was sie erkennen sollen, sondern müssen das Erkennen lernen“ (Lo, 2015, S. 85). Hieraus lässt sich die Lehrkraftaufgabe leicht ableiten. Eigenschaften unterschiedlicher LG (x Beispiele von Sre/Metall-Rkn.) lassen sich dann generalisieren (Sre + unedles Me ergibt Salz und Wasserstoff), wenn die kM (heftige Rkn als Gasentwicklung, H-Nachweis mit Knallgasprobe) von den nichtkritischen Merkmalen (Reaktionsgefäß) unterschieden/abgetrennt werden können.

Kritische Merkmale (kM) sind grundsätzlich nicht leicht zu identifizieren. Es entspricht einschlägiger didaktischer Arbeit, einen komplexen Versuchsaufbau oder –ablauf bzw. einen folgerichtigen Gedankengang in seinen kritischen Merkmalen Struktur zu verleihen. Die Ausdifferenzierung der kritischen Merkmale (kM) ist jedoch für die Lern- und insbesondere für die Verstehensleistung von entscheidender Bedeutung. Mit ihnen können sowohl die Beherrschung des LG (LGd) als auch seine Sinnggebung (LGi) („sinnstiftendes Lernen“) gesichert werden, also seine Bedeutung und damit seine Relevanz für die Lernenden. Überdies lassen sie sich auf ideale Weise als Adapter für das jeweilige ebenfalls aufgedeckte Vorwissen und die Vorerfahrungen der Lerner verwenden.

Das folgende Beispiel soll das Zusammenspiel von Freilegung der kM und LG-Aufbereitung aufzeigen.

Beispiel für einen LG der Chemie:

Direkter LGd: Chemisches Experiment zur Darstellung von Chlorwasserstoff

Indirekter LGi: Aufzeigen des Prinzips einer Darstellung von Gasen

- kritische Aspekte eines LG:
 - Gerätschaften,
 - Stoffe,
 - Handlungsabläufe,
 - Beobachtungen,
 - Typisches Lehrverhalten beim Aufdecken von fachlichen Prinzipien
- kritische Merkmale als Ausprägungen der kritischen Aspekte eines LG:
 - Rundkolben, Tropftrichter, Schlauchverbindung, Waschflasche, Auffanggefäß (Reaktionskolben o.ä.) ...
 - Kochsalz, c. Schwefelsäure
 - Auftropfen der Säure auf das Salz
 - Gasentwicklung (Trocknen mit c. H_2SO_4 und Auffangen in Rundkolben)
 - Explizites Vorstellen der typischen Vorgehensweise bei einer Gasentwicklerapparatur: Geeignete Glasgeräte, Sicherung der Verbindungsstellen, Abzug, Beachtung von Löslichkeiten, Giftigkeit

(→Lerninhaltsstrukturierung)

Im gleichzeitigen Verbinden der kritischen Merkmale manifestiert sich das Verstehen

Mit der Variationstheorie wird für die Lehrarbeit im Fach Chemie eine Systematik für die Behandlung eines beliebigen LG vorgestellt, die es erleichtert, einmal auf das jeweils

Wesentliche des Inhalts zu fokussieren und zum anderen dieses Verständnis, in der Anwendung und im Bereich der Kompetenzentwicklung explizit zu machen. Dieses Erkunden und Entdecken von Prinzipien, das Verstehen von Zusammenhängen kann als „Principle Disclosure-Teaching“ (PDT) bezeichnet werden. Mit dieser didaktischen Aufbereitung gelingt es nicht nur, das Grundsätzliche und das Verbindende unterschiedlich auftretender Phänomene freizulegen, vielmehr eröffnet dies den Weg hin zum kreativen, deduktiven Weiterdenken.

In allen Bereichen gilt es, die SuS mitzunehmen und das neurophysiologisch unverzichtbare Chunking, also das Erweitern von Sinneinheiten durch die Hervorhebung aller möglichen Adapter zwischen Vorwissen und neuer Information zu begünstigen. Dabei geht es um Lehr- und Lernzeitnutzung sowie um die Sicherstellung einer flexiblen Wissensanwendung bei beliebigen Problemlöseprozessen (Kompetenz).

Innerhalb des Strukturierungsfelds „Inhaltliche Prinzipien erkennen“⁴⁰³ und des PDT lassen sich weitere lehrerInnenzentrierte und gleichermaßen inhalts- wie schülerorientierte Lehrleistungen in Form von vier explizit zu unterrichtenden Ordnungsprinzipien oder „Denkschemata“ (Beck, 2020) verwirklichen:

- Analogisierungen⁴⁰⁴
- Systematisierungen⁴⁰⁵
- Schematisierungen⁴⁰⁶
- Kategorisierungen⁴⁰⁷

Diese Repräsentationsformen⁴⁰⁸ unterstützen die Ökonomie des Denkens⁴⁰⁹ und erleichtern die Unterscheidung von Wesentlichem und Unwesentlichem (vgl. Kompetenzbereich in den NBS, 2004: *Bewertung*). Daher dienen sie zwar der Verstehensleistung bei allen Schülern, helfen jedoch besonders denen, die sich bei der Entwicklung eines funktionstüchtigen Übersichts- und Orientierungswissens weniger leichttun und der Dissipation (Zerstreuung) der gelernten Fakten eher unterliegen könnten. Sie vermögen also inklusiven Unterricht zu unterstützen: *„Indem der analytische Unterricht ins Allgemeine hinaufsteigt, erleichtert und fördert er alle Art von Beurtheilung. Denn das Zu-Beurtheilende ist nun gereinigt von den verwirrenden Nebenbestimmungen; das Einfache ist leichter durchschaut als das Verwickelte. Die Elementarvorstellungen*

⁴⁰³ „Höherstufige und komplizierte Zusammenhänge auf einfachere Prinzipien zurückführen können entspricht dem „**Reduktionismus**“ als „eine recht unspektakuläre Strategie, um zu wissenschaftlicher Erkenntnis zu gelangen“ (Lenzen, 2015, S. 69)

⁴⁰⁴ **Analogie:** Übereinstimmung von Gegenständen und Prozessen hinsichtlich gewisser Merkmale. Analogieaufgaben sowie Klassifikationsaufgaben sind Indikatoren des induktiven Denkens und damit „zentraler Bestandteil der Intelligenz“ (Waldmann, 1996)

⁴⁰⁵ **Systematik:** Ein Gebilde, ein Zusammengesetztes, Verbundenes; Zusammenstellung aus Begriffen und Beziehungen

⁴⁰⁶ **Schematisierung:** Eine auf das Wesentliche reduzierte, grafische, übersichtliche Darstellung einer komplexen Sache

⁴⁰⁷ **Kategorie:** Einheit zum Einordnen und Auffinden von Sachen, Begriffen und Sachverhalten; Prozess, bei dem unterschiedliche Entitäten (Gegenstände, Vorgänge, Abstrakta) als gleich betrachtet werden

⁴⁰⁸ Zu dieser Thematik existiert ein Forschungsprojekt (2013 ff) mit dem der Einfluss der Qualität von Repräsentationen auf die Verstehensleistung untersucht werden soll, da es im Unterricht nicht als Selbstverständlichkeit vorausgesetzt werden darf, dass Diagramme oder Schemata ohne Vorbereitung von Schülern „so nebenbei“ verstanden werden.

⁴⁰⁹ Die Codierung der ca. 10000 verschiedenen Begriffe, die ein Mensch durchschnittlich gespeichert hat, erfolgt sehr sparsam, d.h. es sind nur relativ wenige (etwa 20000) Neuronen („Begriffszellen“) daran beteiligt. Es macht deshalb Sinn, die Wahrnehmungsinhalte geclustert anzubieten, um sie so leichter ins Langzeitgedächtnis zu überführen (Quiroga, Fried & Koch, 2013)

haben mehr Stärke bekommen, und die Zerstreuung durch das Viele und Bunte ist hinweggenommen“ (Herbart, 1806, S. 201)⁴¹⁰.

Mit Blick auf die Beforschung der Gedächtnisleistungen gilt es, eine Besonderheit, welche sich direkt aus den Bedingungen des Chemielernens ergibt, hervorzuheben. Neben anderen Unterscheidungen wird auch zwischen einem episodischen Gedächtnis (Speicherplatz für konkret erinnerbare Erlebnisse: Geburtstagsfeiern, Urlaube, Jubiläen etc.) und einem semantischen Gedächtnis (Speicherort für Grundsätzlichkeiten: Datum von Weihnachten, Hauptstädte, äußere Form eines Geschäftsbriefes etc.) differenziert (Forster, 2014). Für unser Fach Chemie heißt das, dass aus einem oder besser mehreren explizit erlebten Experimentabläufen, die primär im episodischen Gedächtnis getrennt abgelegt werden, durch die Lerninhaltsstrukturierungen verbundene implizite Inhalte des semantischen Gedächtnisses werden können.

Als solche lassen sie sich dann in Form von Prinzipien und Regelmäßigkeiten generalisieren und auf neue Problemstellungen anwenden (Vgl. auch „Knowledge Mapping“). Alexander von Humboldt formuliert es 1807 so: „In der großen Verkettung der Ursachen und Wirkungen darf kein Stoff, keine Tätigkeit isoliert betrachtet werden!“ (zit. aus: Wulf, 2018, S. 24)⁴¹¹. Das Herstellen-Können von Beziehungen, das Entdecken von Zusammenhängen hat mit Humboldt (1769-1859) zum Beginn eines ‚ökologischen Weltverständnisses‘ geführt! Im Chemieunterricht muss sich der ganzheitliche Blick auf die zahllosen Details klassischer Lehrpläne offenbar erst noch durchsetzen! Dabei handelt es sich bei dieser Suche nach Verbindungen keineswegs um eine Art Trick, vielmehr unterstützt sie die heute bekannten Funktionen der Gehirnarbeit, wonach „das Gehirn eine regelsuchende Maschine ist – es forscht immer nach Zusammenhängen, versucht zu kategorisieren und in einem Wust von Details das Gemeinsame zu finden“ (Korte, 2017, S. 99). Die hier zugrundeliegende Denkleistung wird als „induktives Denken“ bezeichnet, mit dessen Hilfe das „Erkennen von Regelmäßigkeiten (Gleichheit und/oder Verschiedenheit) sowie von Merkmalen und Relationen bei verschiedenartigem Material (vgl. Klauer, 1989, S. 16ff.)“ (Billmann-Mahecha, Tiedemann, Kölbl, 2009, S. 279) ermöglicht wird. Zugleich begünstigt induktives Denken die „fluide Intelligenz“. Es steht außer Zweifel, dass diese kreativitätsfördernden kognitiven Leistungen (auf der Basis von umfangreichem Faktenwissen) nicht spontan und von alleine ablaufen und schon gar nicht ohne didaktische Aufbereitung.

In einem Artikel zum „Trainieren von kognitiven Grundfertigkeiten im Chemieunterricht“ untersuchen Schwarz und Heimann (2016) Möglichkeiten, ausgewählte Grundfertigkeiten wie „Vergleichen“, „Analytisches Wahrnehmen“, „Raumorientierung“ und „Anleitungen verstehen“ im Zuge eines Lernstrategietrainings mit Bezug zu den theoretischen Grundlagen des Piaget-Schülers Feuerstein (1979, 1980) auszubilden. Letztlich werden auch hierbei Fähigkeiten des Strukturierens in den Fokus genommen. Die vorgestellten Beispiele könnten dazu dienen, einem der vier Charakteristika zu zuarbeiten, wie sie Meyer und Land (2003) formulieren: „... the learner will be exposed to the previously hidden interrelatedness of different aspects of the discipline“.

⁴¹⁰ Interessant ist beiläufig, dass die Duden-Etymologie des Wortes „Intelligenz“ über den Ursprung „inter-legere“ bzw. „intellegere“ die folgende Übersetzung anbietet: „mit Sinn und Verstand wahrnehmen; erkennen, verstehen“, eigentlich „zwischen etwas wählen“, d.h. „durch kritische Auswahl charakteristische Merkmale einer Sache erkennen“ (Drosdowski, 1989; Unterstreichung durch den Verf.).

⁴¹¹ „Humboldt war nicht so sehr daran interessiert, neue einzelne Fakten zu entdecken, sondern suchte vielmehr nach der Verbindung zwischen ihnen. Das individuelle Phänomen ist nur von Bedeutung ‚in seinem Verhältnis zum Ganzen‘, erklärte er“ (Wulf, 2018, S. 122).

Dem entspricht auch die „message“ der „Variationstheorie“. „Wenn wir möchten, dass andere das gleiche Verständnis eines Gegenstandes haben wie wir, müssen wir ihnen helfen, die gleichen Merkmale zu erkennen wie wir (die kritischen Merkmale für diese bestimmte Sichtweise) und sich auf diese zu konzentrieren. Wenn wir diese kritischen Merkmale erkannt haben und die Beziehungen zwischen ihnen als Ganzes erfasst haben, führt das zu einer Art „Fusion“, in der die Merkmale und das Ganze als unteilbare Einheit erlebt werden. Allerdings sind wir erst dann in der Lage, bestimmte individuelle kritische Merkmale zu identifizieren, wenn unser natürlicher Zugang außer Kraft gesetzt wird und wir versuchen, den Lerngegenstand sorgfältig zu analysieren“ (zitiert aus: Lo, 2015, S. 68), was ja für die Lehrkraft zur Profession gehört.

Vielleicht bahnt diese Vorgehensweise beim Chemieunterricht sogar das an, was seit über 20 Jahren mit dem Begriff „Threshold Concept“⁴¹² (Meyer & Land, 2003; Marohn et al., 2016) beschrieben wird, nämlich eine Metasicht auf alle wesentlichen Bedingungen für das Verstehen, also das Lehren und Lernen einer Disziplin: „Threshold Concepts’ may be considered to be akin to passing through a portal or conceptual gateway that opens up previously inaccessible way[s] of thinking about something“ (Meyer & Land, 2003). Beck (2020) formuliert hierzu: „Jeder Mensch, der etwas versteht, muss vorher gut gelernt haben. Aber nicht jeder, der gut lernt, kann später auch gut verstehen“ (S. 83). „LehrerInnen sollten Kenner des Verstehens sein: Sie sollten selber merken, wenn sie etwas verstanden haben. Wer diesen inneren Zustand kennt, wird sich nicht mit einer schnellen und oberflächlichen Aufnahme von mündlichen oder schriftlichen Erklärungen zufriedengeben, sondern sie so lange durcharbeiten, bis die Zusammenhänge systemhaft und einsichtig `klargelegt` sind und sich eine entsprechende innere Befriedigung (vgl. Hörmann, 1983) einstellt“ (Rumpf, 1994, S. 140), auch verbunden mit der Zuversicht, bei Problemen auf das Verstandene jederzeit erfolgversprechend zurückgreifen zu können. So „wird geschätzt, daß etwa 80% menschlicher Lernanstrengung auf die Erarbeitung von Verständnis gerichtet ist“ (Polák, 1996, S. 18).

⁴¹² Threshold concepts are a relatively new idea in higher education. They are used to link academic thinking, learning and teaching practice in a discipline. A threshold concept is distinguished from what might be termed a ‘key’ or ‘core’ concept, as it is more than just a building block towards understanding within a discipline. Meyer and Land (2003) identify five characteristics of ‘threshold concepts’. First, they should be transformative, in that once understood, a threshold concept changes the way in which the student views the discipline. Second, they should be irreversible – given their transformative potential, a threshold concept is also likely to be difficult to unlearn. Third, a threshold concept is integrative – in understanding the concept, the learner will be exposed to the previously hidden interrelatedness of different aspects of the discipline. Fourth, a threshold concept is bounded, that is, it helps to define the boundaries of a subject area. If a threshold concept is relinquished, thinking begins to move outside or beyond the scope of the subject itself. Finally, it is potentially ‘troublesome knowledge’ because it may be counter-intuitive so, in grasping a threshold concept the learner may move from understanding in a ‘commonsense’ way to an understanding that goes against and beyond previous knowledge. (<http://www.ee.ucl.ac.uk/~mflanaga/thresholds.html>) (Zugriff: 12.2016)

D 1.2.1 Analogisieren

Insbesondere bei den Analogisierungen eröffnen sich tiefe Einsichten in das Gemeinsame und Grundlegende sehr unterschiedlicher Phänomene. Nach Greutmann et al. (2021) sind „Analogien finden“ typische Intelligenzaufgaben“ (S. 45). Durch generalisierende Elemente ermöglichen solche Analogisierungen die Herausbildung von Modellen, da sich damit „einzelne Aspekte des Originals veranschaulichen“ lassen (Reiners, 1989, S. 22)⁴¹³. Neben den Analogien zwischen fachlichen und außerfachlichen Bereichen, die sehr häufig als „Eselsbrücken“ zwischen einem „Analogie- und einem Zielbereich“ (Krämer et al., 2008) bezeichnet werden, erweist es sich auch als sinnvoll, innerfachliche Analogiebildungen durchzuführen. Hier gilt: „Eine Analogie ist demnach eine Relation zwischen zwei Bereichen, die sich symmetrisch zueinander verhalten, da sie identische Teilstrukturen aufweisen“ (Krämer et al., 2008, S. 36); oder: „Nur der gedankliche Zusammenhang hinter der empirischen Anschauung erzeugt den Glanz der Erkenntnis auf dem die Attraktivität des Versuchs beruht“ (Paland, 2008, S. 38)⁴¹⁴.

Solche Symmetrien müssen allerdings entdeckt werden. Das erschließt sich auch aus dem folgenden Zitat des Nobelpreisträgers für Chemie 1981 Roald Hoffmann, der in einem aktuellen Artikel in „Spektrum der Wissenschaften“ seinen Erkenntnisweg beschreibt, der sich vom ersten Selbermachen der Knallgasreaktion bis zur Erklärung des Kernabstandes im H_2 -Molekül unter Hochdruckbedingungen erstreckt: „Das Faszinierende ist, die tieferen Beziehungen zwischen all diesen unterschiedlichen Erscheinungsformen und Verhaltensweisen zu erkennen. Darin besteht das wahre Vergnügen, das die Beschäftigung mit der Chemie bereitet“ (Hoffmann, 2014). Und auf der philosophischen Ebene heißt es bei Küng (2006): „Singularität reizt sie [die Physiker] vielmehr zu untersuchen, ob sich nicht gerade diese Singularität in Gesetzmäßigkeit auflösen, in das Gefüge der bewährten physikalischen Gesetze einordnen lasse“ (S. 69).

Im traditionellen Unterrichtsfall, etwa beim Anfertigen von (hier: drei) getrennten Versuchsprotokollen, wie es bei den Versuchen „Zink in Kupfersulfat-Lösung“, „Aluminium in saurer Kupferchlorid-Lösung“ (vgl. auch: Versuch „Die brennbare Luft“ bei Masin & Grois, 2015) und „Zink in verdünnter Salzsäure“ (Abb. D5) ablaufen könnte, und nach dem fertigen Besprechen der Stoffartumwandlungen von der Phänomenebene bis tief hinein in die formelhafte Abstraktion, wären die Ziele eines klassischen Lehrplans erfüllt. Dabei kann der Lernprozess in erster Linie linear und qualitativ beschrieben werden. Die genannten Experimente werden in der Folge dargestellt.

⁴¹³ Für die detaillierte Begriffsabgrenzung vgl. Hesse, 1991; Duit & Glynn, 1996; Gentner & Holyoak, 1997; Haider, 2010

⁴¹⁴ Unter den neuen Voraussetzungen elektronischer, digitalisierter Mechanismen und Algorithmen wird etwa beim Maschinellen Lernen (ML) von der „Mustererkennung“ bei der Analyse unterschiedlichster Erscheinungen gesprochen

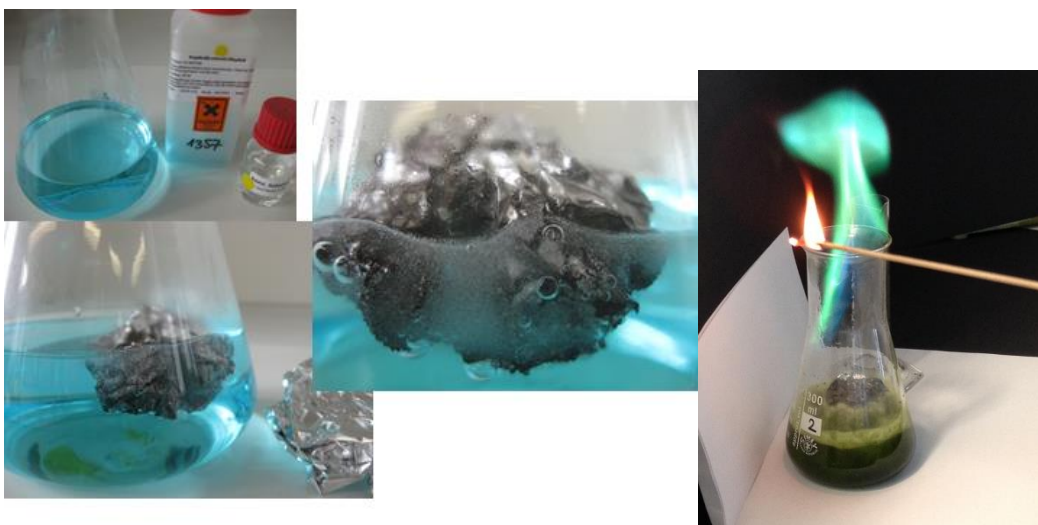
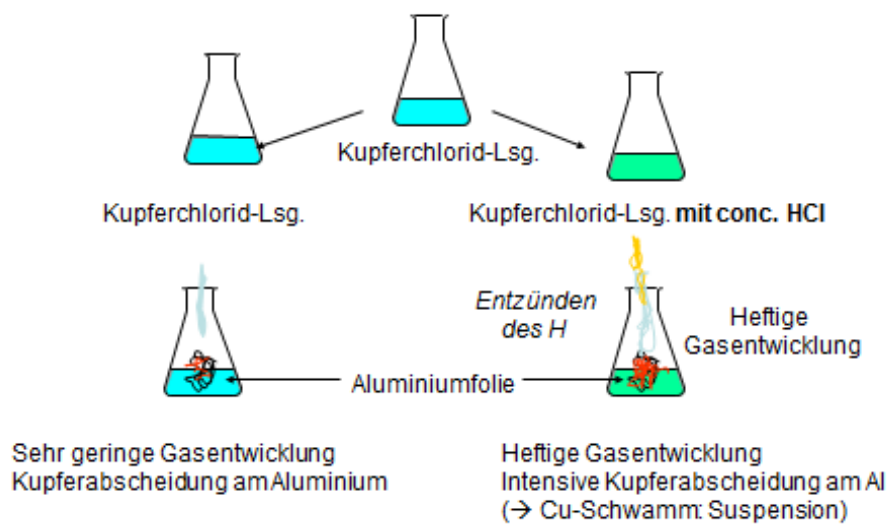
Versuch 1: Kupferabscheidung am Zinkstab aus wässriger Kupfersulfat-Lösung

„Am Zn scheidet sich elementares Cu ab!“

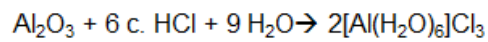


Versuch 2: Lösen von Aluminium in salzsaurer Kupferchlorid-Lösung

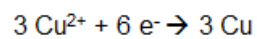
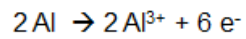
Aluminium in Kupferchlorid-Lösung



Theorie zur Reaktion von Al_2O_3 als Überzug des Aluminiums



Al wird partiell freigelegt und oxidiert



Die Cu-Schicht leitet e^- vom darunter liegenden Al besonders effizient an die H_3O^+ -Ionen weiter, die reduziert werden: $2 \text{ H}_3\text{O}^+ + 2 \text{ e}^- \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O} + \text{H}_2$

Versuch 3: Lokalelement aus Zink und Kupfer in salzsaurer Lösung



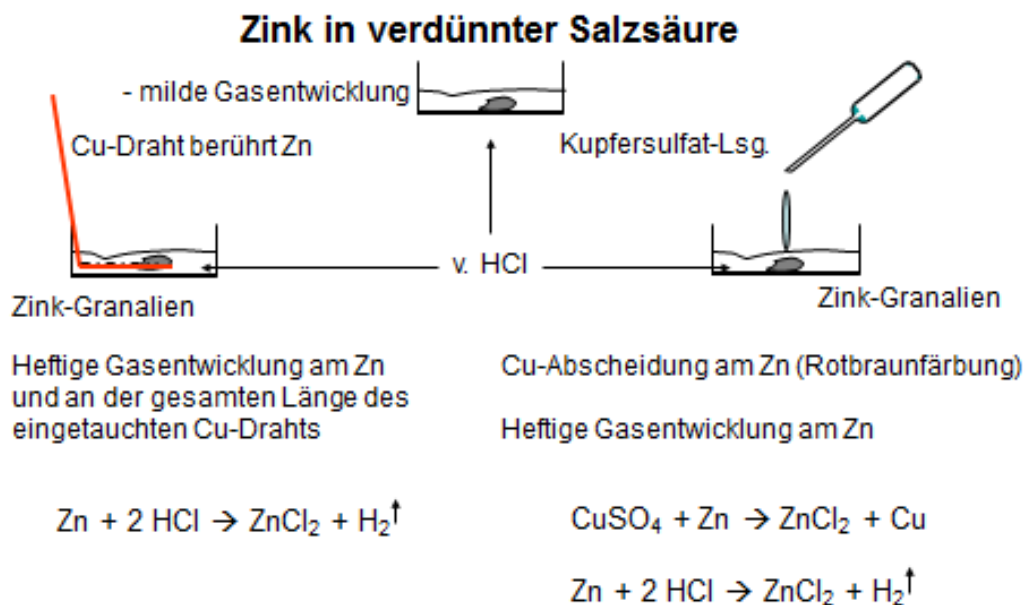


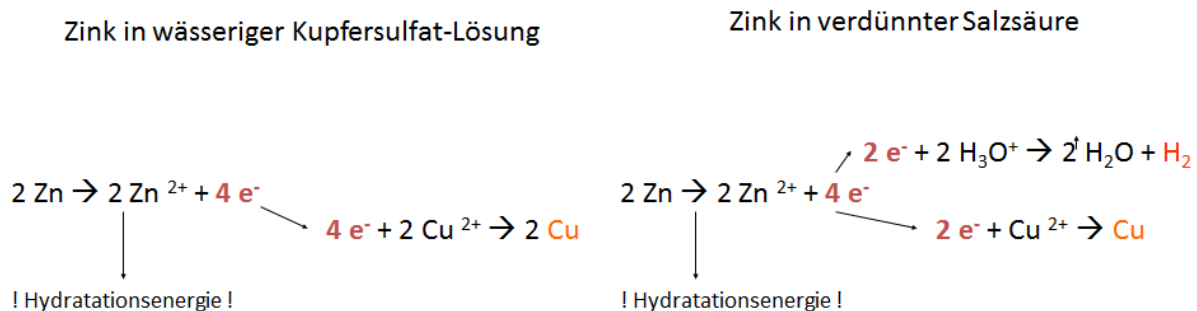
Abb. D5: Drei Versuche (Kupferabscheidung am Zinkstab, DANIELL-Element, Auflösung von Aluminium in saurer Kupfer(II)-chlorid-Lösung, Lokalelement aus Zink und Kupfer in salzsaurer Lösung), welche im Unterricht über die Jahrgangsstufen an unterschiedlichen Stellen und unter unterschiedlichen Zielsetzungen auftauchen (oben: Allgemeine Redox-Chemie; unten: Lokalelement in der E-Chemie), werden in ihrer jeweiligen Besonderheit protokolliert und über das Aufstellen von Reaktionsschemata ausgewertet.

Mit der nun folgenden Analogisierung und dem Aufzeigen der Gemeinsamkeiten beider Versuchsabläufe („analoges Zuordnen“, Hesse, 1991) kann ein gemeinsames Prinzip erkannt werden. Renkl (2011) betont hierzu, „dass für guten Lernerfolg die Informationsverarbeitung der Lernenden auf die zentralen Konzepte und Prinzipien fokussiert sein sollte“ (S. 197). Ab hier geschieht die Lernleistung nicht mehr linear, sondern mehrdimensional. Der Strategieberater Richard Koch formuliert es so: „... der Schlüssel zum Verständnis in fast allen Bereichen scheint in der Fähigkeit zu liegen, zu vereinfachen und die kleine Zahl wesentlicher Ursachen zu erkennen“ (Koch, 2001, S. 252). Damit emanzipieren sich der LernerInnen von der Chronologie des lehrerlerntechnischen unterrichtlichen Vorgehens und nähert sich dem wissenschaftlichen Kern des *Erkenntnisgewinns* (KB der NBS, 2004!). So kommen zum *Fachwissen* die Kompetenzbereiche der NBS *Kommunikation* und aufgrund der Extraktion des Wesentlichen -wie von selbst- auch *Bewertung* hinzu. Aus einer für den Anfang sinnvollen und hilfreichen systematischen Ordnung entwickelt sich eine systemische Perspektive. Sie ermöglicht den Über-Blick, das Erkennen von Zusammenhängen, also das Verstehen! Das entspricht genau einem Punkt aus „10 Gebote der optimalen Gedächtnisförderung“⁴¹⁵: „... sortiere das Wissen nach deinem Vorwissen!“ (Korte, 2017, S. 367).

⁴¹⁵ „1. Hinterfrage deine Motivation und motiviere dich für das, was du auch lernen willst! 2. Lerne fokussiert und konzentriert! 3. Lerne in kurzen Einheiten mit häufigen Wiederholungen! 4. Erzähle anderen, was du weißt, um es besser zu begreifen und zu behalten! 5. Beweg´ dich! 6. Iss Lebensmittel und tu dies in Maßen! 7. Schlafe nachts genügend und manchmal auch 15 Minuten zwischendurch! 8. Mache dir das

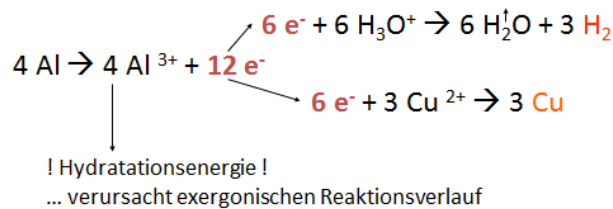
Zugleich wird die kognitive Beanspruchung deutlich, welche die LernerInnen von der Phänomenebene bis in die generalisierende Abstraktheit des Atom- und Bindungsmodells „erleiden“ dürfen, um so zugleich in ihrem wissenschaftlichen Denken *gefördert* zu werden. Bei diesen Vorgängen spielt auch das Prinzip des „Vergessens“ eine wichtige Rolle; denn „Wer sich an jedes Detail erinnert, dem fällt es schwer, Muster und Gemeinsamkeiten wahrzunehmen. Eine solche Mustererkennung „aber ist nötig, um Ähnlichkeiten zwischen neuen und früheren Erfahrungen zu erkennen und aus dem Abgleich Ideen für den Umgang mit neuen Situationen zu bekommen“ (Blake Richards, zit. aus Blawat, 2017, S. 16). Erst dadurch entsteht das so wichtige sichere Überblickswissen. Es ist wiederum der Kern des „inneren Wohlstands“!

Das Prinzip der Analogisierung und weiterer Strukturierungsarten in einer Lernsituation liefert erst die Voraussetzung für die Prüfungssituation, in welcher es neben anderen Fragenqualitäten (Reproduktion, Reorganisation) um das Stellen von Transfer-Fragen geht. In der Regel bedeutet das, dass nach fünf im Unterricht durchgenommenen Beispielen etwa in der Schulaufgabe ein unbekanntes sechstes angeboten wird. Das ist ein didaktischer Kunstfehler(!) und es ist schlicht unfair. Eine Trans“fair“-Frage ist dann angemessen, wenn im Unterricht das Prinzip vermittelt werden konnte, um dieses dann auf einem neuen Fall anwenden zu lassen. Bei einem Lernprozess sollte nicht die Angst vor einer neuerlichen Anwendung mitgelernt werden, sondern die Freude daran, das Verstandene, das Prinzipielle (Lehrkräfte sprechen hier meist von „Wichtigem“) anhand einer neuen Herausforderung einer Bewährung zu unterziehen. Im besagten Beispiel werden nun die Reaktionsschemata so dargestellt, dass die Ähnlichkeiten besonders hervortreten können (Abb. D6).



Brechen von Gewohnheiten zur Gewohnheit! 9. Übe und trainiere mit dem Ziel im Blick, nutze dabei Assoziationen und sortiere das Wissen nach deinem Vorwissen! 10. Überprüfe regelmäßig, was du glaubst, an Kompetenzen erworben zu haben!

Aluminium in stark saurer
Kupfer(II)-chlorid-Lösung



Das Prinzip der Redox-Vorgänge als Elektronenübertragungen vom unedlen Metall-Atom zum Kation des edleren Elements wird durch die oben gewählte Schreibweise sehr viel deutlicher und damit eingängiger als bei einer bloßen Darstellung des Versuchsablaufs.

Redox-Verhalten ausgewählter Metalle

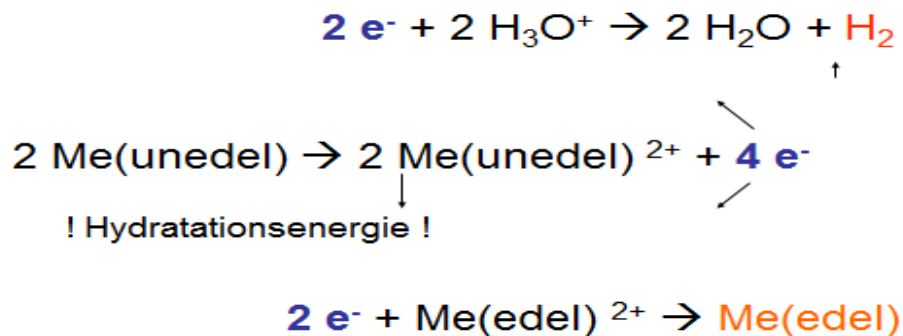
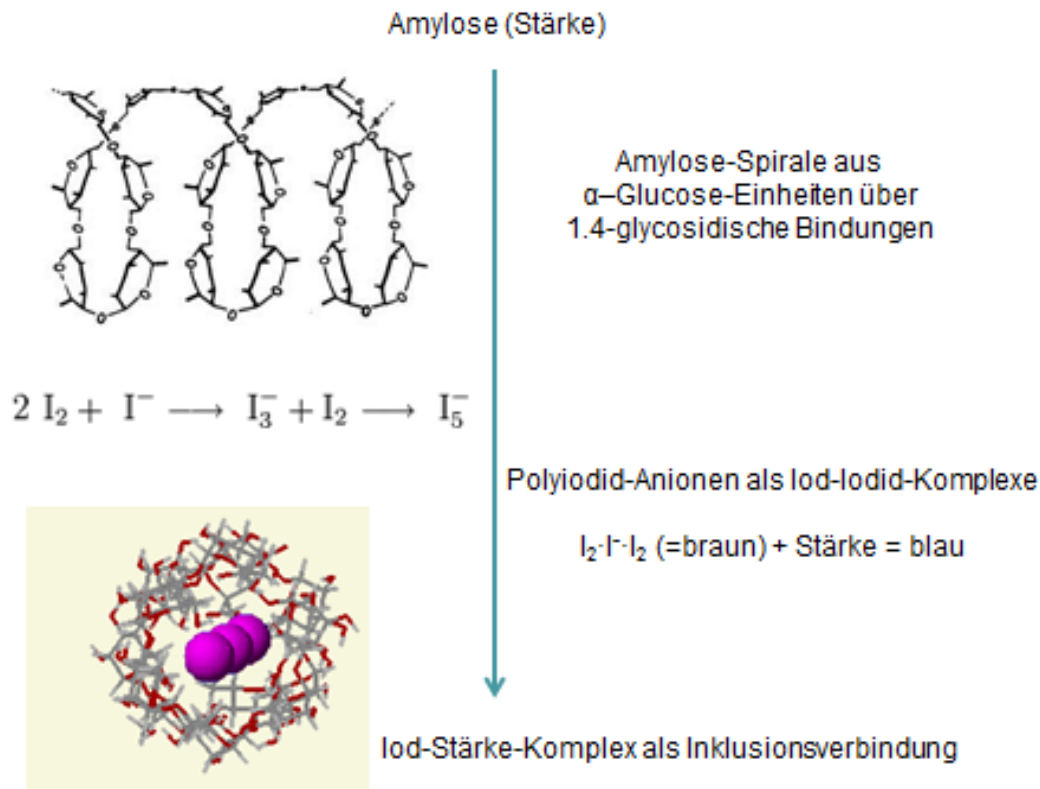


Abb. D6: Werden die oben protokollierten Experimente in ihren Prinzipien vergleichbar ausformuliert, entdeckt man das Prinzip, das den so unterschiedlichen Phänomenen zugrunde liegt. (Beim Lesen und Sprechen dieser Reaktionsgleichungen sollte darauf geachtet werden, dass beispielsweise anstelle von „Aluminium wird oxidiert und dabei werden der Säurewasserstoff sowie das Kupfer reduziert!“ besser formuliert wird: „Ein Al-Atom gibt drei Elektronen ab, die einmal vom Kupfer-Kation und zum anderen vom Oxonium-Ion aufgenommen werden. Beide Akzeptoren werden dadurch reduziert!“)

Die „Suche nach Analogien und Strukturgleichheiten“ basiert auf einem fortgesetzten Wechsel von konvergentem und divergentem Denken, vom Erkennen von weit auseinander liegenden Bezügen und versteckten Ähnlichkeiten, welche sich sodann auf einer höheren Ebene zu Prinzipien neu kombinieren lassen. „Was hier helfen kann, sind *Ähnlichkeitserinnerungen (reminders)*“ (Ross, 1989) (Renkl, 2016, S. 240), welche durch ein explizites Kommentieren durch die Lehrperson hervorgerufen und gefestigt werden sollen. Diese „Bisoziation“ (Schwanitz, 2002, S. 607) kann durchaus plötzlich passieren, als Geistesblitz oder „Fulguration“ und stellt ein Wesensmerkmal von Kreativität dar (engl. „brainchild“). Hier ist es wichtig, dass diese Erkenntnisse auch kommuniziert werden, dass dazu Begrifflichkeiten wie Fachsprache, Modelle, Darstellungsweisen als „cognitive tools“ (Nordine, 2017) zur Verfügung stehen. Auch das muss Unterricht leisten: Chemische Prinzipien entdecken, sie innerfachlich aufeinander und mit außerfachlichen Problemkonzepten beziehen und diese Leistungen begründen können. Nordine spricht hier von „Teaching Science with Coherence“ **und** stellt fest „The processes of reflection

and communication are two of the most critical supports for deep learning“ (S. 16) und weist darauf hin, dass dazu Zeit investiert werden muss. Dies kann wiederum hirnpfysiologisch begründet werden: “Was unsere Gehirne ... suchen, sind Bedeutungen: ein Sinn für Ordnung, Abläufe, Einordnungen, Zuordnungen, Größenverhältnisse und Sinnhaftigkeit“ (Korte, 2017, S. 254). Lehrkräfte müssen dazu anleiten, “wie man Informationen bündelt, vernetzt und kritisch in sein Weltbild einbaut“ (S. 253).

Ein weiteres Beispiel für derartige Analogien ergibt sich aus dem Vergleich des Iod-Stärke-Komplexes mit dem „Wirt-Gast-Komplex“ bei Cyclodextrinen⁴¹⁶ (Abb. D7).



⁴¹⁶ Zum Thema „Inklusionsverbindungen“ vgl. auch: Brinker & Mieusset, 2010: Molecular Encapsulation

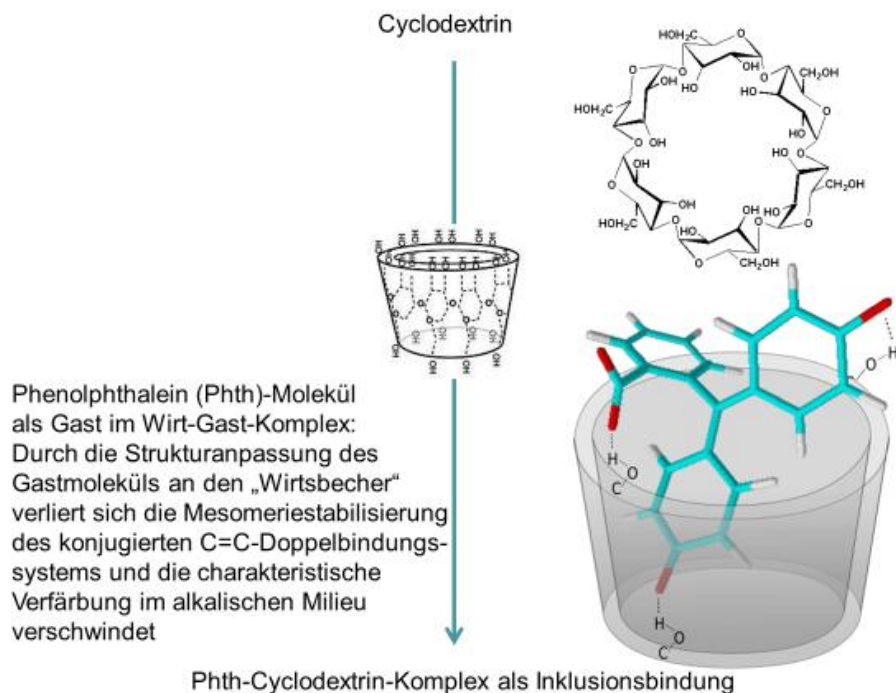
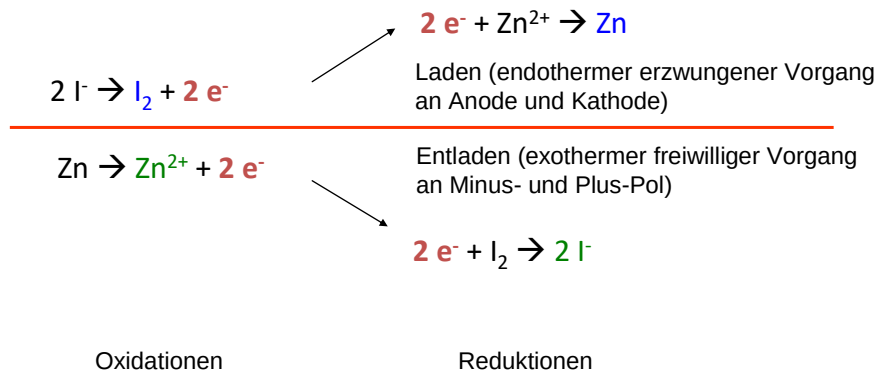


Abb. D7: Analogisierung von zwei Inklusionsverbindungen (Abb. stammen aus dem Vortragskonzept zur Lehrerfortbildung für den Schulversuchskoffer der Fa. WACKER-Chemie „Moleküle zu Gast beim Zuckerwirt“ (2012) von Simone Krees, Universität Wuppertal, jetzt: Universität Münster)

Überraschend leicht lassen sich die oben beschriebenen Analogisierungen erweitern mit Beispielen aus der Elektrochemie (E-Chemie), etwa mit der Elektrolyse einer ZnI_2 -Lösung bzw. mit dem Ladevorgang eines Blei-Akkumulators (Abb. D8).

**Vergleichbare Kernprozesse
bei der Elektrolyse einer Zinkiodid-Lösung mit Kohleelektroden
und der damit verbundenen Polarisierung (Vgl. Akku)**



**Vergleichbare Kernprozesse
bei der Elektrolyse einer Schwefelsäure-Lösung mit Bleielektroden
und der damit verbundenen Polarisierung (Vgl. Bleiakku)**

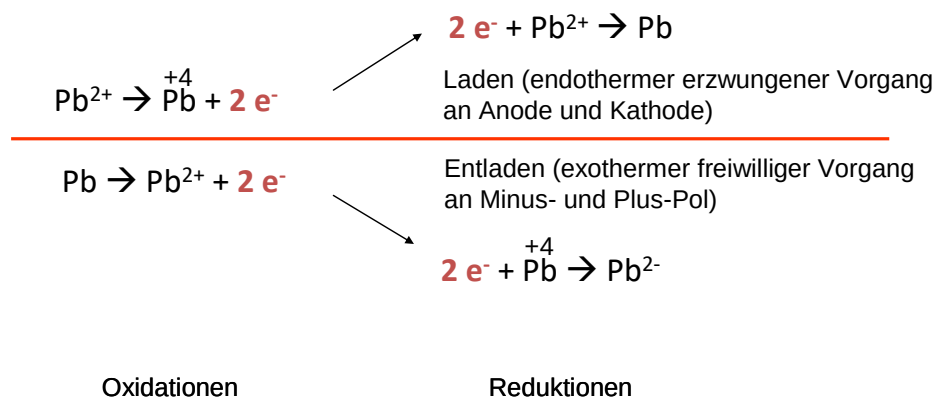


Abb. D8: Hervorhebung des gemeinsamen Prinzips von Lade- und Entladevorgang bei einer Polarisierung und damit auch beim allseits bekannten „Blei-Akku“

Dieser Vorgehensweise kann auch entsprochen werden, indem man bei elektrochemischen Versuchen, die meist durch den unterschiedlichen apparativen Aufwand kaum vergleichbar sind, das Gemeinsame durch Analogisierung der Skizzen des Versuchsaufbaus hervorhebt. Auch die Unterscheidbarkeit wird damit verdeutlicht.

In Abb. D31 soll betont werden, dass es sich bei allen drei Vorgängen um eine Elektrolyse von Schwefelsäure handelt, bei denen nur die Wahl der Elektroden variiert.

Solches Aufdecken von Beziehungen ermöglicht das Verstehen!⁴¹⁷ Will man im „Hofmann“ eine quantitative Gasausbeute haben, wählt man edle Pt-Elektroden, um zu verhindern, dass das Elektrodenmaterial mit O reagiert. Im Fall des Blei-Akkus soll aus Pb eine PbO₂-Elektrode erzeugt werden und bei der „Elektrolytischen Oxidation von Aluminium“ (ELOXAL-Verf.) geht es um eine Verstärkung der Oxidschicht (inkl. Einfärbung) des Aluminiums. Die Verwendung eines gezeichneten Becherglases soll das gleichbleibende Prinzip im Vergleich zu den geringen, aber bedeutsamen Unterschieden verdeutlichen (Anton, 2012b). Aus Sicht der „Variationstheorie“ wird diese Verfahrensweise als sehr sinnvoll hervorgehoben. „Derzeit dienen Beispiele im Unterricht allzu oft dazu, Ähnlichkeiten aufzuzeigen. Man glaubt, dass Schülerinnen und Schüler, die Ähnlichkeiten zwischen Beispielen erkennen, auch die dazugehörigen Regeln und Begriffe ableiten können, was jedoch gerade am Anfang von der Lehrkraft unbedingt expliziert werden muss.

Die zweite Implikation für Unterricht und Lehrerinnen- und Lehrerbildung nach Donovan et al. (1999, S. 11) besagt (...), dass „Lehrkräfte den Unterrichtsstoff vertieft unterrichten und dabei möglichst viele Beispiele verwenden müssen, in denen stets dasselbe Konzept behandelt wird, um eine stabile Grundlage an Fachwissen aufzubauen. Der Variationstheorie zufolge reicht es jedoch nicht aus, sich nur auf Ähnlichkeiten zu stützen. Marton (2009) betont, dass ein einzelnes Merkmal nur wahrgenommen werden kann, wenn auch Unterschiede (Variationen) zwischen Merkmalen wahrgenommen werden. Es kann kein Erkennen geben, ohne Unterschiede zu erleben, und es kann keine Erfahrung von Unterschieden ohne die *gleichzeitige* Erfahrung von mindestens zwei Dingen geben, die sich voneinander unterscheiden“ (zitiert aus: Lo, 2015, S. 86).

„Da jeder Lerngegenstand viele Merkmale hat, müssen die Lernenden ihre Aufmerksamkeit auf jene Merkmale fokussieren, die für das Verständnis zentral sind. In der Terminologie der Variationstheorie sind das die ‚kritischen Merkmale‘ eines Lerngegenstands“ (Posch, 2018, S. 27). „Der Erfolg von Bemühungen, anderen beim Lernen zu helfen, hängt in hohem Maße davon ab, dass die kritischen Aspekte⁴¹⁸ gefunden werden und der Unterricht auf sie abgestimmt wird“ (Marton & Runesson, 2015, S. 107). „Ohne die Unterschiede wahrzunehmen, ist es auch nicht möglich, Ähnlichkeiten zu erkennen“ (Lo, S.87).

Auch bei den Beziehungen, welche zwischen der Anregung von Valenzelektronen und einer Ionisierung bestehen, kann anhand einer geeigneten Skizze das Übereinstimmende und das Unterscheidende überzeugend visualisiert werden (Abb. D9).

Grundsätzlich:

Für die hier angeführten Beispiele wie für die folgenden Fälle gilt, dass sie im Unterrichtsverlauf nicht nebenbei zu leisten sind. Im Gegenteil, es müssen einzelne Stunden spendiert werden, in denen den SchülerInnen das Lernziel „Verstehen“ zu erreichen, ermöglicht wird. Daraus leitet sich eine sehr gut begründbare Forderung an moderne Lehrpläne ab, wenn sie den Bildungsstandards gerecht werden sollen. Insbesondere, wenn es darum gehen soll, „Konzepte“ (Vgl. Basiskonzepte) herzuleiten oder zu bedienen, müssen stets Gemeinsamkeiten und Unterschiede Hervorhebung

⁴¹⁷ Für den Pädagogen Wolfgang Klafki (1927-2016) „bildet das Typische eine besondere Grundform des Elementaren, und an ihm kann deutlich erkannt werden, wie im Besonderen, Einzelnen ein Allgemeines aufleuchtet, hindurchleuchtet, ‚transparent‘ wird. Diese Transparenz sichtbar zu machen, erscheint Klafki daher als eine wesentliche pädagogische Aufgabe“ (zit. aus Drechsler, 1967, S. 61)

⁴¹⁸ Der kritische Aspekt (Dimension) „Temperatur“ wird erst verstanden, wenn die kritischen Merkmale „heiß“ und „kalt“ voneinander unterschieden werden können. Im Rahmen eines Versuchsaufbaus ließe sich das Behältnis aus Glas als Erlenmeyerkolben (Aspekt) identifizieren. Dieser kann aber klein und groß, weit- oder enghalsig sein (kritische Merkmale).

erfahren (Vgl. Variationstheorie: „Kritische Aspekte und Merkmale). Bei Bekanntsein dieser Unterscheidungsmerkmale und der Ähnlichkeiten (Analogien) kann es bei gleichzeitiger Fokussierung zu einer Erleichterung der anzustrebenden Integration multipler Wissensbereiche (Versuchsablauf, Gerätschaften und Chemikalien, Atommodelle und Bindungsarten, Definitionsstufen) im Arbeitsgedächtnis kommen, da dessen Aufmerksamkeitssteuerung hierdurch begünstigt wird (Renkl, 2016).

Übergang von der „Anregung“ zur „Ionisierung“

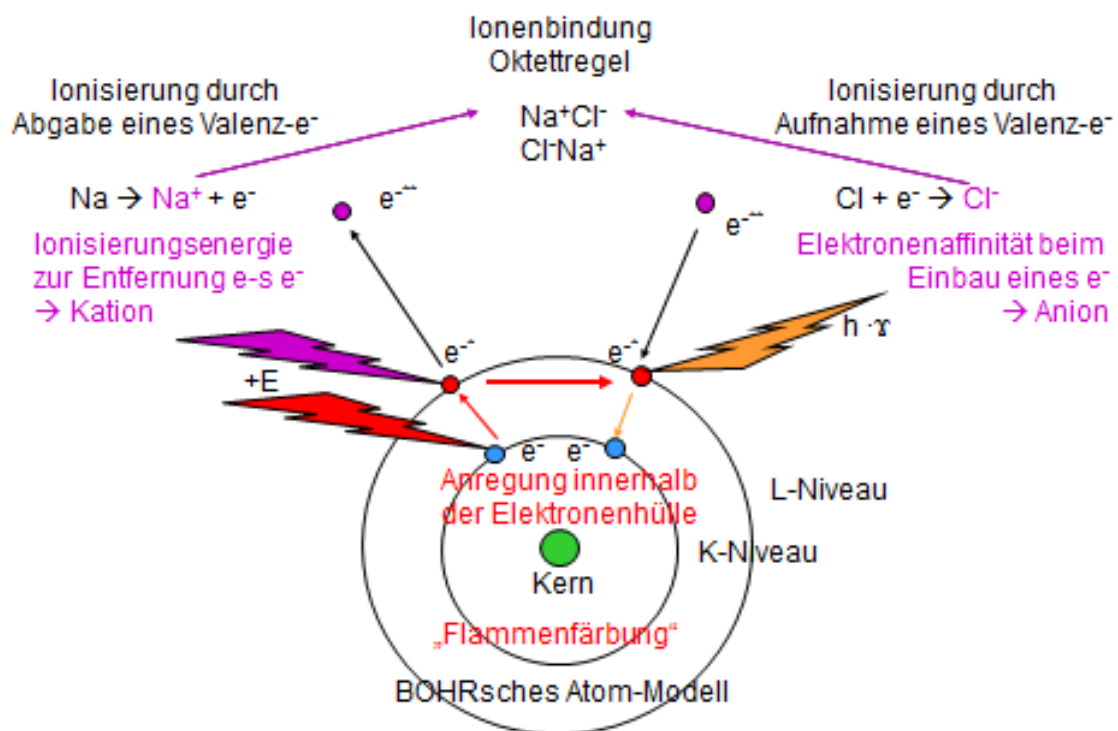


Abb. D9: In einer einzigen Skizze wird das Prinzip der Anregung, etwa beim Phänomen der Flammenfärbung⁴¹⁹ weitergeführt bis zur Bildung von Kationen und Anionen als Folge eines Elektronentransfers im Rahmen der Ionenbildung zwischen Elementatomen der Hauptgruppe I und VII.

Wiederholt sei betont, dass mit Lernen die Suche nach Gemeinsamkeiten verbunden ist, um daraus Assoziationen zu bilden, welche den flexiblen Abruf von Gedächtnisinhalten sowie deren problemorientierte Neukombination erleichtern, fallweise sogar erst ermöglichen (Skaggs, 2015).

In diesem Zusammenhang sei hier auf eine klassische Verstehensproblematik hingewiesen, die mit „Fehlendes Bezugssystem“ charakterisiert werden kann: Erfahrungsgemäß stößt die Frage „Welche Elektronen im Energiestufen-Modell nach BOHR sind energiereicher, die kernnahen oder die Valenzelektronen?“ auf plötzliches

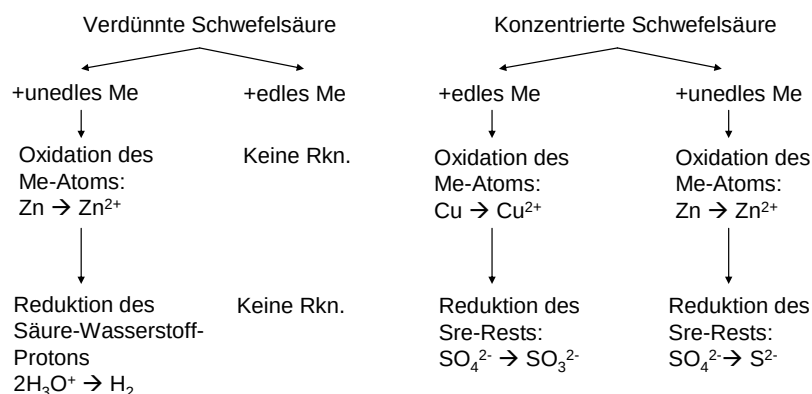
⁴¹⁹ Hinsichtlich des „angeregten und des Grundzustands“ tritt das „Energiestufen-Modell“ in Kraft (BOHR'sches oder Schalen-Modell). Um den Übergang zwischen diesem Stufen-Modell zum Orbital-Modell zu erleichtern, wird das „Elektronium-Modell“ (Madelung, 1926) eingesetzt (http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/download/atome_kerne_lehrer.pdf). Dabei ist das Elektronium ein in der Atomhülle kontinuierlich verteiltes Fluidum („Elektronenmaterie“). Es ist negativ geladen und seine Dichte nimmt nach außen hin ab. Die Entfernung des E. gelingt nur in Form definierter Elementarportionen (=Elektronen) (Bommersheim & Heuper, 2020, S. 312)

Unverständnis. SuS denken schnell an die leichte Abspaltbarkeit der äußersten Elektronen, aber auch daran, dass die innersten Elektronen (als Teilchen) deutlich höhere Geschwindigkeit besitzen. Die Unsicherheit wird beseitigt, wenn man hervorhebt, dass das Bezugssystem, von dem bei dieser Problemstellung ausgegangen wird, die potenzielle Energie ist. Wir sprechen demnach grundsätzlich von den energiereicheren Außenelektronen.

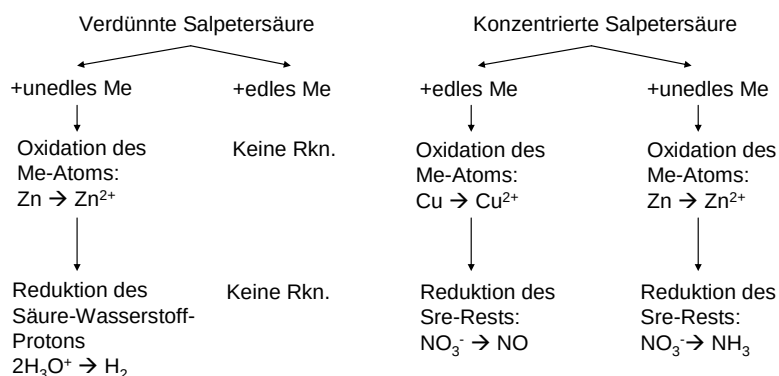
D 1.2.2 Systematisieren

Vor allem nach Durchnahme vielerlei Einzelheiten mit Praxis- und Theoriebeispielen empfiehlt es sich, eine Art Synopse anzuschließen und dem Lerner die Möglichkeit zu geben, Bedeutsames im Überblick zu erkennen. Durch Systematisierung wird den SchülerInnen klar vor Augen geführt, welche Variablen im Reaktionsverhalten vergleichbarer Reinstoffe den jeweiligen Ausschlag geben (Abb. D10).

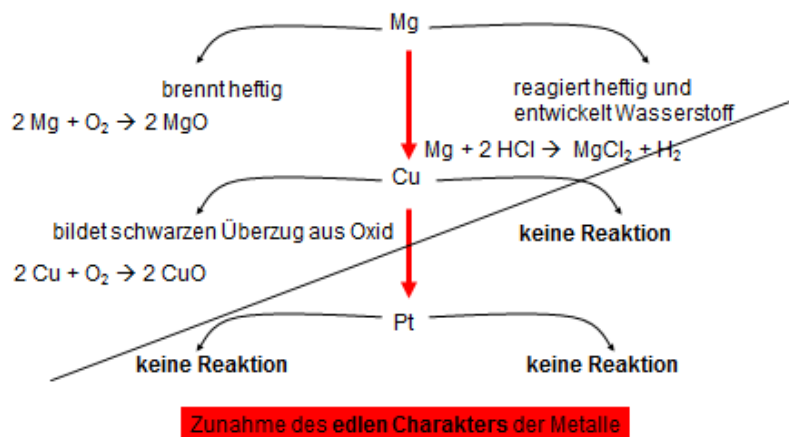
Wenn Säuren oxidierend wirken, ...



Wenn Säuren oxidierend wirken, ...



Verhalten von Metallen gegenüber Sauerstoff und Säure



Versuchsfolge

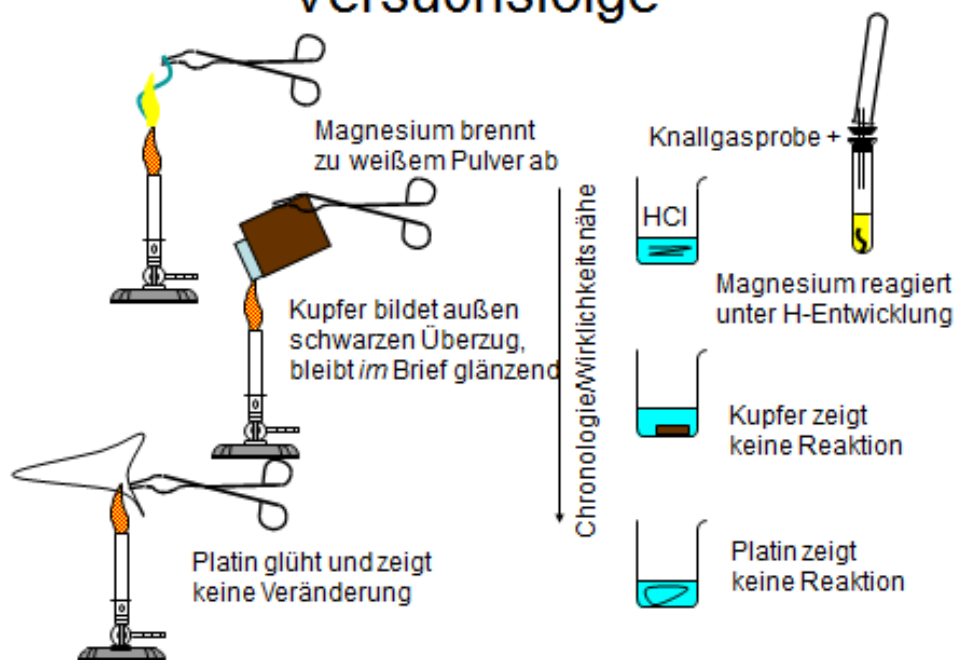


Abb. D10: Beispiele für die Systematisierung von ursprünglich im Unterricht zeitlich auseinander liegenden Inhalten:

- Typische Säure-Reaktionen und besonderes oxidierendes Verhalten zweier sauerstoffhaltiger Mineralsäuren
- Abgestufte Wirkung von konzentrierter Schwefelsäure gegenüber Halogeniden (Vgl. auch C33)
- Gestuftes Verhalten unterschiedlich edler Me gegenüber Sauerstoff und Säure (Mineralsäure (HCl), hier mit bildlicher Darstellung der Versuchsfolge

Derartige Maßnahmen erzeugen die Mehrdimensionalität des Lernprozesses und ökonomisieren ihn. Für ein überaus detailreiches Fach wie die Chemie es ist, kann das nur von Vorteil sein.

Dahinter steckt allerdings auch eine bildungswirksame Vorgehensweise im Sinne eines „Zielprinzips“ oder „Ergebnisprinzips des Unterrichts“ (Drechsler, 1967, S. 123). `Im Zuge einer Systematik werden unverbundene Bestandteile eines Wirklichkeitsbereiches in einen sich herausbildenden Wissenszusammenhang gebracht, aus dessen Erleben Freude über den Wissenszuwachs und die Wissensvertiefung erwächst´ (S. 124). „Je mehr dieses systematische Einheitsprinzip im Bewusstsein eines jungen ... Menschen Aktualität gewinnt und für ihn ... bestimmend wird, umso mehr ist er auch instandgesetzt, ... sich anderen Seins- und Wirklichkeitsbereichen zuzuwenden und sie sich selbst geistig zu erschließen“ (S. 126).

D 1.2.3 Schematisieren

Mit schematischen Verdeutlichungen wird es möglich, Definitionsgrenzen, etwa zwischen bestimmten Aussagebereichen (E-Chemie: freiwillig vs. erzwungen ablaufende Vorgänge; Abb. D11) klar und eindeutig wie regelhaft zu ziehen. Das wiederum verbessert das Regelanwenden (Marohn, 1999). Im konkreten Fall der Elektrochemie und darin der Polbenennung dient dies der Vermeidung des klassischen Begriffshäufung und erleichtert den Zugang, fallweise ermöglicht es ihn erst!

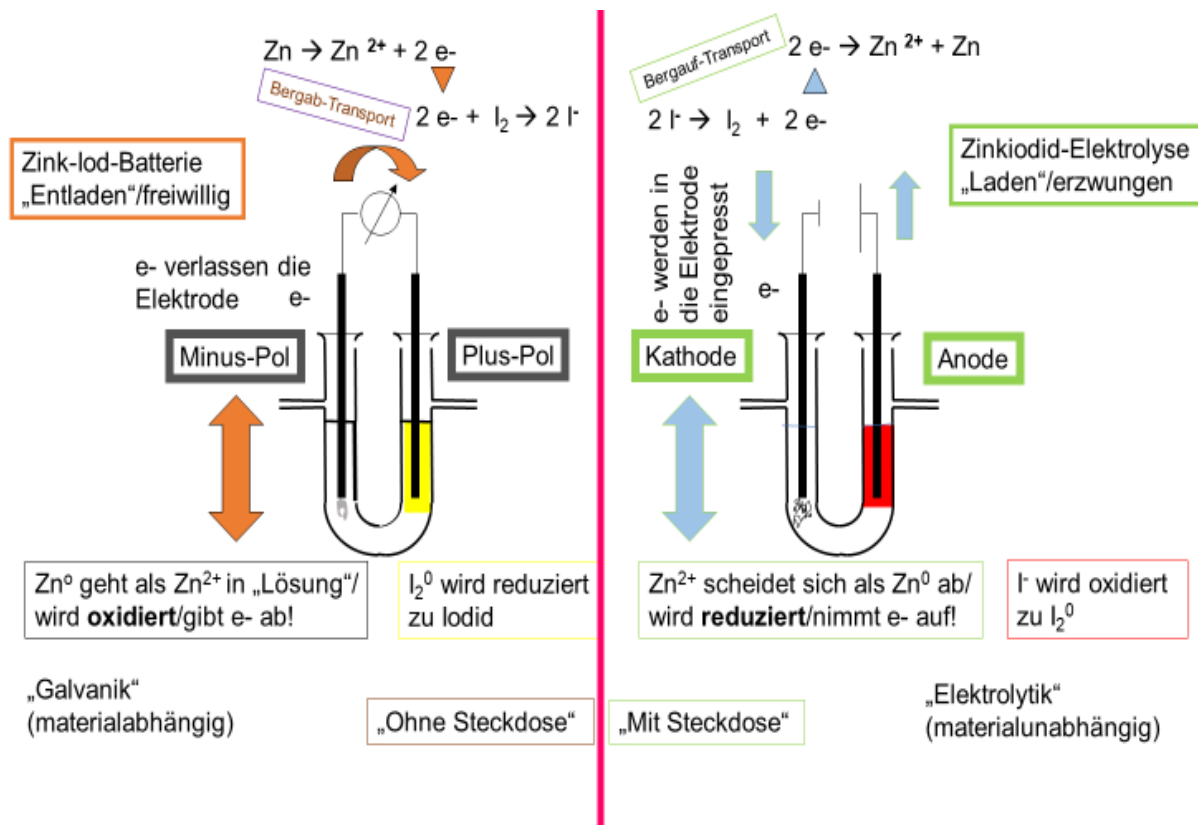


Abb. D11: Beispiele für Schematisierung: Oben: Freiwillig ablaufende, „galvanische“ Vorgänge in der Elektrochemie, in denen nur von Minus- und Plus-Pol gesprochen wird, werden den erzwungenen „elektrolytischen“ Prozessen mit der Nomenklatur „Anode und Kathode“ gegenübergestellt und beide voneinander abgegrenzt.

Wie dramatisch es werden kann, wenn diese Begriffsgrenzen nicht geläufig sind und alle möglichen Bezeichnungen, sogar noch mit denkbaren „Eselsbrücken“ verbunden, aneinandergereiht werden, zeigt ein Schülerzitat als Textstelle bei Marohn (2008): „Als Eselsbrücke kenne ich zum Begriff Kathode das Wort Katastrophe, welches negativ klingt. Also ist die Kathode der Minuspol“ (S. 48). Hier ist alles falsch.

Als weiteres Beispiel lassen sich die Themen „Reaktionstyp“ und „Energetik“ übersichtlich aufeinander beziehen (Abb. D12).

Vernetzung

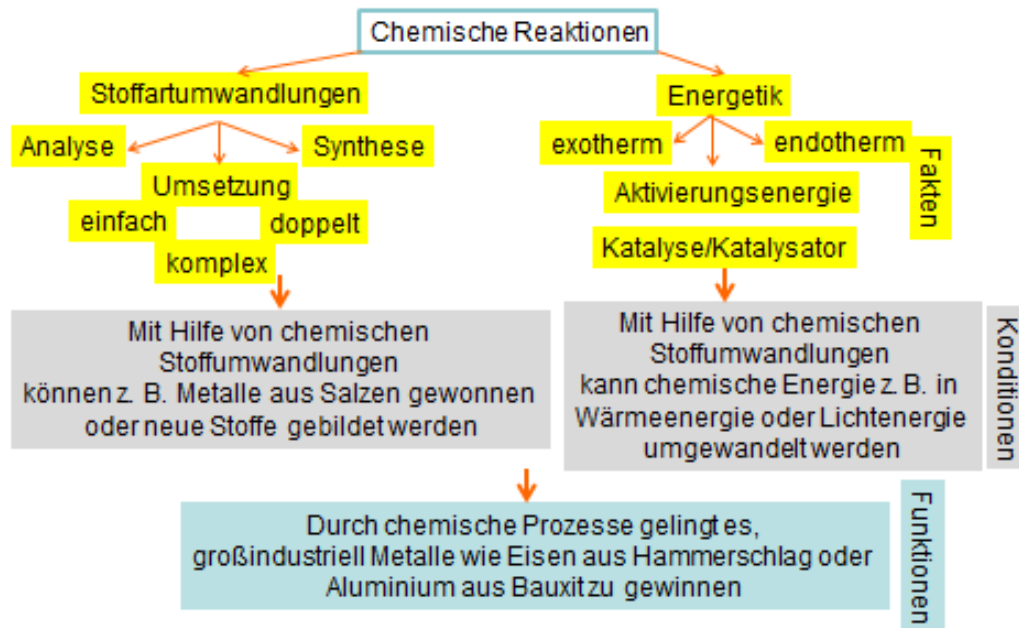


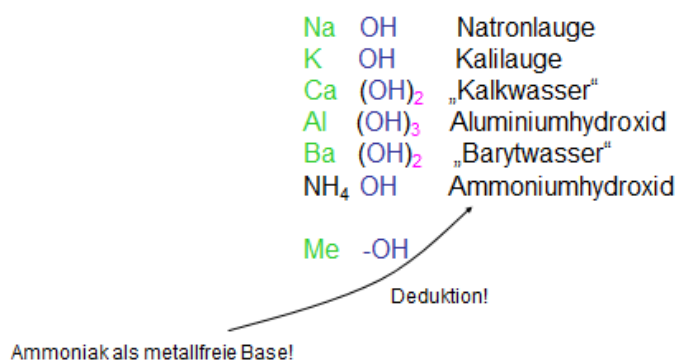
Abb.D12: Schematische Aufarbeitung der Zusammenhänge zwischen exotherm und endotherm sowie Katalyse, dann der Zunahme der Aktivierungsenergie über die vier geschilderten Versuchsabläufe hinweg (mitte) und der Beziehungen zwischen Reaktionstyp und Energetik sowie zwischen Faktenwissen und Konditions- bzw. Funktionswissen

D 1.2.4 Kategorisieren

Neben der Schematisierung, welche sich besonders zur Erweiterung von Wissensnetzen eignet, kann auch die Kategorisierung zur Sicherung des Überblickswissens herangezogen werden. Hier geht es vorrangig um die Hervorhebung von gemeinsamen Merkmalen ausgesuchter Stoffgruppen, welche sich sodann als Identifizierungskriterien eignen. Sie erleichtern die Sortierung von chemischen Verbindungen, wie etwa von Säuren und Basen⁴²⁰, deren Quellen im Zuge des Chemieunterrichts über Jahrgangsstufen und u. U. über Semester hinweg mehr und mehr 'sprudeln' (Abb. D13).

Die Anfertigung derartiger „Kategorienbilder“ unterstützt den „Restorff-Effekt“, wonach „man sich an alle möglichen Inhalte besser erinnert, wenn sie sich von der Umgebung abheben“ (von Malsen, 2014).

Basen **bestehen** aus Metall und Hydroxid-Gruppe



Säuren **bestehen** aus Säure-Wasserstoff und Säure-Rest

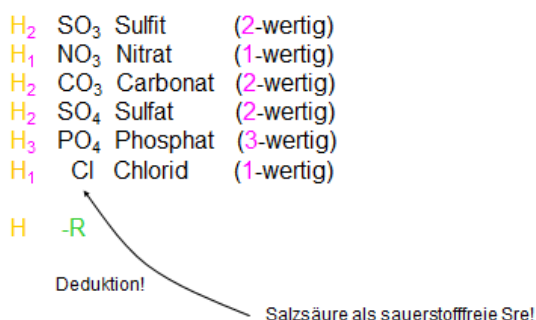


Abb. D13: Beispiel für Kategorisierungen: Alkalische Lösungen entstehen aus Metalloxiden und Wasser, saure Lösungen entstehen aus Nichtmetalloxiden und Wasser (gilt für Vertreter aus dem gekürzten PSE). Säuren und Basen werden getrennt charakterisiert und anschließend zusammengefasst, auf allgemeine Formate (H-R, Me/-OH) zurückgeführt und eindeutig vergleichend aufeinander bezogen.

⁴²⁰ Auch andere Antonyme (Wortpaare, deren Partner sich in ihrer Bedeutung gegenseitig ausschließen) lassen sich hier verdeutlichen: exotherm/endothrm, lipophil/hydrophil etc. (Kober, 1988)

Über diese formale Bildgestaltung hinaus kann auch eine `reale Bildvorgabe` eingesetzt werden. Sie erleichtert die „Rückbesinnung“ auf den Alltag bzw. auf das unterrichtliche Phänomen (Experiment) (Abb. D14).



Abb. D14: Die formale Kategorisierung kann durch eine „reale“ ergänzt werden (Darstellung einmal unterrichts- und einmal alltagsbezogen). Im oberen Bild, welches sich aus der unterrichtlichen Durchnahme der Synthese von klassischen Laugen und sauerstoffhaltigen Säuren ergibt, werden vor dem Hintergrund des gekürzten PSE links Magnesium und MgO in einer durch $\text{Mg}(\text{OH})_2$ blau gefärbten Bromthymolblau(BTB)-Lösung und rechts Schwefel und SO_2 in durch Schweflige Säure gelb gefärbtem BTB dargestellt. In den unteren Bildern findet man links Laugenbeispiele und daneben Säurebeispiele. Damit wird zusätzlich eine Brücke geschlagen zwischen den abstrakten und den lebensweltlichen Identitäten.

Diese Übersichten lassen sich noch erweitern, wenn man bedenkt, dass man die Säure-Base-Reaktionen als „Protonen-Transfer-Reaktionen“ bezeichnen kann. Völlig analog hierzu handelt es sich bei Redox-Reaktionen um „Elektronen-Transfer-Reaktionen“. Bezieht man diese Übereinstimmung der Prinzipien der Einfachheit halber auf die Elemente im gekürzten PSE, ergibt sich eine weitere Möglichkeit, Überblickswissen im Fach Chemie zu schaffen, dann sogar unter Miteinbeziehung der Bindungsarten (Abb. D15).

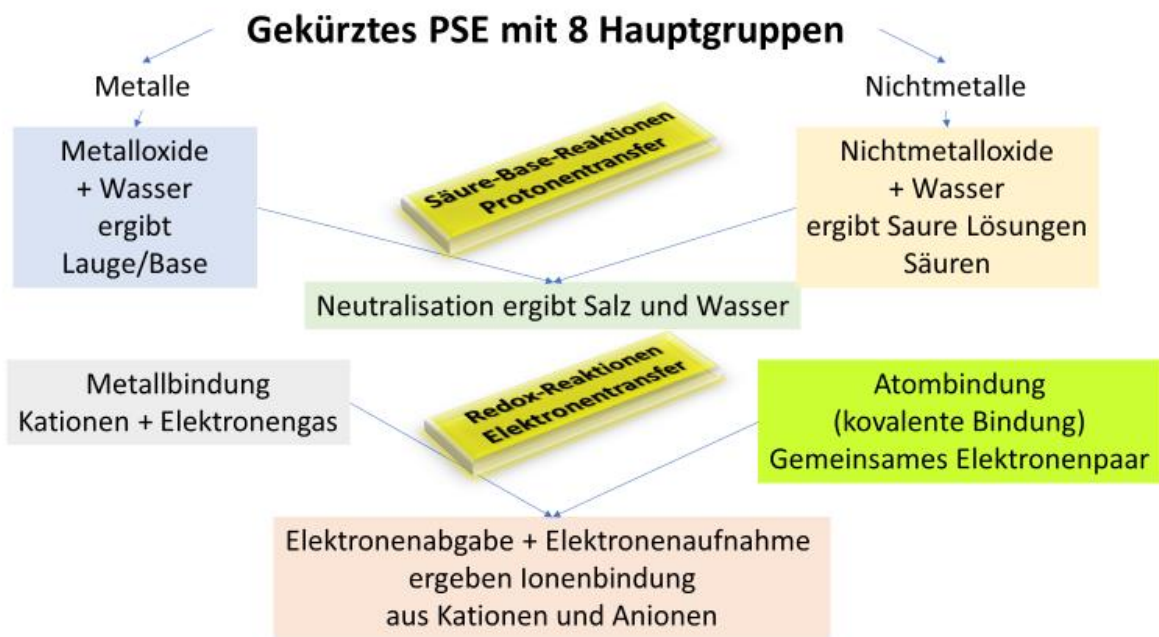
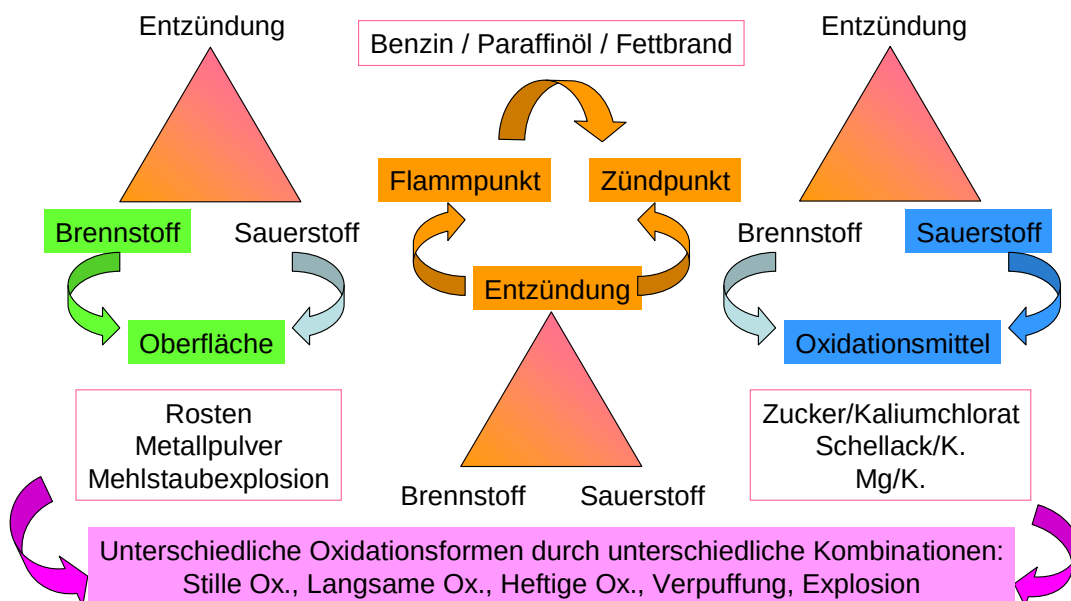


Abb. D15: Legt man das gekürzte PSE zugrunde, dann lassen sich sehr übersichtlich die Zusammenhänge zwischen Metall-Nichtmetallcharakter, Atombau und Bindungstypen im Bereich Säure-Base wie auch Redox darstellen

Auch für die Unterstufe können Übersichten erstellt werden. Dabei muss beim allseits bekannten „Verbrennungs-Dreieck“ nicht verharret werden. Dieses lässt sich in Abhängigkeit von den zunehmenden Einzelkenntnissen und Versuchsergebnissen fortgesetzt ergänzen und erweitern (Abb. D16).

Ausdifferenzierung des Verbrennungsdreiecks Globalisieren des Verbrennungs- & Oxidationsbegriffs





„Teebeutel-Rakete“

Ausweitung und Differenzierung des Verbrennungsdreiecks

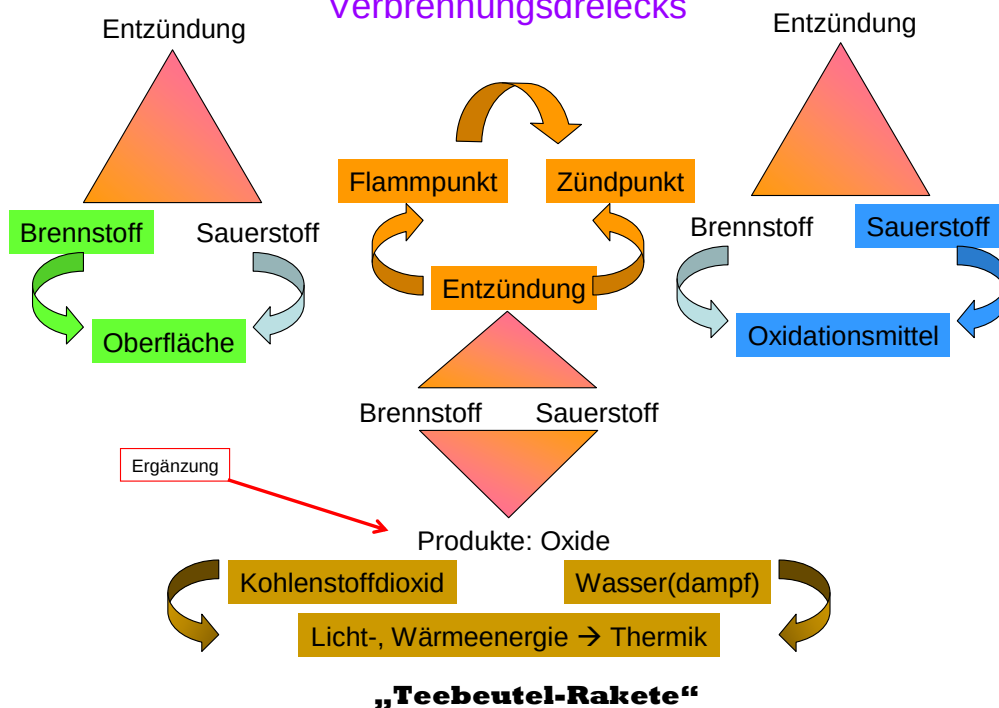


Abb. D16: Allgemeine Bedingungen für eine Verbrennung und spezielle Formen der Redox-Reaktionen werden schematisch einander zugeordnet, wobei oben rechts auch noch die „Erforschung des eigentlichen Brennvorgangs“ integriert wird. Die untere Skizze zeigt zusätzlich die Integration der Verbrennungsprodukte und –effekte beim Versuch „Teebeutel-Rakete“ in das bekannte Schema

Die aufgeführten Beispiele für Strukturierungen lassen sich erweitern, was einer akribischen didaktischen Arbeit entspricht. Um solche Zwischenbilanzen des Wissens zu erzeugen, muss Zeit zur Verfügung stehen. Hierbei handelt es sich um eine gewinnbringende Investition in die Flexibilisierung des Fachgedächtnisses.

Der kognitive Vorteil von Strukturierung besteht neben der Chunkvergrößerung darin, dass beim Aktuell werden eines der Beispiele ein jeweils anderes leichter erinnert wird und sich deshalb (!) beide oder mehrere damit auch für die Bearbeitung eines komplexeren Problems (im WM) zeitgleich einsetzen lassen. Auf diese Weise können sich (domänenspezifische) Expertise und Problemlösekompetenz entwickeln.

Habelitz-Tkocz (2003, 2006) erweitert die Strukturierung um Einheiten des Grundwissens. Im Zusammenhang mit Mind-Mapping (Kramer, 2012), Concept-Mapping (Behrendt & Reiska, 2001; Großschedl & Harms, 2011) und hierzu ergänzend mit Advance Organizer (Holländer & Melle, 2012), Lernplakat und Begriffshierarchisierungen kann der „fachliche Kernbestand des Chemieunterrichts“ (S. 84) verdeutlicht werden. Zudem erfolgt auch der Hinweis, wonach damit „den Schülerinnen und Schülern der eigene Lernfortschritt stets vor Augen geführt wird“ und der jeweilige Kompetenzzuwachs motivierend zurückwirkt (S. 85).

Es wäre zu wünschen, dass moderne Lehrpläne genau solche Elaborierungen des Faktenwissens dezidiert einfordern, auch deshalb, weil sie eine bedeutsame Grundlage für das offene und verständnisorientierte Lehren und Lernen darstellen, wobei in jedem Einzelfall gilt: *Verstehen ist verbunden mit einer physischen Erfahrung, einem „AHA“-Erlebnis, welches als Erkenntnis zunächst eine Anstrengungsunterbrechung bedingt⁴²¹. Diese „Genussphase“ sollte unbedingt bewusst erlebt werden können. Sie ist die Basis für neue Motivation, für ein Erstarken des Fähigkeitsselbstkonzepts. Insofern hat sie große Ähnlichkeit mit der Reaktion auf ein Kompliment: „Von einem guten Kompliment kann ich zwei Monate leben!“ (Mark Twain, 1835-1910).*

Sowohl Analogisierungen, die Erstellung von Schemata, die Entwicklung einer Kategorisierung stellen grundsätzlich einen Rahmen dar, innerhalb dessen neue Informationen sinnstiftend verarbeitet und deshalb auch besser erinnert werden können. Zudem ist davon auszugehen, dass weitere neue Informationen in diese Ordnungssysteme (im Sinne einer Chunk-Vergrößerung) leichter einzubauen sind, als wenn sie lediglich additiv gelernt und als neuer Chunk (Sinneinheit) abgespeichert werden.

Dies gilt allgemein und für das spät-neue Schulfach Chemie im Besonderen. Hier fehlen nämlich nahezu alle Schemata (vgl. auch Aebli, 1976: „Assimilationsschemata“). „Menschen haben anscheinend Schwierigkeiten damit, ihnen dargebotene Informationen zu verstehen [(!)], wenn sie sich nicht auf Schemata früher erworbenen Wissens stützen können“ (Forster, 2014, S. 95). Hieraus ist zu schließen, dass es gerade im Anfangsunterricht darauf ankommt, Ordnungssysteme, beispielsweise in Form von Strukturierungsfeldern zu etablieren, auf die später, also beim Weiterlernen zurückgegriffen werden kann.

Alle der vorgestellten Strukturierungsbeispiele und deren Begründbarkeiten müssen in expliziter Form und exponiert vom Unterrichtsverlauf abgesetzt werden. Bislang finden sich hierzu in den üblichen Lehrbüchern für den Schulunterricht viel zu wenige Beispiele, um darauf verweisen zu können.

⁴²¹In einer Veröffentlichung der amerikanischen Psychologin Alison Gopnik findet sich der Titelteil: „Explanation as Orgasm“ (2000). Entsprechend heißt es bei der Kollegin Tanja Lombrozo (2015): „Der Reiz guter Erklärungen motiviert uns dazu, Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu erkennen, ähnlich wie der Orgasmus uns antreibt, uns fortzupflanzen“ (zitiert aus: Ayan, 2015, S. 76)

Lehrkräfte sind dazu angehalten, diese unterschiedlichen Formen der Übersicht für ihre Belange eigens zu entwerfen und sie an die konkrete, von ihnen verursachte Unterrichtssituation anzupassen. Das gelingt sowohl als „advance organizer“ vor der Neudurchnahme wie auch als „Zusammenfassung“ am Ende eines Kapitels. Letzteres ließe sich bevorzugt mit dem „Rezenz-Effekt“ begründen. Demnach erinnern wir uns an die am Schluss einer Lerneinheit, eines Gesprächs, einer Nachrichtensendung angeführten Informationen besser als an vorherig aufgenommene. Für sie bleibt dem Arbeitsgedächtnis mehr Zeit, sie zu verarbeiten. Auch die „Übersetzung“ von Textpassagen, etwa Versuchsanleitungen im Fließtext, in eine Abfolge von Textfeldern mit Verknüpfungen (Propositionen, Concept-Map) stellt eine hilfreiche, weil schnell deutbare Schematisierung dar, welche das Verständnis von Zusammenhängen zu erleichtern vermag (Adlhoch, 2013).

Die Wissensvernetzung steht in direktem Zusammenhang mit der Abrufbarkeit von Wissen bei dessen (problemorientierter) Anwendung. Der Aufwand, der bei den drei wichtigsten Leistungen des Gedächtnisses (Langzeitgedächtnis=LZG)

beim Aufnehmen, der „Encodierung“, unterstützt von Aufmerksamkeit und

bei der Abspeicherung, unterstützt durch vielfache Assozierbarkeit

geleistet wird, zählt sich in vielerlei Hinsicht aus. Beim Abrufen, unterstützt durch kontextbezogene Verarbeitung, erlangen die hierbei geschaffenen Voraussetzungen für das rasche und sichere Erinnern und Wiedererkennen entscheidende Bedeutung. So lässt sich leicht aus eigenen Erfahrungen bestätigen, dass wir unter sonst gleichen Bedingungen dazu neigen, „uns besser an Informationen zu erinnern, wenn wir uns zu dem Zeitpunkt, wenn wir die Information abrufen wollen, in einem ähnlichen physischen Kontext und emotionalen Zustand befinden, wie wir es zu dem Zeitpunkt waren, als wir die Informationen aufnahmen“ (Forster, 2014, S. 69).

Stimmen Encodierungs- und Abrufkontext hinsichtlich Zeit, Ort, Stimmung und Bedeutungsbeimessung möglichst überein, ist also der Verarbeitungstyp der Lernphase ähnlich dem Verarbeitungstyp in der Test- oder Prüfungsphase (→„Prinzip der Encodierungsspezifität“), so ist die Erinnerungsleistung erwartbar hoch. Man spricht dann von einer „transfergeeigneten Verarbeitung“ (Forster, 2014, S. 84).

Die unterschiedliche Verarbeitungstiefe stellt einen limitierenden Faktor für die Erinnerungsleistung dar. Oberflächlich wird ein Begriff durch seine Nennung „verarbeitet“, tiefere Verarbeitungen gelingen durch Herstellen von phonologischen Ähnlichkeiten bis zu Reimen, die tiefste Verarbeitung erfolgt semantisch, wenn dem neuen Begriff Sinn und Bedeutung, etwa in Form von Zusammenhängen mit anderen zugeschrieben werden kann. Hieraus entsteht dann auch so etwas wie Vertrautheit, was die Wiedererkennung aufgrund der Übereinstimmung von abgespeicherten Wissensinhalten mit aktuell erlebten Sachverhalten unterstützt.

Für das Lernen in Chemie bedeutet das vor allem die Sicherstellung einer zeitlich ausgedehnten und mehrperspektivischen Auseinandersetzung mit Phänomenen (betrachten, nachvollziehen, kommentieren, zeichnen, auswerten ...) und deren abstrahierende Deutung auf der submikroskopischen Ebene. Diese längere und damit auch gründlichere Beschäftigung erleichtert die Prinziperkennung (Reinstofferkennung, Redox-Rkn., Sre-Base-Rkn., Reaktionsmechanismen funktioneller Gruppen in OC-Verbindungen etc.) und damit auch die selbständige Anwendung auf andere Beispiele, welche dann nicht mehr in derselben Ausführlichkeit im Unterricht behandelt werden müssen.

Die Unterstützung von Erinnerungen (Abruf von LZG-Inhalten) erfolgt dann durch sogenannte „unspezifische Hinweisreize“ („Was haben wir in der letzten Chemiestunde gemacht?“). Sie führen zum freien Erinnern (free recall).

Wird von den Fragenden Gedächtnisarbeit übernommen, etwa durch „spezifische Hinweisreize“ (Haben wir in der letzten Stunde die Redox-Reaktion an Mg oder an Al durchgeführt?), so spricht man von hinweisreizgesteuertem Erinnern (cued recall, Forced-Choice-Wiedererkennung). Es gilt, „dass die Qualität unserer Erinnerung davon abhängt, wie gut wir die Information zum Zeitpunkt der Encodierung verarbeiten“ (Forster, 2014, S. 65). Für diese gewinnbringende, also erinnerungsfreundliche Verarbeitung benötigen nicht nur SchülerInnen Zeit!

D 1.3 Lernprozessesstrukturierung

‘Spätestens seit Piaget’ wissen wir sehr genau, dass Lernleistungen von entwicklungspsychologischen Bedingungen abhängig sind (Tab. D2⁴²²). Es handelt sich hierbei um einen gestuften Prozessablauf, der -wie viele andere Lernleistungen- durch äußere Anreize und Lernangebote unterstützt, durch deren Ausbleiben oder Fehleinstellung aber auch behindert werden kann.

Konkretheit und Abstraktion

(Piaget, 1886-1980)

sensumotorisch	0-2 Jahre	Wahrnehmung, Wiedererkennen, Koordination von Mittel und Zweck
präoperational	2-7 Jahre	Verständnis funktionaler Beziehungen, symbolisches Spiel
konkret-operational	7-11 Jahre → 7-14 J. (Lawson)	Invariante Strukturen von Klassen, Zahlen, Relationen
formal-operational *Übergang: 65% *Sicher: 25%	11-15* Jahre → 11-16 J. → (Lawson)	Urteilendes und hypothetisch-deduktives Denken

Tab. D2: Phasen in der geistigen Entwicklung eines Menschen (Kind, Jugendlicher) nach Piaget. Folgeuntersuchungen (Lawson, 1978) haben ergeben, dass der Prozentsatz der 11-16-Jährigen, die sicher in ihrer Abstraktionsfähigkeit ist, lediglich 25 % ausmacht.

Im Falle des Schulunterrichts wird diese Denkentwicklung besonders dadurch gefördert, dass unterschiedlich komplexe, hier unterschiedlich abstrakte Darstellungen eines Sachverhalts zumindest anfangs stets in Kombination mit beschreibenden bzw. bildhaften Veranschaulichungen angeboten werden. „Erst die mündliche und schriftliche Sprache, die mathematischen Symbolsysteme sowie Zeichnungen und Diagramme verschaffen den Zugang zu der Welt der Ideen und wissenschaftlichen Begriffe, d.h. sie erlauben es, sich von der unmittelbaren Wahrnehmung zu lösen und das Unsichtbare sichtbar zu machen“ (Stern, 2002, S. 37; Stern et al., 2003). Greutmann et al. (2021) sprechen hier von der Wahrnehmung von „charakteristischen Oberflächenmerkmalen“, welche sie „theoriegeleiteten, definitorischen Merkmalen“ gegenüberstellen (S.34).

Damit darf schon sehr früh, etwa in der Grundschule und dann im Natur- und Technik-Unterricht begonnen werden. Im Bereich der Mittelstufe, Sekundarstufe I ist davon auszugehen, dass die Mehrzahl der SchülerInnen noch deutlich auf das Konkrete fixiert ist und am Bekannten hängt. Der Hirnforscher Wolf Singer (MPI Frankfurt), formuliert es prägnant: „Die Existenz zeitlich gestaffelter sensibler Phasen für die Ausbildung verschiedener Hirnstrukturen führt zu dem Postulat, dass das Rechte zur rechten Zeit verfügbar oder angeboten werden muss. Es ist nutzlos und womöglich sogar

⁴²² Eine beispielhafte Erläuterung der Piaget-Phasen für das Fach Chemie findet sich bei Sommer et al., 2018, S. 177-178

kontraproduktiv, Inhalte anzubieten, die nicht adäquat verarbeitet werden können, weil die entsprechenden Entwicklungsfenster noch nicht offen sind“ (2001).

Um den Weg in den Gebrauch der Modelle, insbesondere im Bereich der Chemie zu eröffnen, ist es wichtig, nicht unmittelbar den steilen Anstieg vom Experiment zur Reaktionsgleichung zu machen, sondern die SchülerInnen flach über Analogiebildungen (Krämer et al., 2008), über die Skizze, das Versuchsprotokoll zu den Interpretationen anhand von z. B. gezeichneten oder animierten Atom- und Bindungsmodellen zu führen.

Dies ist ein Weg, den SchülerInnen sukzessive in die eigene Lernstrategie übernehmen, denn „Das Kind muss die Angebote der Umgebung zum Aufbau von Verständnis aktiv und selbständig nutzen, und niemand kann ihm diese Aufgabe abnehmen“ (Stern, 2002, S. 40), aber es muss ihm solche Arbeit als „mathetische Holpflicht“ zumindest vorgemacht und kontrollierend gelehrt werden. Im fortgeschrittenen Stadium geht es nicht nur um die geistige Beweglichkeit in eine Richtung, also immer vom Phänomen zum Algorithmus, sondern um ein flexibles Hin und Her, um das bedarfsgerechte Verweilen auf und fallweise Überspringen einzelner Ebenen.

In diesem Zusammenhang kommt eine weitere Theorie ins Spiel, welche sich auf einen Forschungsansatz bezieht, der eng mit der Variationstheorie im Zusammenhang steht: Die „Phänomenographie“ (Samuelsson, 1970). Es geht um die Erfassung von LernerInnenperspektiven, um ein diagnostisches Hilfsmittel zur prognostischen Einschätzung von Lernerfolgen und um die Entwicklung didaktischer Strukturierungen. Aufgrund von Längsschnittuntersuchungen über fünf Jahre an 27 Studierenden konnten signifikante Beziehungen zwischen der Lernauffassung als Aufgaben- und Inhaltsverständnis und dem Lernerfolg nachgewiesen werden (Marton, Beaty, Dall’Alba, 1993). Wird Lernen als Aufgabe gesehen, so kommt es zur Wissensmehrung, zum Auswendigkernen und Reproduzieren wie zum Anwendenkönnen. Insgesamt bleibt der Lernerfolg gering. Wird dem Lernen und damit dem Lerngegenstand hohe Bedeutung beigemessen, so kommt es zu großen Lernerfolgen. Es wird der LG verstanden, es erfolgt ein Perspektivenwechsel und es kommt zur Veränderung der Person. Hieraus ableitbar ist die gewichtige Rolle der Bedeutung, die vom Lernenden einem LG beigemessen wird, dem daraus sich entwickelnden Lernwillen im Sinne des Verbindens des Neuen mit dem vorhandenen Wissen. Damit verbunden ist die Bereitschaft zur Bearbeitung von Transferaufgaben sowie deren kreativer Weiterführung (Abb. D17).

Phänomenographie (PG)

→ Lernprozessstrukturierung
(Samuelsson, 1970)

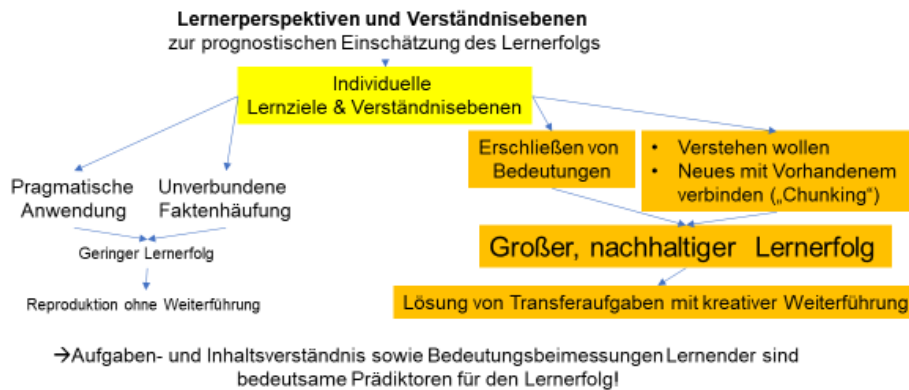
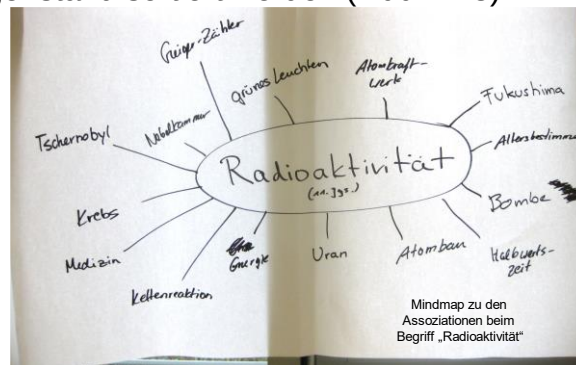


Abb. D17: Schematische Übersicht zu den Zusammenhängen von Bedeutungsbeimessungen und Lernerfolg im Kontext der „Phänomenographie“

Diese Beziehungen lassen es als sehr sinnvoll und wichtig erscheinen, die jeweilige Verständnisebene und die entsprechende Bedeutungsbeimessung bei SchülerInnen zu ermitteln, um so den erwartbaren Lernerfolg angemessen einzuschätzen. Hierzu eignet sich ein systematisches Vorgehen, bei dem die ermittelten und festgehaltenen Assoziationen der SchülerInnen (vgl. auch „Präkonzepte“) in Bezug auf einen ausgewählten Lerngegenstand sortiert werden (Abb. D18).



Klassifizierungen zur Diagnose

• Fakten

- Nebelkammer
- Geiger-Zähler
- Halbwertszeit
- Altersbestimmung
- Kernkraftwerk
- ...

• Bedeutungen als Befürchtungen & Ängste

- Krebs
- Bombe
- Fukushima
- Tschernobyl
- ...

Diagnosekompetenz

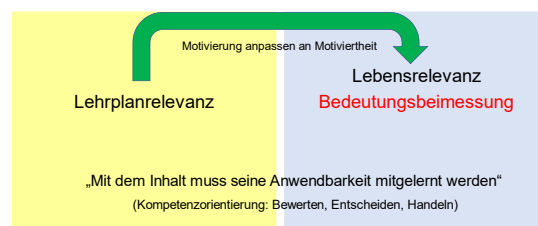


Abb. D18: Aus einem Brainstorming zum LG „Radioaktivität“ entstehen zwei Gruppen von Begriffen, die sich einmal den Lehrplaninhalten zuordnen lassen und zum anderen den Bedeutungen, die sie für die SchülerInnen besitzen.

Die Umfänge der beiden Gruppen können wie folgt interpretiert werden: Zahlreiche Bedeutungen und geringe Fachinhalte lassen auf geringes Fachwissen und hohe Motiviertheit der Lernenden schließen. Im umgekehrten Fall ist mit viel Vorwissen und geringem Interesse zu rechnen.

Mit der Aufdeckung von Präkonzepten und der Diagnose einer differenzierten Motiviertheit durch das Verhältnis von Fakten- und Funktionswissen (Vgl. Kap. A 3.1) kann der Unterricht kontinuierlich darauf abgestimmt werden. Mit Hilfe eines kleinschrittigen Vorgehens lassen sich die Erklärarbeiten sowohl auf den erforderlichen Wissenszuwachs wie auch auf die unterschiedliche Betroffenheit der SchülerInnen abstimmen. Das „Small-Step-Teaching“ (SST) ist dabei ein hilfreiches didaktisch und deutlich mathematisch orientiertes Prinzip.

Ein derartiger „virtuoser“ Umgang mit „Methodologie“ und „Strukturologie“ gilt nach Metaanalysen von Untersuchungen zur Unterrichtsqualität als wesentlicher Faktor für eine erfolgreiche instruktive Lehrarbeit⁴²³. Dies entspricht auch einer ökonomischen Nutzung der verfügbaren Lehr- und Lernzeit.

Bei der Frage nach den Qualitäten der LehrerInnen, die diese Anforderungen erfüllen und die so genannte Optimalklassen (Abb. D1) entwickeln und erhalten, mag es sich wohl um solche handeln, die *ihre* Aufmerksamkeit im Rahmen der Diagnosekompetenz und des Unterrichtsmanagements nicht von der Leistung des jeweiligen Schülers und der jeweiligen Schülerin abhängig machen, sondern sie auf gleiche Weise allen SchülerInnen gewähren und dabei ihre unverstellte Persönlichkeit investieren: „Ich seh’ dich!“ (Rühle, 2013). Ihre `Aufmerksamkeit`, `Diagnosefähigkeit` und `Empathie` ließen sich auch mit dem Begriff der `Echtheit` (Storch & Tschacher, 2014, S. 64) bzw. `Achtsamkeit` umschreiben, einer sehr bewussten, feinsinnigen, äußerst empfindlichen Registrierung geringster Veränderungen und umfassenden Wahrnehmung von relevanter Umwelt (hier: Unterrichtsgeschehen) (Vgl. auch „Achtsamkeit als intensive Wahrnehmung des Augenblicks“ in Weber, 2013: „Die ganze Welt in einer Rosine“; S. 18). Die Aufmerksamkeit jedes Schülers, jeder Schülerin folgt der Achtsamkeit des Lehrers und der Lehrerin.

`Achtsame` Lehrpersonen zeigen eine hohe „Gegenwärtigkeit“ („withitness“⁴²⁴) (Kounin, 1970; zit. aus Helmke, 1988) sowie eine ausgeprägte `Adaptive Lehrkompetenz`, bestehend aus:

- effizienter Klassenführung mit vorherrschender Nutzung der Lernzeit
- Nichtauslagerung „fremdsubstituierter Instruktionsfunktionen“ (z.B. Hausaufgaben⁴²⁵, die gerade zuhause sehr unterschiedlich unterstützt werden können)
- Klarheit und Verständlichkeit der Ausführungen

⁴²³ "Instruktion lässt sich als Inbegriff jener Handlungen und Maßnahmen umschreiben, die darauf gerichtet sind, die Bedingungen, Prozesse und Ergebnisse des Lernens kollektiv, differentiell oder individuell zu optimieren. Instruktionsprinzipien sind dementsprechend grundlegende Aussagen darüber, was zu tun oder zu unterlassen ist, um Lernen in erwünschter Weise zu beeinflussen." (Weinert, 1996, S 37-38).

⁴²⁴ Auch „betweenitess“

⁴²⁵ Zum Thema „Hausaufgaben in den MINT-Fächern existiert eine Metaanalyse, aus der keine einheitlichen Ergebnisse ablesbar sind. Dennoch können Empfehlungen extrahiert werden: „Je besser die Aufgabenstellung durchdacht und je transparenter der Mehrwert von Hausaufgaben für die Schülerinnen und Schüler ist, desto deutlicher können Lehrerinnen und Lehrer den Nutzen von Hausaufgaben steigern. Außerdem ist es hilfreich, wenn sie Lernende dazu motivieren, ihre Hausaufgaben möglichst gut und vollständig zu erledigen“ (Wiesbeck & Schneeweis, 2018, S.10). Vgl. auch: www.clearinghouse-unterricht.de und www.bit.ly/2KuZF18

- Schaffung geeigneter Formen der Lehr-Lern-Organisation⁴²⁶
- schülerInnenorientierte Variation von Schwierigkeiten ... [einzelner] Anforderungen
- Förderungsorientierung
- Betonung und Abschwächung geschwindigkeitsbetonter kognitiver SchülerInnenleistungen
- Diagnostische Sensibilität
- Positive affektive Tönung der LehrerIn-SchülerIn-Beziehung´ (Helmke, 1988).

LehrerInnen sind ein vorbildrelevanter Bestandteil des Kontexts des Lernens (Fischler, 2000; Köller et al., 2013), wobei es bei ihnen qualitativ darum geht, kein Auseinanderfallen von Absicht und Handeln zuzulassen. Die Entwicklung von Routinen muss dem nicht zwingend entgegenwirken, da große Abstände ebenso routinisiert werden können wie klare Übereinstimmungen. Ersteres ist jedoch wesentlich aufwändiger, auf die Dauer anstrengender und –wenn vom Lernenden entdeckt- letztlich desaströs. Überdies fehlt dann auch ein wichtiges Kriterium für Autorität, die „Vorhersage-Validität“, die Berechenbarkeit und Verlässlichkeit und somit zusätzlich ein wesentliches Kriterium für soziale Stabilität. So findet man „in vielen Fällen ... übereinstimmend eine ausgeprägte Diskrepanz zwischen den bekundeten Absichten und den tatsächlichen Entscheidungen, und zwar immer dann, wenn fachdidaktisch begründete, schülerorientierte Vorstellungen unter dem wahrgenommenen Druck der Praxis zugunsten von lehrerorientierten Handlungsmaximen zurückgedrängt werden“ (Fischler, 2000, S. 29). „A disposition to act is not the same as acting on a disposition“ (Rodriguez, 1993, S. 214; zit aus Fischler, 2000). In Abb. D6 werden die beiden Möglichkeiten plakativ einander gegenübergestellt. Um von einer „Prozessbestimmung“ zur „Prozessbegleitung“ zu gelangen, ist es ratsam, in unvorhersehbaren Situationen nicht in starre Routinen zu verfallen. Vielmehr darf davon ausgegangen werden, dass Überraschungen, also für Unterricht Typisches, „planerische Aktivitäten sogar zwangsläufig nach sich ziehen. Sie unterbrechen einen gerade ablaufenden Prozeß, fokussieren die Aufmerksamkeit auf das emotionsauslösende Ereignis, konfrontieren das Subjekt mit einer Diskrepanz zwischen der antizipierten Situation und dem davon abweichenden, tatsächlichen Ereignis und veranlassen es zu [gezielten] Handlungen, um die Diskrepanz zu verringern“ (Mühlhausen, 1994, S. 375).

In Bezug zu einer überzeugenden Darlegung fachlicher Inhalte im Verein mit ihrer Bedeutung, also in Bezug zur Begeisterungsfähigkeit der Lehrkraft ist die Entwicklung einer möglichst hohen Kongruenz von Absicht und Handlung das erklärte Ziel persönlichkeitsprägender Professionalität eines Lehrers und einer Lehrerin.

In der LehrerInnenbildung „hinzukommendes Wissen [muß] mit den bisherigen Vorstellungen vom Lehren und Lernen so verknüpft werden, dass daraus Handlungsabsichten werden, die den Erkenntnissen [fachbezogener Lernpsychologie] entsprechen“ (Fischler, 2000, S. 27). „Der Lehrer ist für den Schüler eine Leitfigur, ein Vorbild, und dies müssen alle Schulreformbemühungen respektieren, und zwar auch diejenigen, die die Eigenaktivitäten der Schüler zu Recht hoch bewerten“ (Roth, 2013, S. 126).

⁴²⁶ Untersuchungen des „Clearing House Unterricht“ der TU München zur Frage „Können innovative Unterrichtsmethoden in den MINT-Fächern Motivation und Leistung fördern?“ zeigen letztlich, dass es wichtig ist, „dass Lehrkräfte überhaupt innovativ unterrichten und dabei auf die Qualität der Inhalte und deren **Umsetzung** achten“ (Knogler & Schneeweiss, 2020, S. 9). Dabei werden als „innovative Unterrichtsansätze“ angeführt: 'Kontextbasierte Ansätze, Forschendes Lernen (Vgl. auch Fußnote auf S. 23), Lernen mit digitalen Medien, Kollaboratives Lernen, Extracurriculare Aktivitäten' (www.t1p.de/innovativer-mint-unterricht)

Untersuchungen (vgl. Weinert, 1976) zeigen, „dass derjenige Unterricht besonders erfolgreich, lernwirksam und lebendig war, der mit dem favorisierten Verfahren der Lehrkraft durchgeführt wurde“ (Schmidkunz, 2005). „Es sind vor allem die kognitiven, nicht die sozialen oder emotionalen Fähigkeiten, die erfolgreiche Lehrer auszeichnen. So ist das Klassenklima in ihren Klassen besser als in denen der weniger erfolgreichen Lehrer. Sie machen aber einen klaren und gut strukturierten Unterricht, stellen sich auf jeden Schüler individuell ein, fördern ihn gezielt und setzen je nach Lernstoff unterschiedliche Unterrichtsmethoden ein. Um das zu leisten, bedient sich ein Lehrer einer geschickten Fragetechnik, stellt hohe Leistungserwartungen an seine Schüler und macht einen wohlgeplanten und streng organisierten Unterricht, der das aufgabenbezogene Verhalten der Schüler sicherstellt, zielerreichendes Lernen betont, tutorielle Hilfen gibt und diagnostische Rückmeldung⁴²⁷ bietet“ (Gast, 1998, S. 10; ⁴²⁸).

Hierzu sei auf Untersuchungen von Roediger und Butler (2010) verwiesen. Aus ihnen geht hervor, dass das vom Lerner aktiv betriebene wiederholende Üben eines gelernten Sachverhalts (im Gegensatz zum erneuten Lesen oder Hören der primären Informationsquelle), auch unter Verwendung geeigneter Analogbeispiele im Kontext besonders effektiv ist. Wenn ein zusätzliches Feedback, welches nicht sofort auf eine richtige Aussage folgt, sondern zusammenfassend und zeitlich versetzt, gegeben wird, dann verursacht dies den größten Effekt auf die Genese flexiblen Wissens im Langzeitgedächtnis. Nach Klieme (2016) wirkt sich „eine Auflistung persönlicher Stärken und Schwächen mit Empfehlungen zum Weiterlernen“ (S. 41), alternativ zu Noten und Platzierungen auf Kompetenzskalen, am besten auf die Motivation von SchülerInnen aus.

Im Hinblick auf die Absicht, im Unterricht sowohl kognitive wie auch nichtkognitive, also epistemologische und emotionale Ziele zu erreichen, zeigen Untersuchungen von Gruehn (1995), dass derartige multikriteriale Effekte dann zu erreichen sind, wenn „Lehrer in ihrem Unterricht Formen der direkten Instruktion, die eher leistungsfördernd sind, mit Elementen eines sozialen Klimas verbinden, das die sozialen Beziehungen zwischen Lehrern und Schülern hervorhebt und durch ein für Schüler wahrnehmbares emotionales Engagement des Lehrers gekennzeichnet ist“.

Schlussendlich gilt, „Lehrer können auf eine sehr unterschiedliche, aber nicht beliebige Art und Weise gleichermaßen guten und erfolgreichen Unterricht halten“ (Weinert, 1996, S. 143). Gleichzeitig „[vereinfachen] Leitbilder vom Lehrer, die die schulpädagogische Literatur im Laufe der Zeit hervorgebracht hat: der Lehrer als Gärtner, als Töpfer, als Dompteur, als Bildhauer, als Makler, als Anwalt, als Mentor, als Weiser, als Künstler, als Schauspieler ... das Interaktionsgeschehen Unterricht in unzulässiger Weise, da sie es –nolens volens- technisch verstehen (Wiater, 1997, S. 467)⁴²⁹“.

In dieselbe Richtung zeigt das Ergebnis von 931 weltweit angelegten Metaanalysen zu 60000 empirischen Einzeluntersuchungen an mehr als 88 Millionen SchülerInnen mit der Frage nach den Faktoren, die erfolgreiches Lernen bedingen (Hattie, 2009, 2012⁴³⁰).

⁴²⁷ Feed-Back als *Reduzierung der Diskrepanz zwischen angestrebtem Ziel und gezeigten Aktivitäten und Leistungen* über: Was will ich erreichen? (Feedup); Was gelingt mir derzeit? (Feedback); Wie geht es weiter? (Feedforward)

⁴²⁸ Vgl. hierzu auch das Themenheft „Förderung: Basis, Praxis und Perspektiven“ der „Empirischen Pädagogik 27 (2013) 3 (Hrsg.: Jäger, R. S.; Haag, L.)

⁴²⁹ Bei Knowles et al. (2006, zit. nach Jäger, 2013, S. 283) taucht auch der Begriff des „Facilitators“, des Förderers auf

⁴³⁰ Das Buch von Hattie „Visible Learning“ ist ins Deutsche übersetzt: Hattie, J.; Beywl, W.; Zierer, K. (2013). Lernen sichtbar machen. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von „Visible Learning“. Hohengehren: Baltmannsweiler, Schneider

Zu: Hattie vgl. auch Kommentar von I. Parchmann „Hattie – der neue Boom im Bildungsdiskurs? (ChemKon 20 (2013) 2, 57-58)

Demnach liegen die Effektstärken d für „offenen Unterricht“ bei .01, für „direkte Instruktion“ dagegen bei 0.59⁴³¹. Eine der Ursachen mag sein, dass der Unterrichtserfolg zu einem sehr hohen Anteil bedingt wird von der ‚Art und Weise‘ wie die Lehrperson in Mimik, Körpersprache, Auftreten und Blickkontakt mit den SchülerInnen Kontakt hält. Zu etwa einem Drittel(!) beruht er auf den methodischen und instrumentellen Merkmalen der Unterrichtsgestaltung!

Zusammenfassend sei hier betont, dass die Einstellung der Lernbedingungen durch den Lehrenden hinsichtlich Lehr- und Lernmethode wie auch Strukturierung Basis zu sein hat für die schülerindividuelle, also adressatenspezifische Anwendung von Lernstrategien, mit denen die inhaltsspezifische Konstituierung des Gegenstands (Fachinhalt) besonders effizient erfolgen kann. „Nicht nur Fleiß und Begabung eines Abiturienten beeinflussen die Leistung, sondern auch die Qualität des Unterrichts“ lautet der Schlusssatz im Artikel „Armutszeugnis voller guter Noten“ von Johann Osel in der SZ vom 25.7.2013 zum ‚Thema des Tages‘ „Noten-Ungerechtigkeit in Deutschland“.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen über die personalen Ursachen für guten Unterricht entwickelte sich zunächst das „Prozeß-Produkt-Paradigma“ („Transmission View“, Köller et al., 2013). Auf seiner Basis wurde eine Vielzahl an Untersuchungen durchgeführt um „Zusammenhänge zwischen dem, was der Lehrer im Unterricht tut (dem Prozeß des Lehrens) und dem, was auf Seiten der Schüler dadurch bewirkt wird (dem Produkt des Lernens) (Anderson et al., 1979, S. 193; zit. nach Weinert, 1996) zu entdecken.

Die Ergebnisse dieser Lehr-Lernforschung waren frustrierend. Keine Kausalitäten waren zu identifizieren. Vielmehr zeigte sich, dass es primär drei Bedeutungszuweisungen waren, die Unterrichtserfolge zu verursachen vermögen.

- Überzeugungen von den Bedingungen des Lernens und der Leistungsunterschiede
- Überzeugungen von Begabungsstabilität und der eigenen und helfenden Anstrengungsbereitschaft sowie
- Überzeugungen von der sozialen Grundlage des Lehrens und Lernens.

Die sich hierin zeigende pädagogische Motivation beim Lehrenden und ihr lernmotivationale Pendant bei SchülerInnen bildeten die Grundlage für das heute akzeptierte „Novizen-Experten-Paradigma“ („Constructivist View“). Nach ihm sind es ausschließlich langfristig erworbene inhaltsspezifische Kompetenzen, auf professionellem Wissen aufgebaute, durch reflektierte Erfahrung abgesicherte mentale Situationsmodelle (prozedurales Wissen), welche auf die jeweiligen Problemsituationen sehr rasch und erfolgreich angewandt werden können. Nach Terhart (2002) befördert dieses neue Prinzip eine konvergente Aktivität von Allgemeiner Didaktik im Sinne der Ausbildung und von empirischer Lehr-Lern-Forschung im Sinne empirisch abgesicherter Ausbildungsinhalte und –ziele.

Solche Handlungsmuster oder „konfigurativen Lehrmodelle“ (Weinert, 1996, S. 147) entstehen bei LehrerInnen (im Gegensatz zu allen anderen Expertiseausformungen) nicht automatisch in Abhängigkeit von der Berufsdauer. Vermutlich liegt die Ursache in der Uneinheitlichkeit einer Schulklasse als Rückmeldesystem, sodass LehrerInnen in

Vgl. auch: Köller, O.; Möller, J.; Möller, J. (2013). Was wirkt wirklich? Einschätzungen von Determinanten schulischen Lernens. München: Oldenbourg

⁴³¹ Werte zwischen 0.0 und 0.2 signalisieren zu vernachlässigende Effekte, bei d -Werten zwischen 0.4 und 0.6 kann von einem großen Effekt gesprochen werden. Werte über 0.6 bedeuten einen sehr großen Effekt (vgl. auch IPN-Blätter 29 (2012) 2, 1 und 3; vgl. auch DIE ZEIT vom 13.1.13).

einer Kurzschlusschleife den Erfolg bzw. Misserfolg ihrer Tätigkeit unter rückwirkender Anpassung ihrer ursprünglichen Absichten sicherstellen und daraus frühzeitig entwicklungsresistente Routinen aufbauen. „So lassen sich so gut wie immer anekdotische Belege für die Effektivität der subjektiv für sinnvoll empfundenen Maßnahmen finden. Hattie beschreibt dieses Prinzip des Lehrerhandelns als „just leave me alone as I have evidence that what I do enhances learning and achievement (Hattie, 2009, S. 6)“ (Köller et al., 2013, S. 52). Für die Expertiseentwicklung bei LehrerInnen sind deshalb gerade Supervisionen von so außerordentlicher Bedeutung.

Vielleicht ist dieser Paradigmenwechsel in der Lehr-Lernforschung während der vergangenen 20 Jahre mit eine Ursache für den zeitlich fast parallelen Wechsel vom „Direct-instruction-Paradigma“ (inhaltszentrierte Schülerorientierung: Strukturierte Unterweisung; „expositorisches Lehren“; „mastery approach“) hin zum „Progressiv-education-Paradigma“ (schülerzentrierte Inhaltsorientierung: Projektunterricht; „entdeckendes Lernen“, „discovery-approach“), verbunden mit einer Defunktionalisierung der Lehrperson, die sich fortan nur mehr als ModeratorIn, als „LernbegleiterIn“ (ohne einen wesentlichen Kompetenzzugewinn) verstehen sollte!

Beide *„Wechsel von einer wissenschaftlichen Grundauffassung zu einer anderen“* veranlassen gerade nicht zu einer Alles-oder-Nichts-Entscheidung. Vielmehr ist ein situationsabhängiges Sowohl-als-auch angebracht, um die gegenseitige Aufmerksamkeit im Unterricht optimal in den Dienst zu nehmen. Um Strukturierungsgrade zu reduzieren, müssen sie zunächst ausgeprägt vorhanden sein: Wenn sich eine Lehrkraft zurücknehmen soll, dann muss sie sich zuvor deutlich eingebracht haben.

LehrerInnen sind immer auch Verhaltensmodelle und Repräsentanten ihrer Disziplin: „Die Persönlichkeit des Lehrers äußert sich in Verhaltensweisen, mit denen sich die Schüler zu identifizieren versuchen. Aus ihrem Bemühen, das eigene Verhalten dem des von ihnen anerkannten Lehrers anzugleichen, gewinnen Schüler Lernmotivation“ (Schiefele, 1971, S. 59). Vorbildsein heißt demnach, dass die Lehrkraft mit dem Bild, das Schüler und Schülerin von ihr haben, vorsichtig umgehen muss.

Damit kommt erneut die Bedeutung des jeweiligen pädagogischen Konzepts der Lehrperson ins Gespräch. Es behält dann seine positive Auswirkung, wenn es auf theoretische Extrempolarisierung verzichtet und sich in seiner flexiblen Anwendung zwischen „individualisierend“ und „systemisch“ auf die jeweiligen Bedarfe des Lerner und der Lernerin, aber auch des Inhalts ausrichten kann.

Dieses „Sowohl-als-auch“ findet seine wissenschaftlich-empirische Absicherung und fallbezogene Verwirklichung in drei pädagogischen Maßnahmen einer „formativen Lernverlaufsdagnostik“ (Gold, 2015, S. 129):

- Response to intervention (RTI):
 - Instruktionsresponsivität (Überprüfung individueller Lernfortschritte und angepasste Förderung)
- Multiplier system of support (MTSS):
 - Unterstützungshierarchien (Überprüfung von Lernfortschritten einer größeren Lernergruppe und evtl. Änderung des Unterrichtsprinzips)
- Curriculumbasierte Messungen (CBM):
 - Überprüfung der Ansprüche (NBS mit Kompetenzbereichen und Anforderungsstufen) und deren Erreichbarkeit durch den Lerner (Vgl. Gold, S. 129)

und diese lässt sich durchaus konkret fassen, insbesondere für den Chemieunterricht.

D 1.3.1 Kleinschrittigkeit

Eine deutlich konzipierte Mitverfolgung des Lernfortschritts wird dadurch unterstützt, indem die hinführenden Lernstationen kleinschrittig („Small-Step-Teaching“, SST) und überschaubar gehalten und deren einzelne Schwierigkeitsgrade vorweggenommen sowie didaktisch und dabei insbesondere „co-konstruktiv“ aufbereitet werden. Dieses ‚Auflösen des Gegenstandes in seinen Werdeprozess‘ (Roth, zit. aus Drechsler, 1967, S. 101) ist eine qualitative Leistung der jeweiligen Lehrkraft. Sie lässt sich sehr detailliert aufschlüsseln (Abb. D7) und sollte den Lernenden explizit mitgeteilt werden. Beispiel für einen LG der Chemie (Vgl. hierzu auch die Aussagen zur „Variationstheorie“):

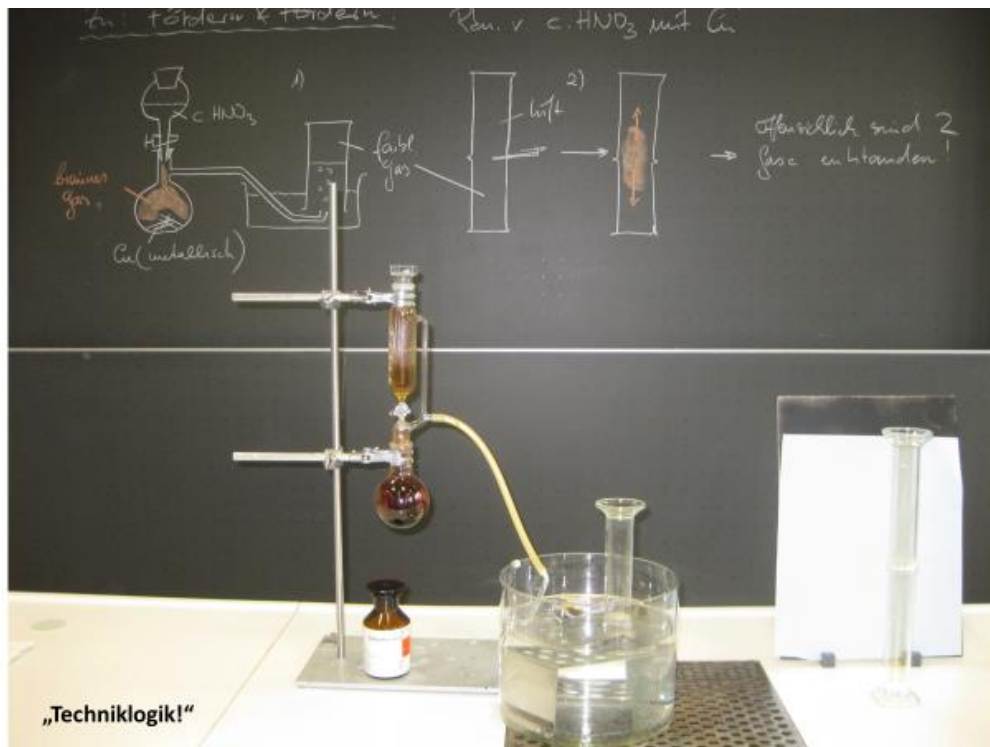
Direkter LGd: Oxidierende Wirkung konzentrierter Salpetersäure

Indirekter LGi: Aufzeigen der Erkennbarkeit eines zunehmend abstrakter werdenden Einblicks in chemische Prinzipien

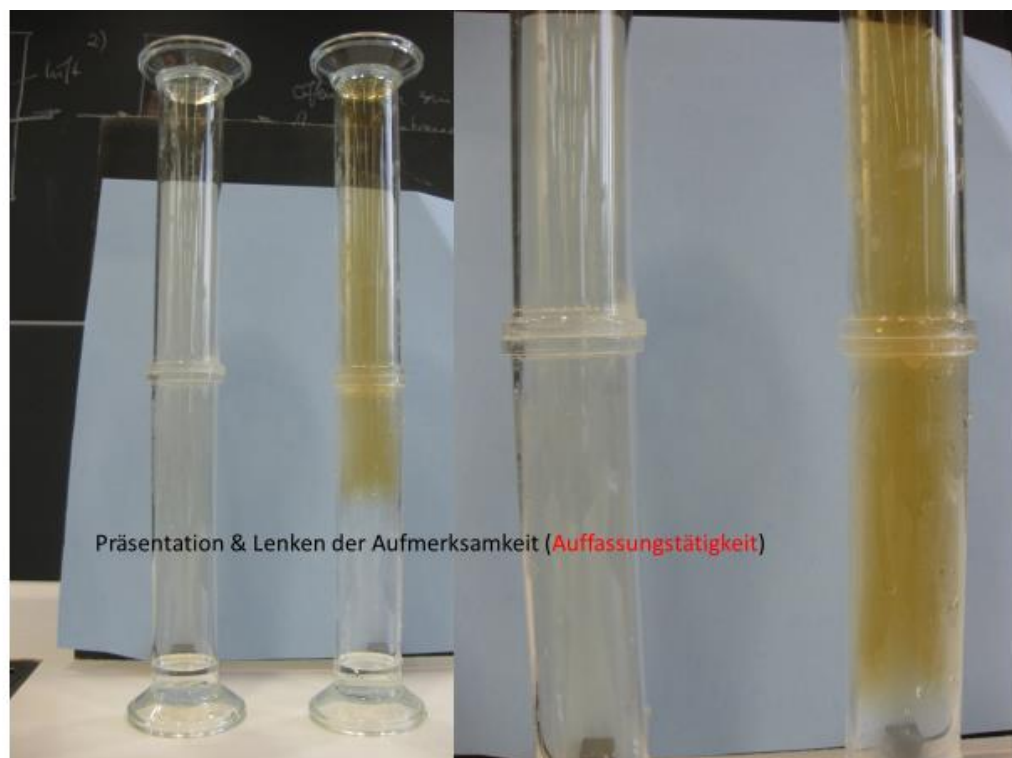
- kritische Aspekte eines LG:
 - Gerätschaften,
 - Stoffe,
 - Handlungsabläufe,
 - Beobachtungen,
 - Typisches Lehrverhalten beim Aufdecken von fachlichen Prinzipien
- kritische Merkmale als Ausprägungen der kritischen Aspekte eines LG:
 - Rundkolben, Tropftrichter, Schlauchverbindung, Auffanggefäß in pneumatischer Wanne etc.
 - Cu-Bleche, c. HNO_3 , Wasser als Sperrflüssigkeit,
 - Auftropfen der Säure auf das Metall, Auffangen des Gases
 - Gasentwicklung: 1. braun, 2. nach über Wasser Auffangen: farblos, 3. Kontakt mit Luft- O_2 : braun
 - Detaillierte und explizite Beschreibung der Einzelschritte bei zunehmenden Abstraktionsansprüchen

(→Lernprozessesstrukturierung)

Im gleichzeitigen Verbinden der kritischen Merkmale manifestiert sich das Verstehen.



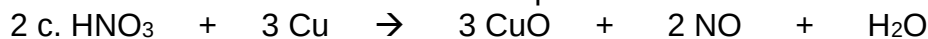
1. Techniklogik (Versuchsaufbau und Bestückung)
Visualisieren und Lenken der Aufmerksamkeit



2. Prozesslogik (Textbeschreibung)
„Konzentrierte Salpetersäure tropft auf elementares Kupfer.“

10. Mathematisierung (Stöchiometrie)

Wie viele L NO entstehen bei der Umsetzung von 0.5 mol Kupfer mit konzentrierter Salpetersäure?



Stoffmengenverhältnis:

$$n(\text{Cu}) : n(\text{NO}) = 3 : 2$$

$$\text{Molare Masse M: } n(\text{Cu}) = m(\text{Cu}) / M(\text{Cu})$$

$$\text{Molares Volumen } V_m: n(\text{NO}) = V(\text{NO}) / V_m(\text{NO})$$

$$m(\text{Cu}) / M(\text{Cu}) : [V(\text{NO}) / V_m(\text{NO})] = 3 : 2$$

$$V(\text{NO}) = 2 \times m(\text{Cu}) \times V_m(\text{NO}) : [M(\text{Cu}) \times 3]$$

$$V(\text{NO}) = 2 \times 32\text{g} \times 22.4 \text{ L/mol} : [64\text{g/mol} \times 3] = 7.5 \text{ L}$$

Die Verstehensentwicklung über 15 Stufen zeigt eine feingliedrige Schrittfolge auf exemplarische Weise. Von unten nach oben gelesen, werden alle Anspruchsebenen des Verstehens vom Gesehenen bis zum abstrakt Mathematisierten aufgelistet. Diese Darlegung weist auf den hohen Anspruch hin, den es beim Lernen in Chemie zu erfüllen gilt. *Diese Denkschrittfolge lässt sich besonders eindrucksvoll demonstrieren bei der Durchführung des Experiments „Reaktion von konzentrierter Salpetersäure mit metallischem Kupfer.“*

- Mathematisierung (Stöchiometrische Berechnungen)
- Strukturformeln (Bindungslängen, Elektronenverteilung)
- Molekülstruktur, Ionengitter (Atom-, Ionenanordnung)
- Bindungstypen (Energetische Bedingungen)
- Oxidationszahlen (Redox-Identifikation)
- Stöchiometrie (Koeffizienten vs. Indices)
- Übersetzung ins Chemische (Symbolisierung)
- Wortreaktionsschema (Komprimierung)
- Identifikation & Zuordnung (Stoffbenennung)
- Argumentationslogik (Folgerichtigkeit)
- Prozesslogik (Ablaufchronologie, „Prozessualität“ (Scharf))
- Präsentation & Lenken der Aufmerksamkeit (Auffassungstätigkeit)
- Techniklogik (Geräte, Chemikalien)

In Abb. D19 werden die acht maßgeblichen Ebenen aufgezeigt, welche (vom Novizen) auf dem Weg vom Konkreten zum Abstrakten zu betreten sind, vom Experten dann aber auch übersprungen werden können. Den zwischen der vierten und fünften Ebene drastischen Wechsel der geistigen Herangehensweise an den Lerngegenstand bezeichnet man als „qualitativen Lernsprung“ (Lenz & Meretz, 1995, S.108-109).

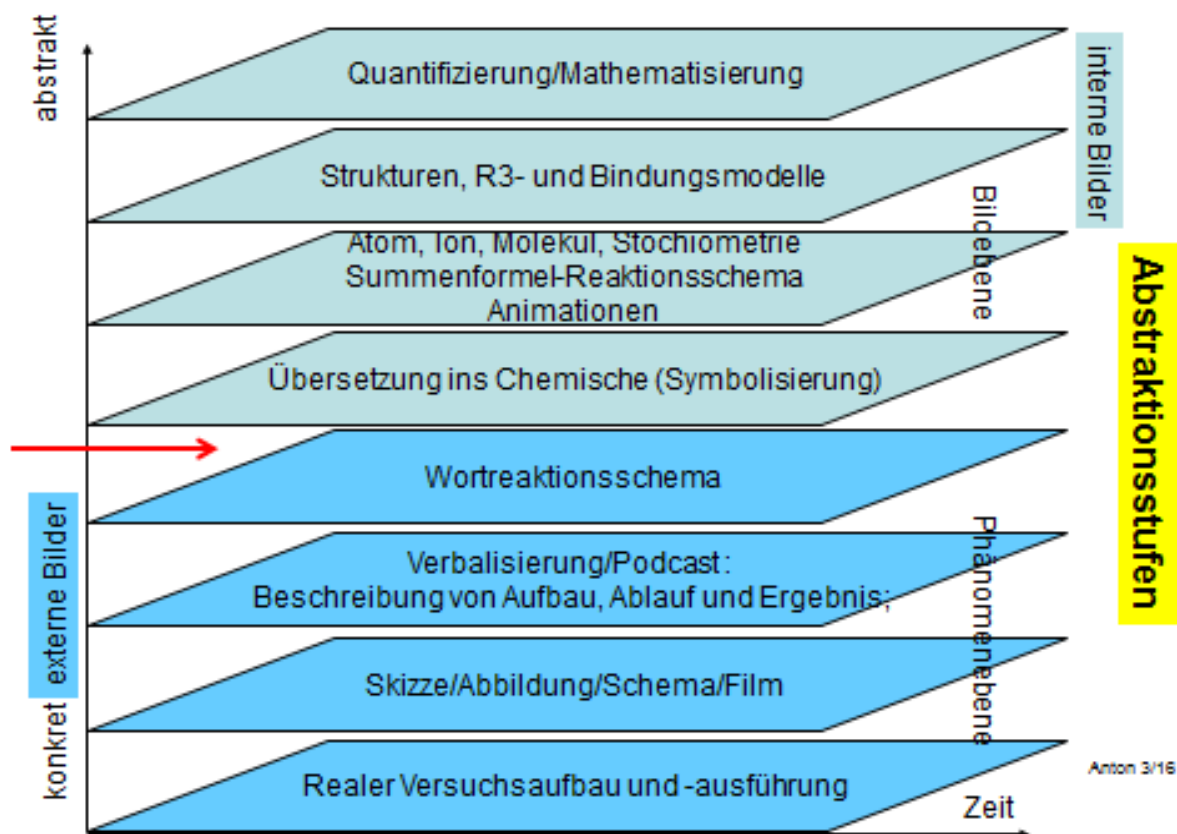


Abb. D19: Abfolge von vier erfahrungs- und vier vorstellungsbasierten Denkebenen und -leistungen von Lernenden im Fach Chemie (Vgl. auch Leisen, 2015, S. 133). Der rote Pfeil markiert den „qualitativen Lernsprung“ als Wechsel vom Konkreten zum Abstrakten, auch vom eher Alltagsrelevantem zum Fachspezifischen.

In der Darstellung spiegeln sich auch Erkenntnisse aus der modernen Hirnforschung wider. Denkprozesse sind eng an Wahrnehmung und Handeln geknüpft, sodass für die jeweils unteren vier Ebenen vorrangig gelten kann: „Je konkreter wir mit Konzepten hantieren, sei es, indem wir sie etwa in Metaphern übertragen, oder schematische Skizzen entwerfen, desto besser kommen wir damit zurecht“ (Ayan, 2014, S. 41). Zugleich erscheint es hier hilfreich, die „Übersetzung“ von Ebene 4 nach 5 mit Modellen zu unterstützen⁴³². Eingefärbte Zellstoffkugeln o.a., die verklebt werden, eignen sich nicht nur wegen einer dreidimensionalen Ansicht und `Begreifbarkeit` (sic!), sondern auch, weil sie die Dauer der Auseinandersetzung mit diesem Übersetzungsprozess fast unauffällig verlängern, da sich das Gehirn länger damit beschäftigt. Genau diese Zeitdauer ist erforderlich um in den Gehirnen der Lernenden zu den äußeren Bildern, den sinnlich wahrnehmbaren Phänomenen, *Langsam* „innere Bilder“ entstehen lassen. Zum äußeren Erscheinungsbild entsteht so sukzessive ein inneres Modellbild. Die flexible Kombination beider erlaubt es sodann, das Gesehene und Erlebte flexibel mit übereinstimmenden Modellbildern zu verknüpfen. Auf diesem Wege erst entsteht die Möglichkeit des Kommunizierens über die Ebenen hinweg. Sandt (2015) hat für die `Synthese von Natriumchlorid aus den Elementen` eine einfache PP-Animation entwickelt, mit deren Hilfe vornehmlich der Weg in die abstrakte Modellebene in kleinen Abschnitten gegangen werden kann.

⁴³² Hierzu gibt es aktuelle Beispiele für „Übersetzungsfehler“: Kohlenstoffdioxid wird u.a. auch als CO₂, Co₂, Co² dargestellt

Zenner et al. (2017) sprechen von unterschiedlichen „Levels“ im Vorverständnis von SchülerInnen, denen zugleich auch stets unterschiedliche Instrumentarien für Erklärungen des jeweils in den Fokus Genommenen beigelegt werden können: Von der Beschreibung über die Stoffänderung als ad hoc-Vorgang bis zur Verfügbarkeit von unterschiedlich ausdifferenzierten Modellvorstellungen und Ideen zum Prozess der chemischen Veränderung. Die Verbindung, der Weg vom einen zum nächsten Level wird dabei allerdings nicht thematisiert (S. 371). Wendet man dieses Prinzip des SST auf ein konkretes Beispiel aus dem Anfangsunterricht an, so werden die Anforderungen an die 'sich ins Fach hineinbegebenden' SchülerInnen auf besondere Weise sichtbar (Abb D19).

Dabei soll auf metakognitive Aspekte einer derartigen Offenlegung von Zusammenhängen und Vernetzungen hingewiesen werden. Mit der obigen Abb. D19, die selbstverständlich auch den SuS, sogar den Eltern, etwa in einer Klassenelternkonferenz, vorgestellt werden kann und soll, ist es auf eine einfache und dennoch eindrucksvolle Weise möglich, den Gesamtprozess zu überblicken und dabei gemeinsam festzustellen, wo man gerade steht, was man schon geschafft hat und wo man noch hin will bzw. muss. Die Denk- und Lernschritte, die Arbeitsanforderungen werden deutlich und können in einen logischen und zwingenden Zusammenhang gebracht werden⁴³³, der sich stets von unten wie von oben kommend, erkennen lassen muss; denn „Je abstrakter wir denken, desto mehr vernachlässigen wir die Sachvorstellungen“ (S. Freud, kommentiert in Bayer & Lohmann, 2016, S. 81). Beides muss aber zu jeder Zeit verfügbar sein.

Dies entspricht einem wichtigen Schritt hin zum besseren Chemieunterricht. „Chemielernen ist machbar und kann heute ganz anders geschehen als früher!“ heißt die Devise, auch aus Sicht der Lehr- und Lernpsychologie: „Der Fortschritt besteht ... darin, zu zeigen, warum das funktioniert, was ein guter Pädagoge tut, und das nicht, was ein schlechter tut. Nur so können bessere Konzepte des Lehrens und Lernens entwickelt werden, und die meisten Experten sind sich inzwischen darin einig, dass die gegenwärtigen Konzepte schlecht sind“ (Roth, 2003, S. 20).

Im Übrigen entspricht diese vorsichtige Abstufung sehr gut den Empfehlungen der „American Association for Advancement of Science“ (AAAS, 1968) hinsichtlich der Abfolge von entwickel- und trainierbaren Fähigkeiten im Verlauf des SchülerInnenalters.

⁴³³ Diese Ebenen lassen sich sehr gut mit den „Plateaus“ analogisieren, wie sie in der Arbeit von Fendt (2018) beschrieben werden. Darin wird eine Lehrerin zitiert, deren Unterricht systematisch und vor dem Hintergrund des Modells der Didaktischen Rekonstruktion analysiert wurde: „Ist das Plateau auch tatsächlich erreicht? Und dieses Plateau brauche ich immer wieder als Basis (...), nach jedem einzelnen Lernschritt, um weiterarbeiten zu können. Fehlt mir die Basis, bekommt die Lernlinie ein Loch und alles, was danach kommt, ist nicht mehr tragfähig und ich verliere Schüler“ (S. 206). Bei Weiß (2021) heißt es „Überforderung führt letztlich zur Vermeidung von Anstrengung“ (S. 72)

In einer Annäherung erinnert diese Vorgehensweise auch an die „Learning Progressions“, definiert als „Instrument, um Kohärenz zwischen Standards, Unterricht und Assessments herzustellen“ (Duncan & Hmelo-Silver, 2019). Sie sollen 'die Entwicklung der Schülerinnen und Schüler von einer Stufe zur nächsten unterstützen' (Krajcik et al., 2012) (Neumann & Parchmann, 2016, S. 220)

Hierarchie methodischer Kenntnisse

(American Association for the Advancement of Science, AAAS 1968)

- Experimentieren
- Auf operationale Weise definieren
- Daten interpretieren
- Variable kontrollieren
- Hypothesen formulieren
- Schlussfolgerungen ziehen
- Voraussagen treffen
- Kommunizieren
- Klassifizieren
- Messen
- Gebrauch von Zahlen
- Gebrauch von Raum-, Zeit-Beziehungen
- Beobachten

Sekundarstufe I und Sekundarstufe II

Primarstufe und frühe Sekundarstufe I

Abb. D20: Auflistung der zunehmend komplexen und abstrakter werdenden Fähigkeiten und Fertigkeiten, welche gerade im Fach Chemie im Verlauf der Kindheits- und Jugendentwicklung zum Tragen kommen.

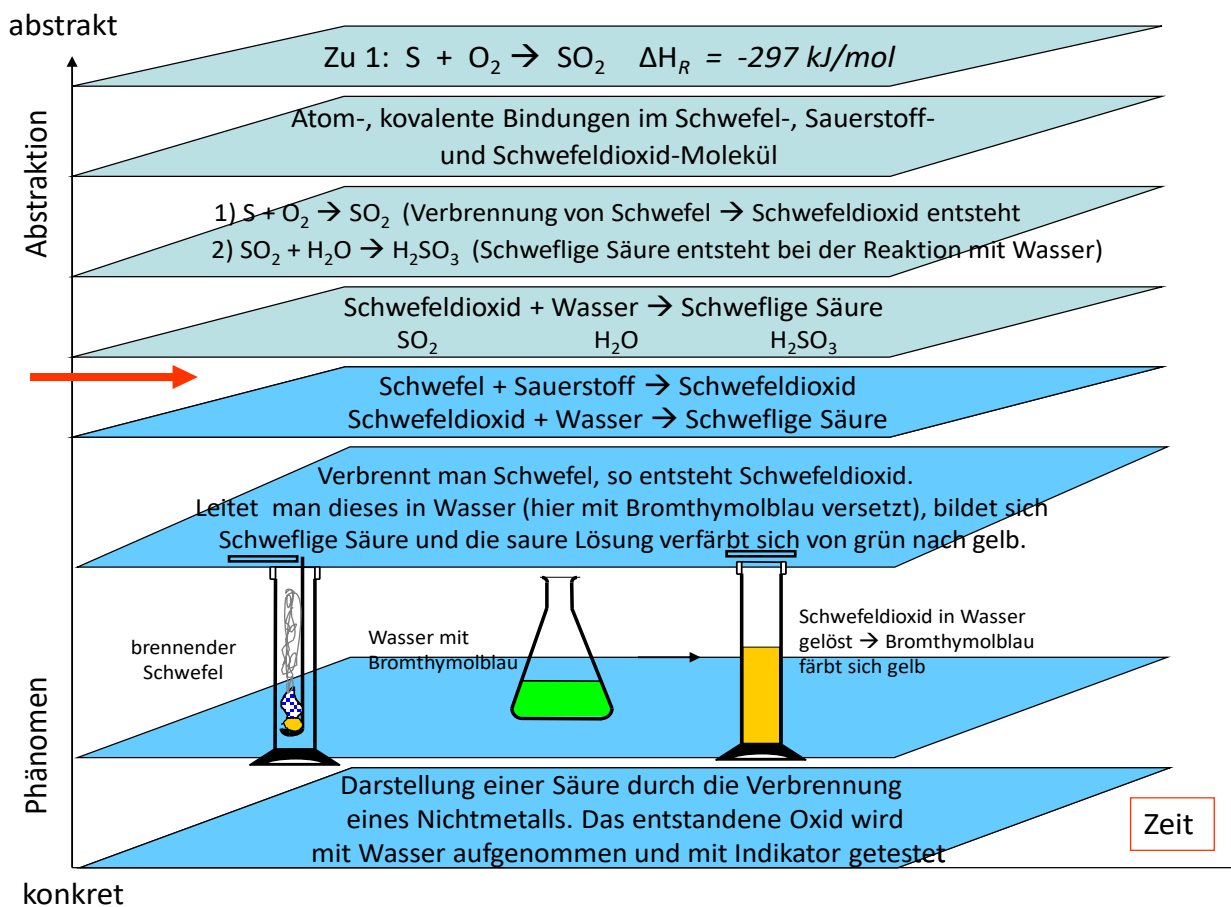


Abb. D21: Konkretes Beispiel für eine didaktisch versierte Aufarbeitung der experimentellen Darstellung einer sauren Lösung aus dem Verbrennungsprodukt von Schwefel. Die farbliche Markierung und der Pfeil zeigen auf den besonders anspruchsvollen Wechsel der Denkebenen bei einem 14-15jährigen Schüler

Es handelt sich hier keinesfalls um einen Automatismus; im Gegenteil, alle „Sprünge“, besser alle bedächtigen Schritte bedürfen einer expliziten Begleitung durch die Lehrkraft (Abb. D20 und D21). Sie ermöglicht es, das jeweils erreichbare und unbedingt nötige Erfolgserlebnis bewusst und genießbar zu machen. Dieses ist immer wieder der Ausgangspunkt für erneute Anstrengungsbereitschaft, soll heißen für Motivation, für Motiviertheit! Nicht zu übersehen ist der mögliche Irrtum, dass die reine Beobachtung des Hintereinanders dieser einzelnen Denkschritte ausreichen würde, um das Verstehen nachhaltig zu erzeugen und sicherzustellen. Vielmehr muss auch die Begründung für die aufeinander folgende Schrittsequenz explizit gemacht werden. Erst dann wird der Denkweg generalisierbar und nicht nur beispielgebunden nachahmbar und es kommt zu einem Lernen durch Einsicht (Vgl. hierzu Wertheimer, 1964, zit. aus Aeschbacher, 1989, S. 66 ff)⁴³⁴.

Eigene Untersuchungen an zahlreichen (48) Unterrichtsstunden haben als wesentliche Ergebnisse die folgenden Konsequenzen für ein erfolgreiches Vorgehen beim Konzipieren einzelner Unterrichtsstunden erbracht⁴³⁵:

1. Eine mittlere Anzahl von ca. vier verknüpften methodischen Niveaubereichen (verbal-überleitende Kommunikationsleistungen, Anschauungsleistungen, Modellanwendungsleistungen, Abstraktionsleistungen, Gestaltungs- und Fixierungsleistungen, SchülerInnen-eigeninitiativleistungen),
2. einen einbettenden, behutsamen, allseits mitvollziehbaren, also langsamen Wechsel zwischen den Niveaubereichen in beiden Richtungen,
3. eine kontinuierliche Fixierung der Arbeitsergebnisse,
4. eine relativ hohe Verweildauer⁴³⁶ innerhalb eines Bereichs unter Verwendung expliziter Hilfen zur Vernetzung der Ebenen (Verstehen),
5. eine auf einen Stundenhöhepunkt hin orientierte Affektivität von Lehrer und Schüler (Anton, 1998, S. 39).

Ein weiteres Beispiel für die Ebenengestaltung stellt die Herleitung des stöchiometrisch richtigen Summenformel-Reaktionsschemas in drei Denkschritten anstelle der herkömmlichen zwei dar: Die Reaktion von konzentrierter Salpetersäure mit Kupfer kann zunächst als Wortreaktionsschema formuliert werden⁴³⁷ (Ebene vier):

Konz. Salpetersäure + Kupfer → Kupferoxid + Stickstoffdioxid + Wasser

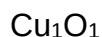
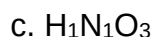
Anschließend erfolgt die „Übersetzung ins Chemische“, wobei Plus-Zeichen und Reaktionspfeil vernachlässigt werden (Ebene fünf: Indices):

⁴³⁴ So heißt es bei Herbart (1806): „Hierauf beruht die Artikulation des Unterrichts. Die größeren Glieder setzen sich aus kleineren zusammen, wie die kleineren aus den kleinsten. In jedem kleinsten Gliede sind vier Stufen des Unterrichts zu unterscheiden, denn er hat für Klarheit, Assoziation, Anordnung, und Durchlaufen dieser Ordnung zu sorgen. Was nun hier schnell nacheinander geschieht, das folgt einander langsamer da, wo aus den kleinsten Gliedern sich die nächstgrößeren zusammensetzen, und mit immer größeren Entfernungen in der Zeit, je höhere Bestimmungsstufen erstiegen werden sollen“ (S. 173).

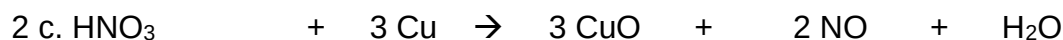
⁴³⁵ In dieser Untersuchung wurden die beobachteten Stunden akribisch im Minutentakt protokolliert. Schüler- und Lehreraktivitäten konnten dann unterschiedlichen „Konkretisierungsebenen“ zugeordnet werden. Diese sich als Niveaubereiche ergebenden unterschiedlichen Ansprüche an die Lehr- und Lernleistung ließen sich grafisch darstellen. Daraus ergaben sich Stundenbildanalysen, die sich von den SuS und der Lehrkraft parallel als „gut“ ermittelten Stunden zuordnen ließen. Diese wiederum wiesen charakteristische Muster auf, welche mit den obigen fünf Punkten beschrieben werden.

⁴³⁶ So heißt es, passend hierzu, in der Partitur zu G. Mahlers (1860-1911) Auferstehungssymphonie: „Nie eilen“ und „nicht schleppen“!

⁴³⁷ Um auch moderne Medien einzusetzen, ließen sich diese Schritte auch in Form von sogenannten „StopMotion-Videos“ in Gruppenarbeit von den Schülern selbst als Animation mit dem Smartphone erstellen (Krause & Eilks, 2017)



Erst nach der sicheren Formulierung der einzelnen Molekülformeln wird der stöchiometrische Ausgleich vorgenommen (Ebene sechs: Koeffizienten)⁴³⁸:

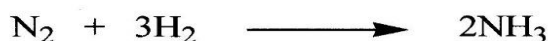


In dem Maße wie diese Schrittfolge beherrscht wird, können der zweite und dann der erste Schritt „übersprungen“ werden. Kommt es zu einem anderen Zeitpunkt zur Aufgabe, ein unbekanntes und anspruchsvolleres Reaktionsschema formulieren zu müssen, kann automatisch und damit lernstrategisch auf diese Schrittfolge zurückgegriffen werden⁴³⁹. Das ist nicht möglich, wenn die Lösungsschritte nicht sehr deutlich eingeübt wurden.

Im Zuge der obigen Abfolge von Denk- und Arbeitsschritten hinein in die abstrakte „Formelchemie“ sei noch auf ein weiteres Problem eingegangen. Es betrifft die Differenzierungen innerhalb der Ebene sieben. Bekanntlich gibt es keine symbolische Kenntlichmachung der Bindungsverhältnisse, wie sie in den einzelnen Molekülen oder ionischen Verbindungen vorliegen, sodass sich hinter den geschriebenen Formeln sehr wohl gänzlich unterschiedliche Vorstellungen etwa zum Molekülbau verbergen können (Reiners, 2003). Untersuchungen in den USA, in Australien und in Großbritannien haben beispielhaft gezeigt, dass hier auch „hausgemachte Fehlvorstellungen nicht nur unbemerkt bleiben, sondern sogar auch noch stabilisiert werden (Read, 2004⁴⁴⁰, Abb. D22).



Equation 1: Unbalanced chemical equation for ammonia synthesis



Equation 2: Correctly balanced chemical equation for ammonia synthesis

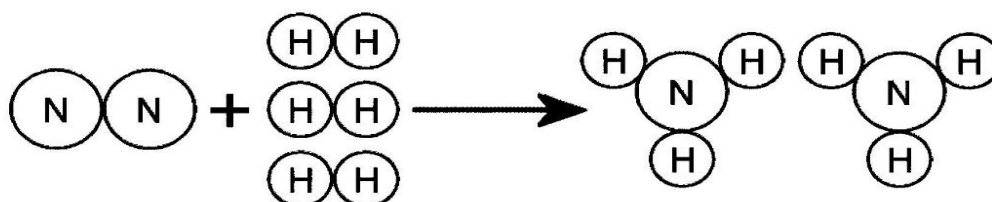


Figure 6: Correct pictorial representation of ammonia synthesis

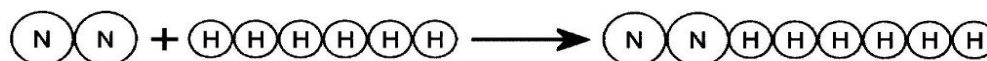


Figure 7: Incorrect pictorial representation of ammonia synthesis

⁴³⁸ Eine didaktisch aufbereitete Ausdifferenzierung innerhalb der Ebenen 5 und 6 findet sich bei Barke et al., 2018, S. 290ff

⁴³⁹ Hier gilt: „Strategien mit mehr Lösungsschritten setzen eine höhere Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses [Working Memory; d. Vf.] voraus als einfachere.“ Folglich „... werden die Strategien[,] angepasst an die Kapazität des Arbeitsspeichers der Geförderten[,] abgestuft vermittelt“ (Neber, 1996, S. 408-409).

⁴⁴⁰ http://www.asell.org/global/docs/conceptual_change_paper.pdf (5.11.2014)

Abb. D22: Die Abb. (aus Read, 2004, S. 14) zeigt, dass nach dem richtigen Ausgleichen des Reaktionsschemas zur Ammoniaksynthese sehr wohl völlig falsche Vorstellungen verbleiben, was etwa die Anordnung der Atome in einem Molekül angeht.

Offensichtlich muss gerade bei den Erstbehandlungen der Thematik die Symbolschreibweise⁴⁴¹ mit Modellen ergänzt werden (Sanger, 2000; Harsch et al., 2002 + Becker, 2003; Barke & Wirbs, 2016; Appel, 2016). Es ist davon auszugehen, dass die Vorstellungen zu den wissenschaftlichen Fakten konvergent ausgebildet werden.

Stellt das obige „Kugel- oder besser Kreisaggregat“ lediglich die relative Anordnung der Atome in einem Molekül (bzw. der Anionen und Kationen im Ionenkristall) dar, so bedeutet die Halbstrukturformel-Darstellung sowohl eine Vertiefung als auch eine weitere Komplexitätszunahme.

Die Anordnung und das Zusammenspiel der freien und bindenden Elektronenpaare (hier beim Bindungstyp: kovalente oder Atom-Bindung), die Anwendung der „Oktett-Regel“ mit allen Besonderheiten sind wichtige Voraussetzungen für die richtige Darstellung der Ionen- bzw. Molekülstruktur und ihrer R2- bzw. R3-Geometrie inkl. der Mesomerie, wie sie sich beispielsweise beim Nitrat-Ion (NO_3^-) sowie beim Stickstoffdioxid (NO_2 ; $\text{O}=\text{N}^+=\text{O}$) wie folgt (Abb. D23) ergibt⁴⁴².

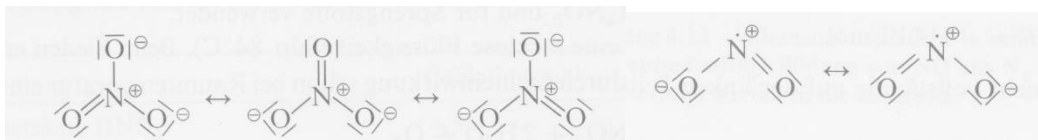


Abb. D23: Mesomere Grenzstrukturen des Nitrat-Anions und des Stickstoffdioxid-Moleküls

Ein weiteres Beispiel für die Differenzierung innerhalb einer Ebene lässt sich für Ebene acht beschreiben.

So findet man im Materialangebot (Arbeitsblatt) zum Artikel von Stäudel und Tepner (2013), mit dessen Hilfe die Lösungsschritte beim Chemischen Rechnen verdeutlicht werden sollen, ein treffendes Beispiel für die Nichtbeachtung einer notwendigen 'Entzerrung':

Die Aufgabe lautet: „Wie viele kg Aluminium (Al) lassen sich aus 100 kg Aluminiumoxid (Al_2O_3) gewinnen?“ Als Lösungsweg wird vorgeschlagen: „1. Größen mit Einheiten zusammentragen“, „2. Molare Masse der betreffenden Substanzen ermitteln“, „3. Stoffmenge n der bekannten Substanz (Al_2O_3) über die molare Masse M ermitteln“ und „4. Stoffmenge der gesuchten Substanz (Al) bestimmen“.

Zu 4. wird in Klammern eine Zusatzinformation gegeben: „(Die Stoffmenge $n(\text{Al})$ ist doppelt so groß wie die von Al_2O_3 , da pro Formeleinheit Al_2O_3 2 Teilchen Al gewonnen werden.)“

Auf der jeweils gegenüberliegenden Lösungsseite wird zu 3. die Angabe „ $n = m/M = 100000\text{g}/102\text{g/mol} = 980.4 \text{ mol}$ “ geliefert, zu 4. steht dort: „ $n(\text{Al}) = 2 \cdot n(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1960.8 \text{ mol}$ “. Für Schüler, die in diese Vorgehensweise eingeführt werden sollen, darf angenommen werden, dass die Erklärung zu 4. eher dem Ausweniglernen als dem zwingenden Herleiten anvertraut werden wird.

⁴⁴¹ Hier weist Grob (2003) zu Recht darauf hin, dass Formeln und Gleichungen dann sinnvoll sind, „wenn sie zum Verständnis eines chemischen Vorgangs beitragen. Sie sind nicht sinnvoll, wenn ihre Verwendung zum Selbstzweck geschieht“ (S. 41)

⁴⁴² Abb. aus Riedel, 1999, S. 470 und 466

Es fehlt hier die konkrete Angabe, wonach aus dem Verhältnis der Koeffizienten aus der Summenformelgleichung (die an keiner Stelle des Arbeitsblattes auftaucht) diese Information eigenständig und ohne zufälligem „Tipp aus Insider-Kreisen“ entnommen werden kann⁴⁴³:



Aus dem Stoffmengenverhältnis $n(\text{Al}_2\text{O}_3)/n(\text{Al}) = 2/4 = 1/2$ ergibt sich folgerichtig die Rolle der „2“

Dieser Schritt bleibt den Lernenden verborgen und zwingt ihn aufgrund des Nichtentzerrens der komplexen, weil mehrschichtigen Angaben zum verständnisfreien Auswendiglernen. Es handelt sich hier um ein Beispiel des Nichttrennens von Erklärstufen innerhalb einer Ebene.

Die erforderliche „Kleinschrittigkeit“ als eine Folge kleinstmöglicher unterscheidbarer Denk-, Argumentations-, Erfolgs- und Fixierungsschritte bei der Entwicklung einer Verstehensstrategie⁴⁴⁴ und sodann eines ‚Konzeptverständnisses‘ (Marohn et al., 2016) eignet sich insbesondere bei der Lernwegbereitung in neue Inhaltsbereiche der Chemie. Dies wiederum entspräche den Prinzipien der „Learning Progressions“ unter dem Motto: „Giving Students a Map to their Target“⁴⁴⁴. Zugleich hilft dieses diskursive⁴⁴⁵ Vorgehen dabei, Gleichzeitigkeiten von komplexen Informationsgaben zu entzerren und multiple Ziele aufzutrennen (Renkl, 2016) um das Ganze vollständig zu erkennen und verarbeiten zu können. So „sind Lernende vielfach überfordert, wenn sie neue Inhalte auf multiplen Ebenen verarbeiten und integrieren sollen“. Wenn dies passiert, dann „vermeiden sie eine Arbeitsgedächtnisüberlastung, indem sie nur bestimmte Aspekte fokussieren“ (Renkl, 2016, S. 239). Ein weiteres Beispiel aus der Stöchiometrie findet sich bei Kern (2009). Dieses hier beschriebene Prinzip ist gut vergleichbar mit der „Disaggregate Instruction in Chemistry Education“ (DICE) aus dem angloamerikanischen Raum (Brown et al., 2010, zitiert aus: Gieske et al., 2024). „Disaggregate“ lässt sich übersetzen mit „Auseinandernehmen“, „Untergliedern“ u.ä.

Das Erkennen einer Lernproblematik, deren Überwindbarkeit durch Einsatz eines qualitativ anderen Lernprinzips (hier: Teilchenmodellebene) und zugleich durch die Vermittlung des epistemischen Nutzens einer solchen Anstrengung geleistet werden muss, ist eine Hürde, die gerade im Alter der Mittelstufenschüler keinesfalls ohne besondere professionelle Hilfe genommen werden kann (vgl. auch DeLoache, 2006; Fischler & Reiners, 2006). Dies auch deshalb, weil die eigentliche Bedeutung des Lernziels „Abstraktion“ nicht automatisch Bestandteil des Interessenspektrums dieser Schülerklientel ist. Anhand der folgenden Gegenüberstellung (Michel, 2018, S. 25) lässt sich der Unterschied zwischen einem fachwissenschaftlichen Aspekt, hier von „Energie“ und einem epistemologischen verdeutlichen:

⁴⁴³ Analog findet sich bei Lo (2015, S. 69) ein Beispiel aus der Mathematik, in dem ein sehr ähnlicher Fehler beschrieben wird: „Ein weiteres Beispiel ist das Bruchrechnen im Fach Mathematik. Wenn wir sagen, dass eine Bruchzahl ein Drittel ... oder ein Zehntel ... ist, meinen wir $1/3$ von 1 oder $1/10$ von 1. Wir beschreiben jedoch die Einheit (oder das Ganze) normalerweise nicht als 1, sondern nehmen es als selbstverständlich an. Trotzdem ist dieses kritische Merkmal für viele Schülerinnen und Schüler eine Quelle von Lernschwierigkeiten“.

⁴⁴⁴ „A Learning Progression is a sequenced set of subskills and enabling knowledge that, it is believed, students must master en route to mastering a more remote curricular aim.“ (Popham, W. J., 2008. *Transformative Assessment*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development)

⁴⁴⁵ diskursiv: eine Sache in ihren Teilen durchlaufend behandeln, um dadurch das Ganze zu erkennen

Fachwissenschaftlicher Aspekt	Epistemologischer Aspekt
Energie tritt in verschiedenen Formen auf, die ineinander umgewandelt werden können.	Energie ist ein in besonderem Maße universelles Konzept, das sich zur Erklärung verschiedenster Phänomene eignet

Mit Nachdruck weisen Stern & Neubauer (2013) darauf hin, „dass die geistige Leistungsfähigkeit des Menschen, die in der heutigen Wissens- und Informationsgesellschaft eine so große Rolle spielt, sich vor allem in der Konstruktion geistiger Welten mit Hilfe von Symbolsystemen ausdrückt. So kann die „Erfindung“ von Symbolen auf vor 70.000 Jahren rückdatiert werden (Wong, 2005). Nur wer in ein kulturelles Umfeld mit intelligenten Symbolsystemen geboren wird, kann sein intellektuelles Potenzial entfalten“ (S. 231). „Lediglich dann, wenn Kompetenzen nicht an hochabstrakte Wissensrepräsentationen gebunden sind, können bei entsprechendem Fleiß und Willenskraft auch weniger intelligente Menschen erfolgreich sein“ (S. 236). Um hier Verbindungen herzustellen zwischen Konkretem und Abstraktem und der These des „konkret-operativen“ Denkens nach Piaget Rechnung zu tragen, erfuhr noch vor den 1970er Jahren naturwissenschaftlicher Unterricht in der Primarstufe die Aufforderung, „den Unterricht experimenteller zu gestalten. Es wurde versucht, Denkprozesse aus Tätigkeiten heraus entwickeln zu lassen. Gesetzmäßigkeiten der Naturwissenschaften wurden nicht in ihrer formalisierten Endgestalt (mathematische Formeln, Gesetze), sondern in ihrem experimentellen Entstehungs- oder Überprüfungszusammenhang dargestellt (Frey, 1973, S. 32, dort auch: „Operative Didaktik“).

Aus dem 18. Jahrhundert stammt die hierzu passende Aussage des Philanthropen Johann Bernhard Basedow (1724-1790): „Nicht viel, aber mit Lust! Nicht viel, aber in elementarischer Ordnung. Die vom Leichterem zum Schwereren fortschreitet und in der Grundlage keine Lücken und Schwächen bleiben läßt, welche mit der Zeit dem ganzen Bau schaden können! Nicht viel, aber lauter nützliche Erkenntnis, welche ohne Schaden niemals vergessen werden darf! Aber nicht zu früh, und nicht zum Schaden wichtigerer Zwecke, sondern lieber später als gewöhnlich läßt die Wissenschaft und Einsicht eurer Kinder zu den bestimmten Graden steigen!“ (zit. aus Vogt, 1966, S. 19-20).

Weitere Aussagen hierzu finden sich auch in der „phänomenologischen Psychologie“, wonach auf Schwierigkeiten beim naturwissenschaftlichen Zugang zur Welt schon deshalb besonders abgehoben wird, weil „die `objektive`, die wissenschaftliche Welt nur erreichbar [ist] in Schritten immer größerer Abstraktion⁴⁴⁶“ (Herzog, 1992, S. 318). Der umgekehrte, eher divergente Weg gilt als besonders anspruchsvoll, weil er nicht nur die vertrauten Quellen der objektiven Aussage wiedererkennen lässt, sondern zudem Vorhersagen und Hypothesenbildung zu Unbekanntem möglich macht.

Grundsätzlich gilt es, „logische Brüche“ beim Weg durch die Ebenen zu vermeiden. In der Pädagogik spricht man „von einer retroaktiven (rückwirkenden) Hemmung, wenn der neue Schritt in einer Erklärung zu rasch folgt oder wenn der vorhergehende noch nicht verarbeitet wurde, z.B. wenn der Inhalt noch nicht vollständig geistig bewältigt werden konnte. ... Es kann aber auch eine proaktive (vorauswirkende) Hemmung eintreten, wenn der logische Schritt zu groß war, so dass die Bewältigung des vorangegangenen Gedankens noch nicht beendet wurde und die Lernenden sich bereits mit den nachfolgenden Überlegungen befassen müssen“ (Schmidkunz, 2005, S. 20).

⁴⁴⁶ „abstrahieren“: Das Allgemeine aus dem zufälligen Einzelnen begrifflich heraussondern“; abstrahere (abstractum) = abziehen, wegziehen; abstrakt = „vom Dinglichen gelöst“, nur gedacht, unwirklich (Drosdowski, G. (1989). Duden, Bd. 7: Etymologie (S. 18). Mannheim: Dudenverlag)

Auch für die didaktische Binnendifferenzierung auf der Ebene drei gibt es ein einprägsames und zugleich oft unterschätztes Vorgehen, das sich bereits im Kleinkindbereich als besondere Schwierigkeit manifestiert (Abb. D24)

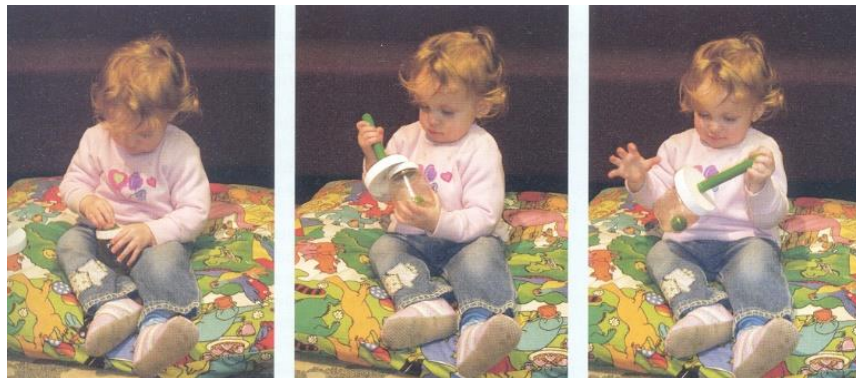
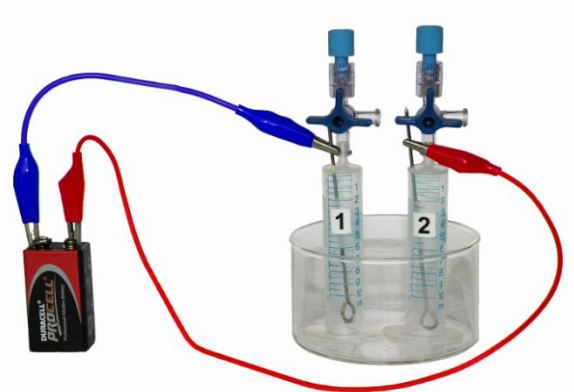
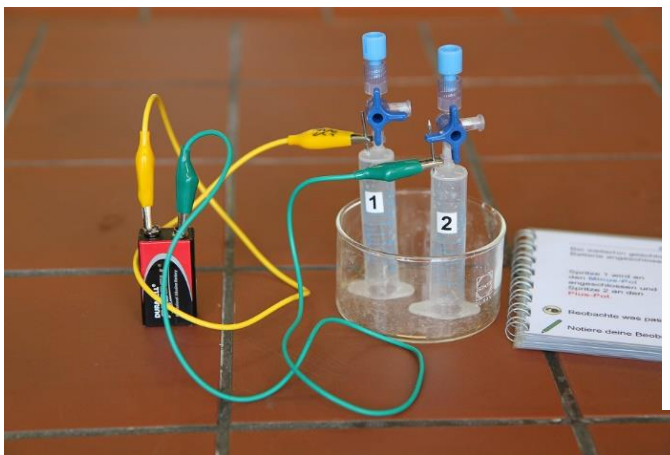


Abb. D24: Aufgabe: Herstellen einer Rassel aus kleinem Ball, Plastikbehälter, Deckel mit Stiel (+Klettband): 18 Monate: erfolgreich bei realistisch bebildeter Vorlage (Fotos); 24 und 30 Mon.: erfolgreich auch bei bunten Zeichnungen; Schwarz-weiß-Strichzeichnungen konnten dagegen nicht umgesetzt werden: „Je jünger die Kinder, desto realitätsgetreuer müssen Bilder sein, sollen die lieben Kleinen etwas damit anfangen können“ (zit. aus Gehirn&Geist 1-2 (2007) 11: Developmental Psychology 2 (2006) 6, 1352)

Es handelt sich um die Schwierigkeiten, die Schüler der Mittelstufe haben, wenn sie in einem Längsschnittschema die reale Versuchsanordnung wiedererkennen bzw. wenn sie das Foto eines Versuchsaufbaus, wie es im Schulbuch häufig vorkommt, in eine Schemazeichnung übersetzen sollen (Hoger, 2014), was sich offenbar auch im Kleinkindbereich als besondere Schwierigkeit darstellt (Abb. D25).



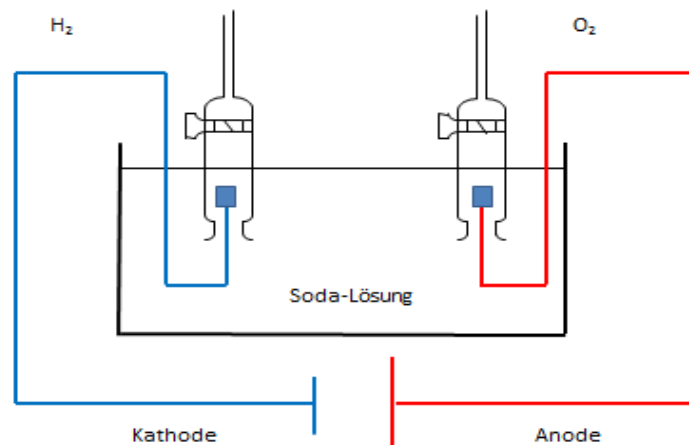


Abb. D25: Darstellung der elektrolytischen Wasserzersetzung im Microscale-Format, einmal als Foto, dann als Fotobearbeitung und zuletzt als Schema. Die nächste Stufe auf dem Weg zum Wesentlichen wäre die schematische Umrisszeichnung (Fotos aus der PPP von Sandra Huger (LA-Studentin) anlässlich ihres Vortrages beim 9. Bayerischen Chemiedidaktischen Forschungskolloquium auf Frauenchiemsee (25.-27.6.2014).

Mit der vorsichtigen Gestaltung des Niveauanstiegs und damit der Anforderungssituation lässt sich auch eher erreichen, dass beim Lerner „Erfolgszuversicht“ und weniger „Misserfolgsschmerz“ auftritt und sich somit grundsätzlich ein „realistischer Optimismus“ einstellt (Rheinberg, 2007, S. 10).

Diese Problematik spiegelt sich auch im „Modell der Dynamik von Lehr-Lern-Prozessen“ von von Aufschnaiter (2003) wider, wonach „das Erreichen einer höheren Komplexitätsstufe ... eine breite Erfahrungsbasis auf der darunter liegenden Stufe voraussetzt“ und „Lernprozesse in einem neuen inhaltlichen Teilgebiet stets das Durchlaufen hierarchisch geordneter Komplexitätsniveaus des Handelns und Denkens erfordern“ (zit. aus Schecker & Parchmann, 2006, S. 56-57).

Kognitionspsychologisch handelt es sich hier um induktives Denken. Es „bezeichnet die kognitiven Prozesse, die dazu befähigen, aus spezifischen Erfahrungen allgemeine Regeln, Gesetzmäßigkeiten oder Muster abzuleiten und auf neue Erfahrungen zu übertragen“ (Waldmann, 1996, S. 448). Auch Weerda (1983) postuliert eine breite Basis, von der aus die Abstraktion ihren Ausgang nehmen soll: „Um dem Schüler eine möglichst umfangreiche Erfahrung zu ermöglichen, muß eine breite Anschauungsgrundlage vorhanden sein“ (S. 126).

Auf dem Gebiet des Versuchsaufbaues kann die Festigung einer sicheren Handhabung von Gerätschaften und deren Verbindungen (hier: Steckkontakte) auch zur Puzzle-Methode gegriffen werden (Abb. D26). Hier wird den Lernenden die Apparatur auch als Puzzle angeboten, wodurch es wichtig wird, genau hinzusehen!

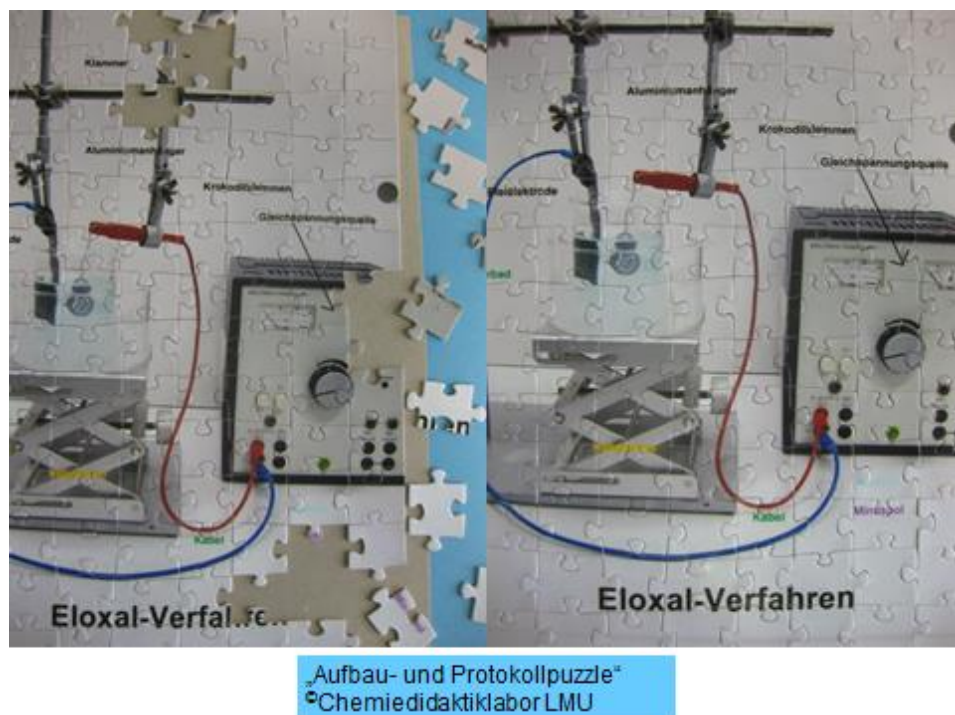
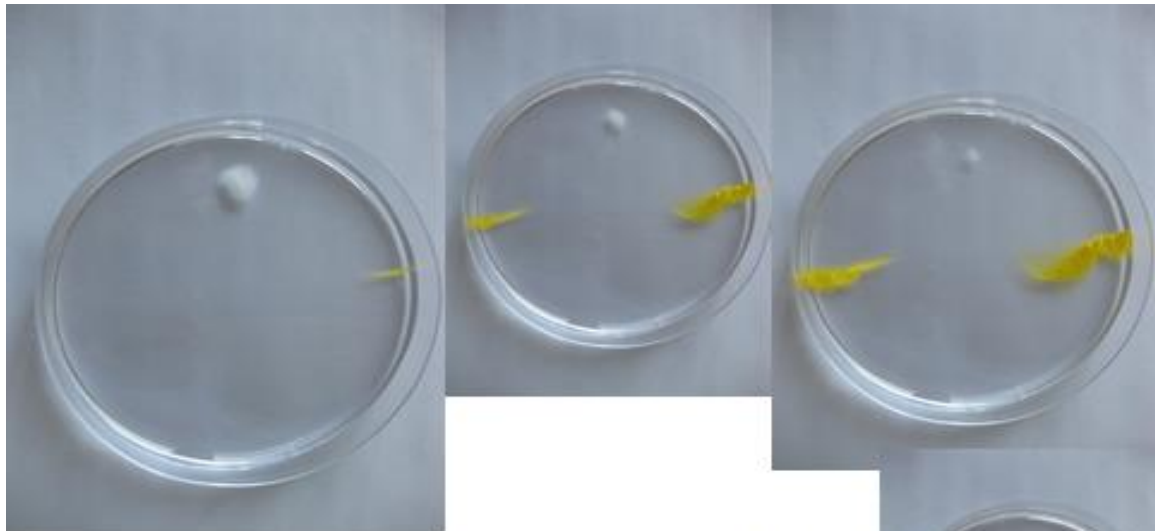


Abb. D26: Versuchsaufbaufoto, einmal in Puzzleteile zerlegt zum Zusammensetzen, rechts fertig zur Prüfung des Aufbaus.

Ein weiteres Beispiel lässt sich für die Handhabung der Ebene sechs anführen. Hier geht es um die Postulierung der Teilchen-Struktur der Materie, ohne dass bereits die Unterscheidung von Atom und Molekül getroffen werden müsste. Im Bereich der Teilchenstruktur und des Teilchenverhaltens hilft eine besonders eindrucksvolle Form der Visualisierung des Prozessualen, hier der Neuorientierung von Stoffteilchen im Zuge einer chemischen Umsetzung.

Es lassen sich hierzu sogenannte „langsame Versuche“ in der Petrischale als Direkt- oder Projektionsversuch anführen. Die Abb. D27 zeigt von oben angefangen „Ionenwanderung“ ohne elektrisches Spannungsfeld“ (Diffusion), dann einen „Nachweis der Teilchenstruktur von Reinstoffen“ (Die Beobachtungen sind nur interpretierbar, indem man vom Zerfall der Feststoffe in kleinste nicht mehr wahrnehmbare Teilchen ausgeht, die sich im Medium fortbewegen und beim Zusammentreffen neue Aggregate entstehen lassen, welche sich ob ihrer Größe dann wieder wahrnehmen lassen) und unten graduelle Unterschiede in den Reaktionen zwischen Säure-Base-Indikator und unterschiedlichen Konzentrationen von Oxonium- bzw. Hydroxid-Ionen in stationären Phasen.



Im wässrigen Milieu werden je eine kleine Spsp Bleinitrat und Kaliumiodid einander gegenüber eingebracht. Nach ca. 1 Min. bildet sich ein gelber Saum von leuchtend gelbem Bleiiodid



Nach ca. 1 Min lassen sich die Fronten der OH^- -Ionen (blau) und der Anionen der Citronensäure deutlich voneinander unterscheiden



In einer Petrischale mit wässriger Bromthymolblau-Lösung werden gleichzeitig ein Plätzchen KOH (links) und eine kleine Spsp Citronensäure eingebracht

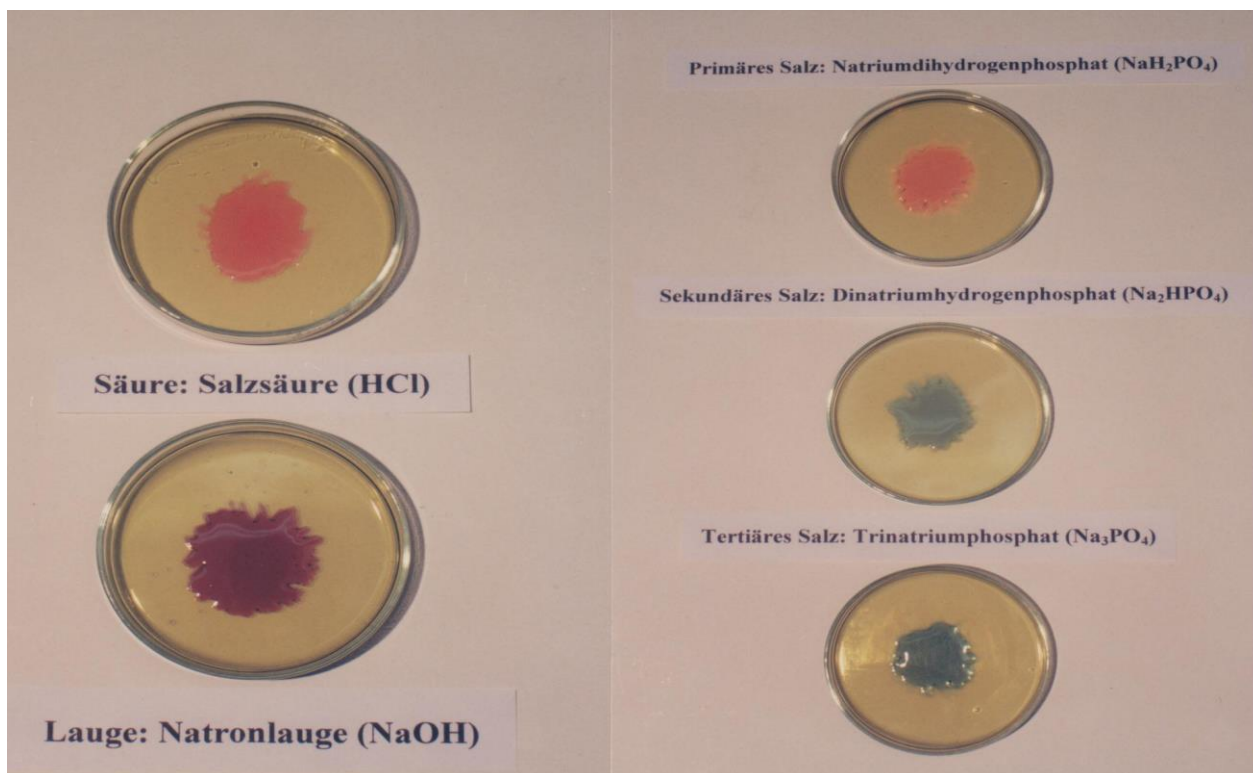


Abb. D27: Darstellung von drei Varianten um die Prozessualität der Neuorientierung von Teilchen während einer chemischen Stoffartumwandlung zu demonstrieren: (von oben): Zwei lösliche Feststoffe werden in Wasser eingebracht, wobei sich nach wenigen Minuten in der Trefferzone von je zwei Teilchensorten ein neuer Stoff bildet (Farbreaktion oder als Niederschlag (Bleinitrat und Kaliumiodid reagieren zu gelben Bleiiodid), Neutralisationsreaktion im Indikatormilieu (KOH und Citronensäure in einer grünen Bromthymolblaulösung), Umsetzung von Säure, Base, Phosphaten im wässrigen Milieu und Indikatorreaktion auf Agar-agar-Gel mit Universalindikator

Das Prinzip der Kleinschrittigkeit wurde von Hartmann (2017; Hartmann & Anton, 2019) eingebettet in ein umfassenderes „Prozessmodell zur kleinschrittigen Unterrichtsplanung“ (PKU). In diesem werden neben der „Abstraktionsreduktion“ auch „Explizites Vorgehen“, „Verstehen durch Vernetzen“ sowie „Zeitmanagement“ aufeinander bezogen. Sie bilden dann den Rahmen für die Planungs- und Handlungsdimension, basierend auf Fach- und Diagnosekompetenz sowie Empathie als „Lehrerkompetenzen“ (Abb. D28).

Diese ganzheitliche Konzeptualisierung („Explizite Kleinschrittigkeit“) könnte auch eine Antwort sein auf Untersuchungen von Fiebig und Melle (2001). Sie zeigten, dass ein Drittel der befragten Lehrkräfte (von N=52) in der Sekundarstufe I als Ursachen für Schwierigkeiten bei der Behandlung von „Problemthemen“ im Chemieunterricht wie etwa „Stoff-/Energieumsatz“ sowie „Chemische Grundgesetze“ „fehlende geeignete Unterrichtskonzepte“ angaben. Gleichzeitig wurden die genannten „Problemthemen“ als für Schüler besonders schwierig gekennzeichnet. Als Begründung wurde angeführt „Bei allen Themen, die größeres Abstraktionsvermögen von Seiten der Schüler verlangen, wird das Unterrichten zunehmend schwierig“ und „Immer wenn Modelldenken und mathematische Grundlagen gefordert sind, wird es schwierig“ (S. 201)⁴⁴⁷. Hierzu wurde

⁴⁴⁷ In ihrem höchst interessanten und sehr lesenswerten Buch über „Regeln“ (2023) schreibt Lorraine Daston (emeritierte Direktorin am MPI für Wissenschaftsgeschichte, Berlin: „Schlanke Regeln für Menschen ohne jede Erfahrung – Anfänger oder im Extremfall Maschinen- benötigen Standardisierung, Routinisierung und eine penible Zerlegung der betreffenden Aufgabe in einfache Schritte. Nur die

ergänzend noch besonders auf die Thematik „Elektronenübertragungsreaktionen“ (Vgl. hier: E-Chemie!) abgehoben. Vgl. auch Schwedler, 2017!⁴⁴⁸

SMALL-STEP-TEACHING

SST

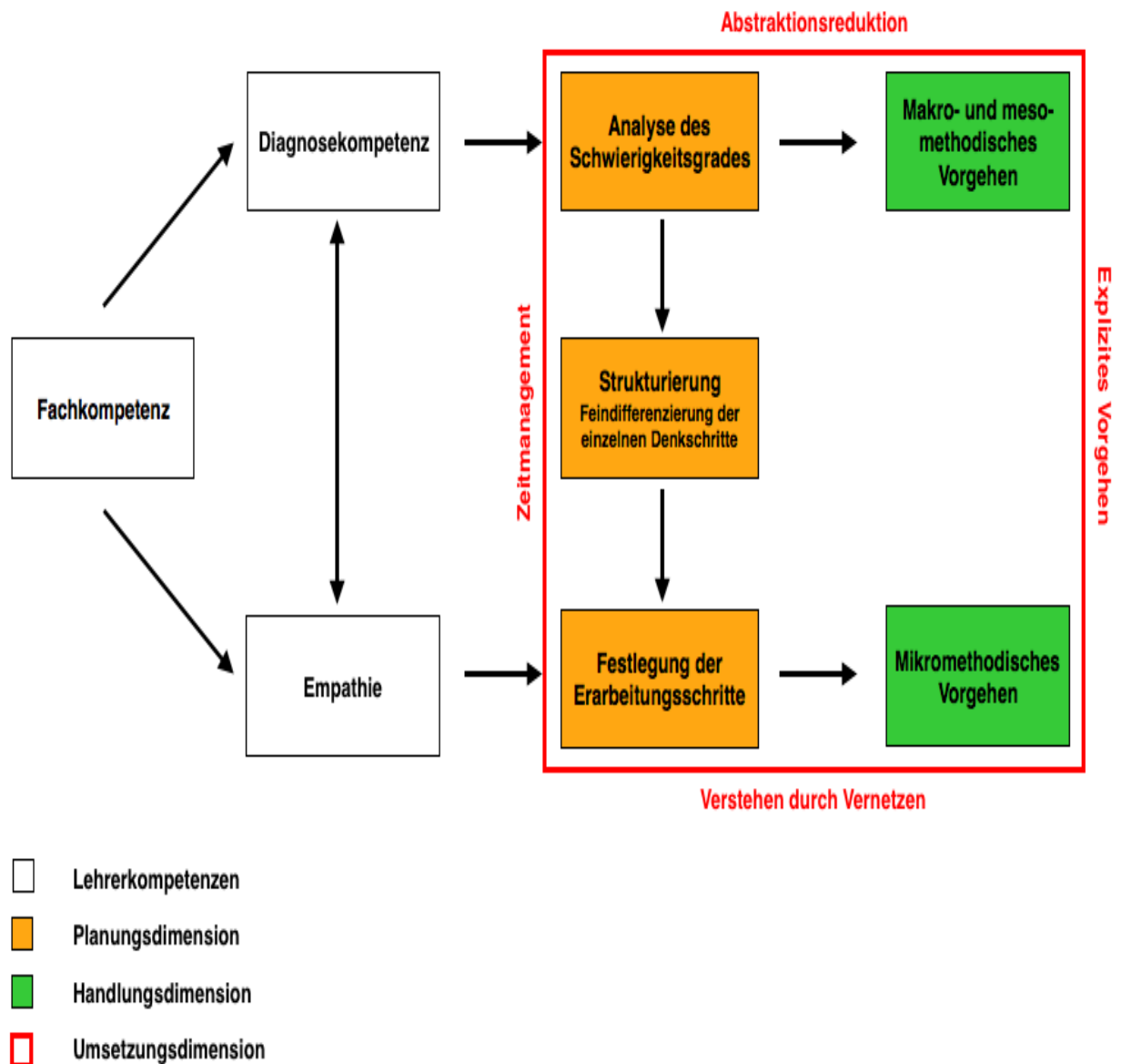


Abb. D28: Schema zum Zusammenspiel aller Elemente des „Prozessmodells zur kleinschrittigen Unterrichtsplanung“ von Hartmann (2017, Hartmann & Anton, 2019)

letztgenannte Art schlanker Regeln ist im modernen Sinne explizit und setzt eine genaue Vorstellung von mechanischer Arbeit voraus, ob nun von Menschen oder Maschinen ausgeführt, ...“ (S. 98)

⁴⁴⁸ Im Zuge der Pandemie (2019-2021), als das Schulsystem auf Homelearning umgestellt werden musste, musste auch die Lehrerbildung (Referendariat) auf viele Direktkontakte zwischen Lehrkraft und SuS verzichten und die Unterrichtsplanung darauf abgestimmt werden, was eine der angehenden Lehrerinnen zu folgender Erkenntnis veranlasste: „Ich strukturiere meine Erklärungen in meinen Lernvideos jetzt viel kleinschrittiger!“ (SZ Nr. 110 v. 15./16.5.21, R7)

Im Zusammenhang mit der Differenzierung von einzelnen Bedeutungen im Sinne eines Splittings von Sinneinheiten („Chunks“), deren explizite Trennung bei der Lehre das Lernen unterstützt und die Merkleistung fördert, soll auch auf die sogenannte „Aspektbetonung“ hingewiesen werden (Abb. D29.1 & 29.2). Oftmals werden Stoffe im Unterricht eingesetzt, die an unterschiedlichen Inhaltsbesprechungen gänzlich unterschiedliche Bedeutung und Funktion besitzen. Auch hier macht es Sinn, diese Unterschiedlichkeiten gesondert als sogenannte „kritische Merkmale“ (Variationstheorie!) hervorzuheben. Dadurch wird es möglich, dass die gekapselte Kombination, etwa von Eisenwolle und Batterie zum Entzünden jederzeit als getrennte Funktionen, einmal von Fe-Wolle als Oberflächenvergrößerung eines Reduktionsmittels und zum anderen von kurzgeschlossenem Spannungsausgleich zwischen den beiden Batteriepolen verstanden und getrennt eingesetzt werden kann. Genau das will Chemieunterricht ja auch vermitteln: Unterschiedliche, explizite Fakten- und Konditionenkombination je nach Problemlage und Zielsetzung.

Aspektbetonung

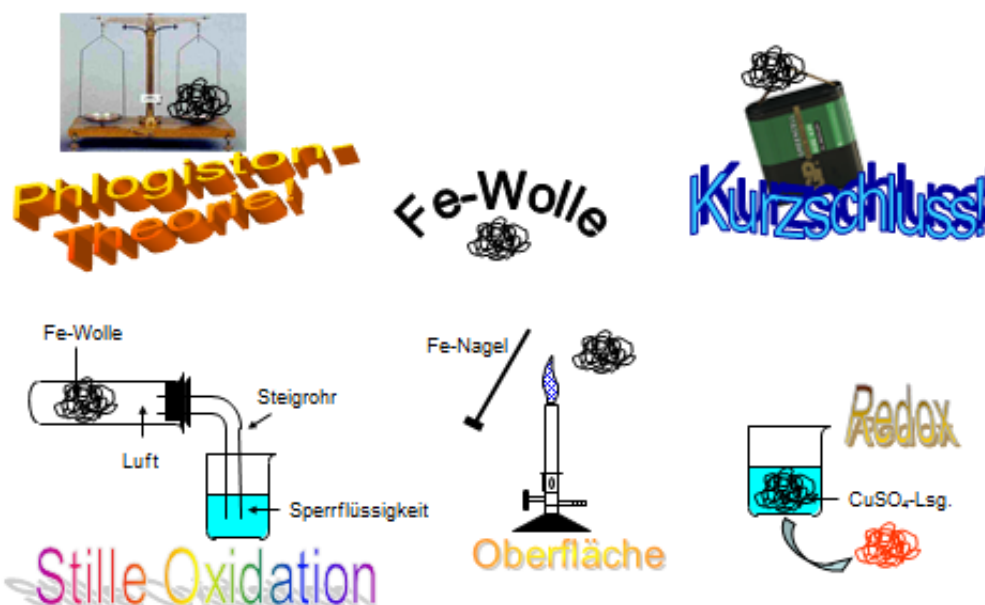
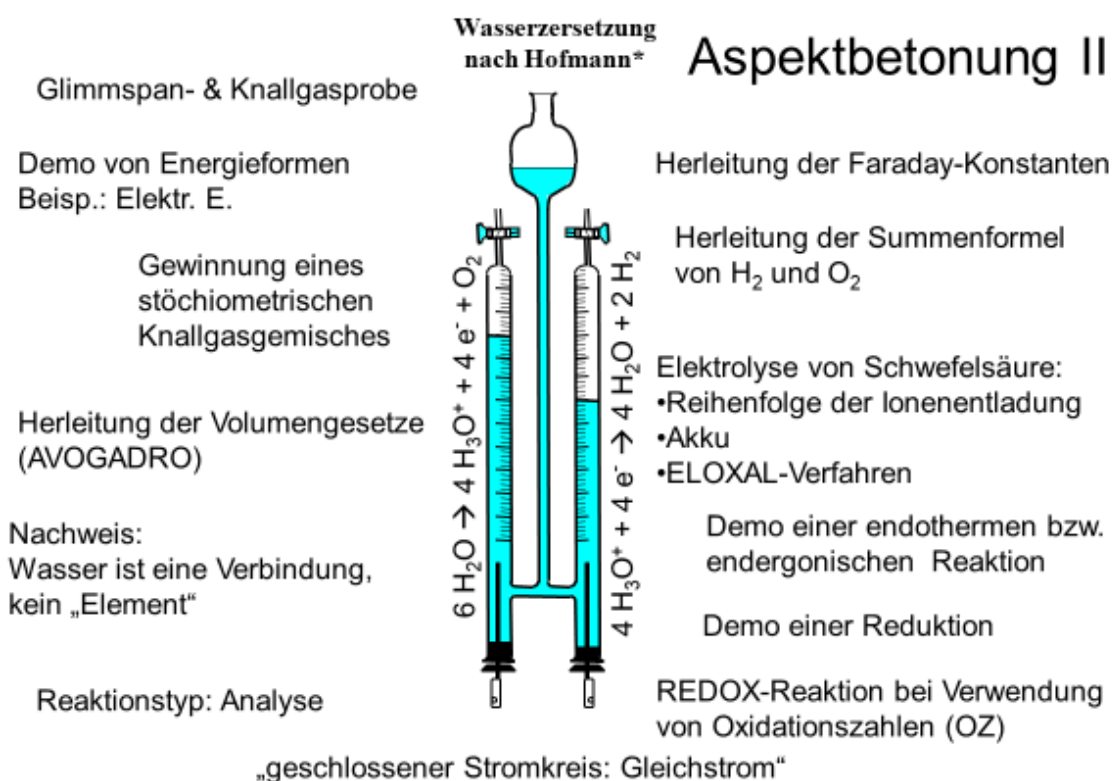


Abb. D29.1: Übersicht zu den unterschiedlichen Funktionen, welche Eisenwolle in verschiedenen Kontexten einnehmen kann: Entzünden auf der Balkenwaage um die Gewichtszunahme zu zeigen, Entzündbarkeit durch Kurzschluss zwischen zwei Polen einer Flachbatterie (4.5 V), Redoxpartner von Cu^{2+} -Kationen, die sich als Cu auf der Fe-Wolle abscheiden, Demonstration der Rolle von großen und kleinen Oberflächen bei der Reaktion mit Luftsauerstoff, Demonstration der stillen Oxidation: Rosten von Fe an der Luft (im Uhrzeigersinn)

Dies gilt analog für die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten ein- und desselben Versuchs, wie des Hofmann'schen Zersetzungsapparats (Vgl. Abb. D16.2).



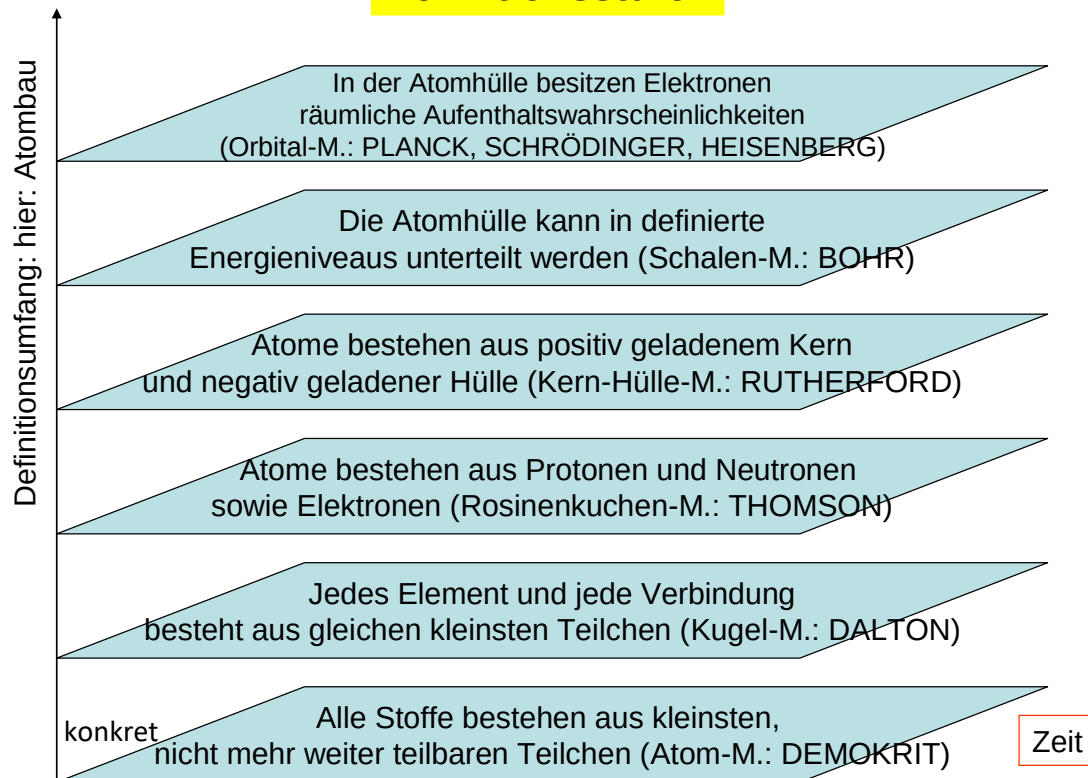
(*August W. v. Hofmann, 1818-1892; 1866)

Abb. D28.2: Es gibt kaum andere Versuche, die im Verlauf des Chemieunterrichts durch die Jahrgangsstufen hindurch so oft unter jeweils anderer Zielsetzung eingesetzt werden wie „der Hofmann“.

Das überaus wichtige Prinzip didaktischer Arbeit im Mittelstufenbereich lässt sich auch auf die Abfolge von Definitionen chemischer Sachverhalte übertragen. In den Bildern in Abb. D29 werden drei übliche Definitionsfolgen von Atombau, Säure-Base und Oxidation-Reduktion aufeinander bezogen. Diese Präsentationsformen sollten auch im konkreten Unterrichtsverlauf, etwa als Vorlage für `Advance Organizer` Anwendung finden. Es könnte damit verhindert werden, dass SchülerInnen häufig nach „der richtigen Definition“ fragen oder nach „dem richtigen Atommodell“ und sich nicht in die Lage versetzt fühlen, bedarfsgerecht das jeweils geeignete Modell bzw. die passende Definition als Erklärungswerkzeug zu verwenden.

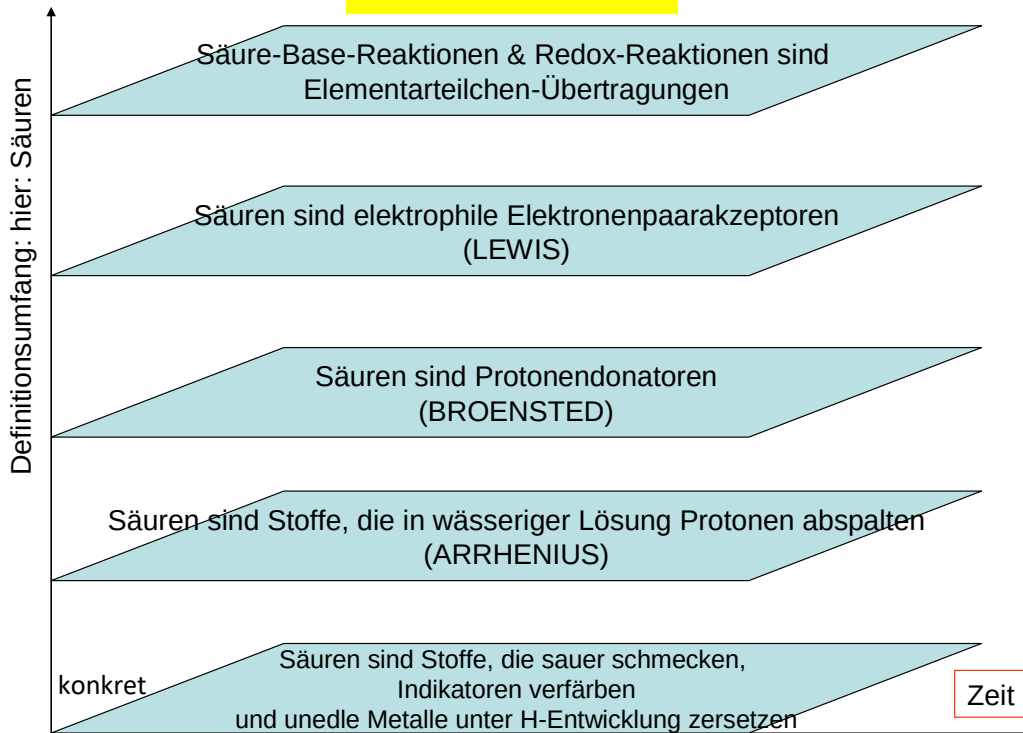
abstrakt

Definitionsstufen



abstrakt

Definitionsstufen



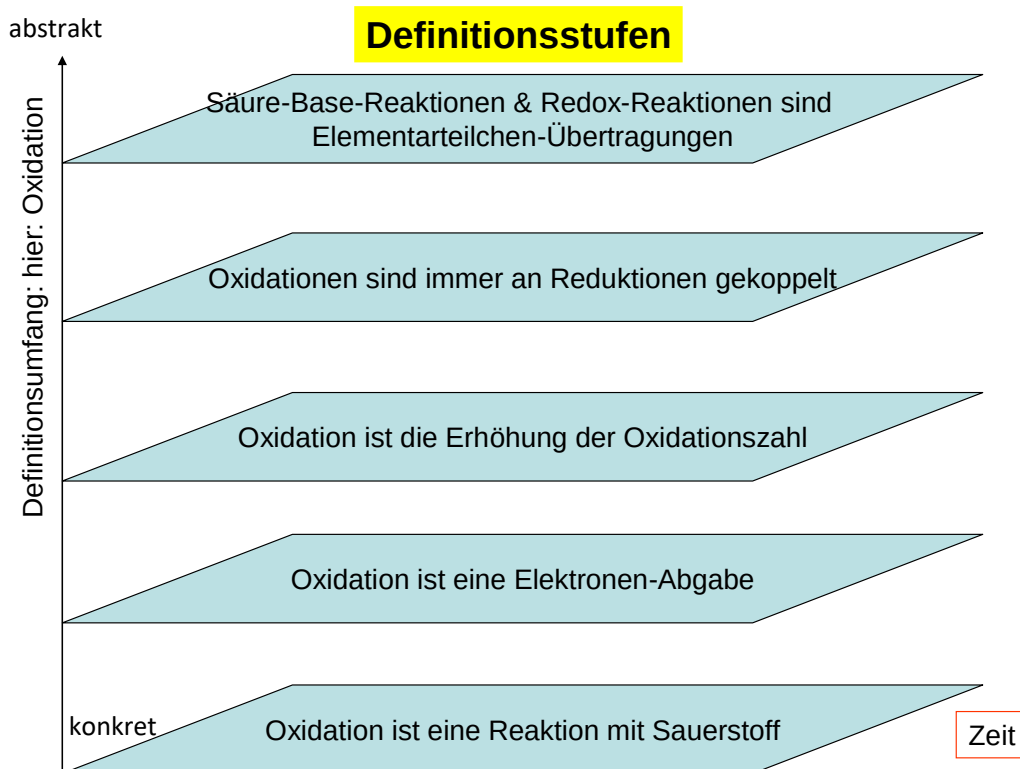


Abb. D29: Drei Definitionsstufen in ihren unterschiedlichen Abstraktionsgraden

Um die SchülerInnen die nötige Vielfalt an Definitionen verständlich vorzustellen, ist es sinnvoll und mitunter zwingend nötig, etwa vor dem Behandeln einer neuen Definition, die bisher gültige an deren Grenze zu führen. Erst wenn dies verstanden ist, macht es Sinn, eine komplexere Variante einer Erklärung anzubieten. Experimentell lässt sich das eindrucksvoll vorstellen beim REDOX-Begriff. Von der Verbrennung an der Luft (Sauerstoff als Reaktionspartner) zur vergleichenden Reaktion von Mg mit O_2 bzw. Mg in Cl_2 (Oxidation als Elektronenabgabe) und zur Erhöhung der Oxidationszahl bei der oxidierenden Reaktion von konzentrierter Schwefelsäure gegenüber Cu.

Beobachtungen in der Praxis zeigen, dass die Erweiterung des alten Oxidationsbegriffs als Sauerstoffaufnahme häufig nicht über einfache Demonstrationen und Denkschritte angebahnt wird. Man unterlässt es meist, beispielsweise Magnesium noch einmal in reinem Sauerstoff und erst dann in einem Standzylinder mit Chlor zur Reaktion zu bringen. Auch im zweiten Fall verbrennt das Metall gut beobachtbar und vollständig. Es liegt auf der Hand, dass hinter der frappierenden phänomenologischen Ähnlichkeit auch eine solche auf der submikroskopischen Ebene vermutet werden darf. Beide Male wird aus einem Metallatom ein Kation und aus beiden Partnern ein Salz bzw. eine salzartige Verbindung (Oxid). In Analogisierung anderer vergleichbarer Reaktionen liegt es nahe, den Oxidationsbegriff von Sauerstoff unabhängig zu machen und auf das Geschehen im Reduktionsmittel-Atom zu beziehen. Mit der Definition von Oxidation als Elektronenabgabe gelingt es, das Ordnungsprinzip universeller zu gestalten und sich nicht nur vom Sauerstoff, sondern auch vom Verbrennungsbegriff zu emanzipieren.

Es erfordert Voraussicht, wenn die Lehrkraft definitorische Vorstufen formulieren muss: Heißt es bei der Erstdefinition von Oxidation „Eine Oxidation ist eine Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff!“ oder muss es heißen „Die Vereinigung eines Stoffes mit Sauerstoff ist eine Oxidation!“? Hat man den ersten Satz als Merksatz ins Heft diktiert,

muss man bei der Definition von Oxidation anhand des Elektronentransfers zugeben, dass er „eigentlich“ falsch war. Hat man die zweite Formulierung gewählt, so können die SchülerInnen den Denkweg weitergehen. Sie erkennen auch, dass Definitionen Entwürfe des Menschen sind und den erfundenen Ordnungssystemen gehorchen. Es sind keine gottgegebenen Gesetzmäßigkeiten, deren Richtigkeit und Sinnhaftigkeit nicht angezweifelt werden dürfte. Überdies manifestiert sich darin das wissenschaftliche Grundanliegen, wonach alle wissenschaftlich erfassbaren Prozesse und Zustände möglichst auf ein globales Erklärprinzip („Weltformel“) zurückzuführen sein sollten⁴⁴⁹.

Das gilt dann auch für die Einführung der Oxidationszahl!⁴⁵⁰ Um hier die ursprüngliche Grenze zu verdeutlichen, eignet sich die Reaktion von konzentrierter Schwefelsäure gegenüber Kupfer.

In der Hitze wird das blanke Kupferblech schwarz und in der Gasphase lässt sich Schwefeldioxid nachweisen (feuchtes Indikatorpapier)⁴⁵¹. Da Schwefel im Sulfat nicht ionisch vorkommt, muss die herkömmliche Definition der Reduktion als Elektronenaufnahme versagen. Erst wenn „man so tut als läge ein Schwefel-Ion vor“, kann man den Wechsel von +VI auf +IV in der Oxidationsstufe vollziehen. Voraussetzung ist die Einführung einer `fiktiven Ionenladung´ (=Oxidationszahl). Neben diesem Formalismus per se, lernen die SchülerInnen auch, dass es in der Wissenschaft hilfreich ist, Postulate einzuführen, welche die Ordnung in einem System gewährleisten und zur verbesserten Übersichtlichkeit beitragen.

So erleben SchülerInnen, wie hilfreich sich eine Erweiterung des Oxidationsbegriffs erweist, wenn man Redox-Vorgänge mit Säure-Base-Reaktionen nach Brønsted vergleichen möchte. Dann handelt es sich nämlich in beiden Fällen um einen Transfer von Elementarteilchen, der einem der übergeordneten Basiskonzepte⁴⁵², dem Donator-Akzeptor-Konzept, gehorcht (Tab. D3 & Abb. D30).

⁴⁴⁹ Die Physiker haben dasselbe Anliegen. Sie sind dem Ziel mit der Formel $E = m \cdot c^2$ aber schon nähergekommen

⁴⁵⁰ Auch wenn der Lehrplan, etwa in den nicht-gymnasialen Ausbildungsrichtungen nicht alle fachsystematisch relevanten Begriffe, Stoffgruppen, Definitionen etc. einfordert, muss (insbesondere den Lehrpersonen) ein Überblick vermittelt werden. Erst dann können die erforderlichen Ausschnitte gebildet und Beispiele als solche erkannt und richtig zugeordnet werden.

⁴⁵¹ Achtung! Der Versuch muss nach dem ersten Schwarzwerden des Kupfers abgebrochen werden (Aus der Flamme entfernen und evtl. vorsichtig(!) mit Wasser aufnehmen. Ansonsten reagiert das System spontan weiter, wobei das Oxid mit der sich verdünnenden Schwefelsäure zum Kupfersulfat umgesetzt wird. Dieser Reaktionsteil ist jedoch kein Redox-Vorgang.

⁴⁵² **Stoff-Teilchen-Konzept** Es gibt eine beobachtbare Ebene (Stoffebene) und eine Deutung auf Teilchenebene (Teilchenebene).
Chemische Frage: Wie erhält man reine Stoffe? Kontextfrage: Wie erhält man sauberes Trinkwasser?

Fachsprachen-Konzept Es gibt fachspezifische Benennungen in Wort und Symbol von Geräten und Chemikalien, von Prozessen und Modellen (Vokabeln der ChemikerInnensprache)
Chemische Frage: Wie heißt „übermangansaures Kali“ auf `chemisch`? Kontextfrage: Was verbirgt sich hinter der Formel NaHCO_3 ?

Struktur-Eigenschafts-Konzept Die Anordnung und Wechselwirkung der Teilchen (Atome und Moleküle) bestimmen die Eigenschaften des Stoffes.

Chemische Frage: Warum gefriert Wasser bei 0°C und siedet erst bei 100°C ? Kontextfrage: Weshalb bietet die Erde – im Verhältnis zu anderen Planeten – so angenehme Lebensbedingungen?

Donator-Akzeptor-Konzept Wie kann man chemische Reaktionen beschreiben?
Chemische Frage: Warum rostet Eisen? Kontextfrage: Wie kann ich verhindern, dass mein Fahrrad rostet?

Energiekonzept Bei jeder chemischen Reaktion findet ein Energieumsatz statt.
Chemische Frage: Ohne Aktivierung reagiert gar nichts oder...? Kontextfrage: Wie gelingt es ein Lagerfeuer zu entzünden?

Größenkonzept Stoff- und Energieumsätze können quantitativ bestimmt werden.
Chemische Frage: Wieviel Sauerstoff braucht man zum Verbrennen von einem Liter Benzin? Kontextfrage: Wie kann man die Abgasmenge bei der Verbrennung im Automotor verringern?

Inhalt	Definitionsebenen			
Säure-Base-Reaktion	Indikatorverfärbung H-Entwicklung vs. keine H-Entw. mit unedlen Metallen Saurer vs. fader Geschmack	Abgabe von Protonen vs. Aufnahme von Protonen	Aufnahme freier Elektronenpaare vs. Bereitstellung freier Elektronenpaare	Transfer von Protonen: p^+
Oxidation und Reduktion RedOx- Reaktion	Vereinigung mit Sauerstoff vs. Abgabe von O	Abgabe von Elektronen vs. Aufnahme von Elektronen	Erhöhung vs. Erniedrigung der Oxidationszahl (OZ)	Transfer von Elektronen: e^-

Tab. D3: Übersicht zu den Analogien zwischen der Säure-Base- und der Redox-Definition.

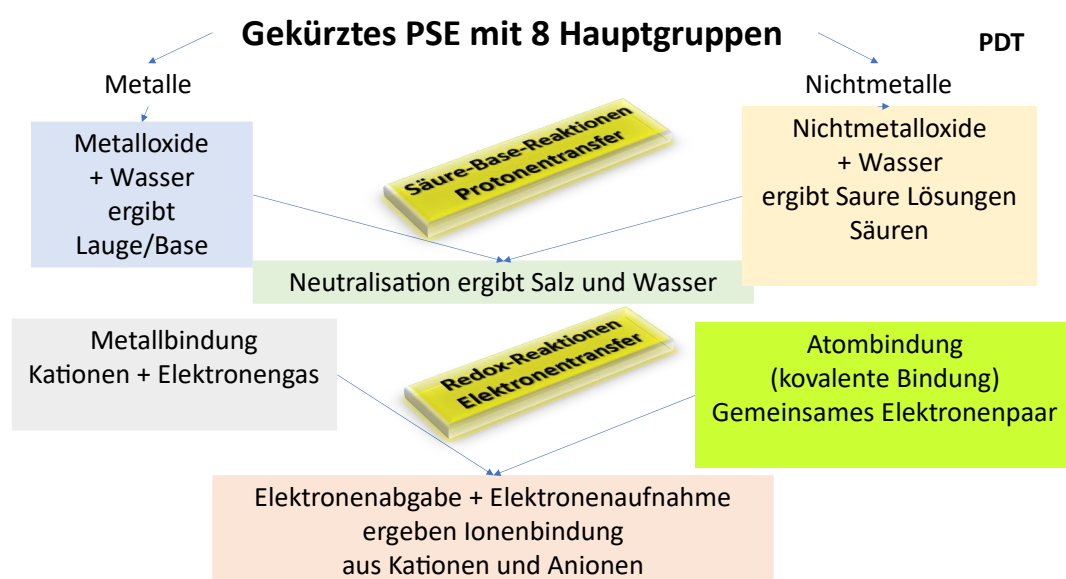


Abb. D30: Übersicht zu den Analogien zwischen der Säure-Base- und der Redox-Definition vor dem Hintergrund der Metalle und Nichtmetalle, wie sie sich im gekürzten PSE zeigen.

Aus Beziehungen werden Bilder und die können als „Nachbarschaftsgruppierungen“⁴⁵³ von unserem Gehirn sehr leicht gelesen werden (Abb. D30 & D31). Dabei sind die Verstehensergebnisse dann „besser als erwartet“! Mit einer derartigen Gegenüberstellung wird sowohl das Gemeinsame als auch das Unterschiedliche deutlich hervorgehoben. Die intuitive Verständlichkeit des Prinzips sowie die Möglichkeit, einzelne Beispiele schnell und sicher zuordnen zu können, erhöhen die Freude am Denken. Sie verschaffen den Lernenden genau die Zuversicht in die eigenen Fähigkeiten, die sie benötigen, um nächstliegende Probleme bearbeiten zu wollen, also zu können!!!

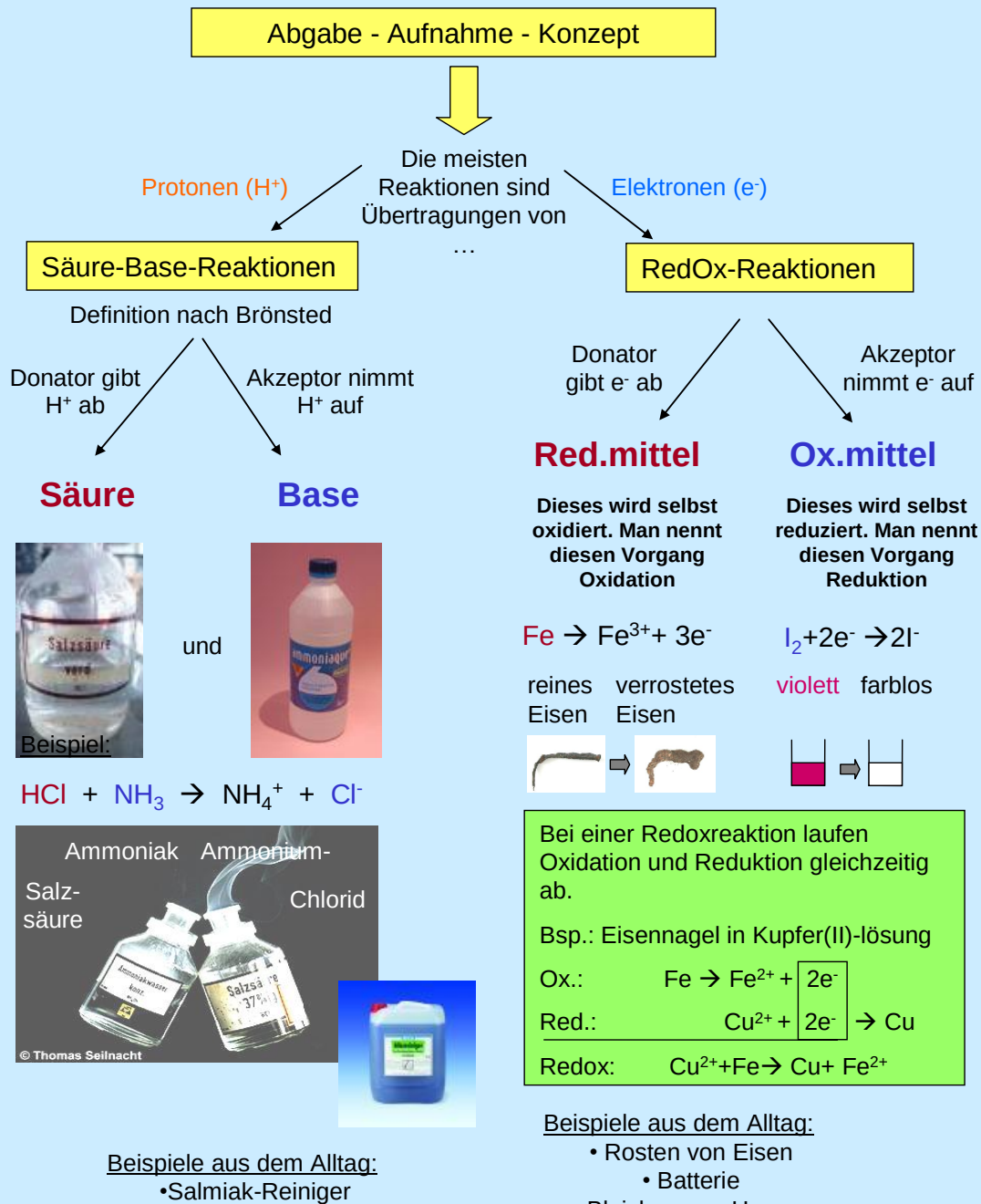
Gleichgewichtskonzept Reversible chemische Reaktionen können zu einem Gleichgewichtszustand führen.

Chemische Frage: Wann bindet das Enzym Amylase an sein Substrat die Stärke? Kontextfrage: Wie kann ich bei einem industriellen Prozess die Ausbeute erhöhen?

Technikkonzept Einsatz von Stoffen und Prozessen zur Erleichterung von Arbeitsgängen. Chemische Frage: Was versteht man unter „hartem Wasser“? Kontextfrage: Wie kann man einen Wasserkocher entkalken?

⁴⁵³ Wengenmeyer, R.: „Mit den Augen denken“ in: Max-Planck-Forschung (2005)1, 66-72; S.69.

Donator - Akzeptor - Konzept



Didaktik & Mathematik der Chemie
LMU München

Martina Klotz, Jan Demharter, Kathrin Beimler,
Veronika Engelsberger

Abb. D31: Poster zu den beispielhaften Beziehungen des Donator-Akzeptor-Konzepts.

Die bildhaften Darstellungen müssen entwickelt und verarbeitet werden, was zu unterschiedlichen Verweildauern auf den Verständnisebenen führt. Je nach Geübtheit können Ebenen schnell oder langsam durchlaufen werden (Abb. D32). Entscheidend für eine solche Vorgehensweise bei der Gestaltung des Weges in die Abstraktion ist die

Option, bei Schwierigkeiten sofort auf Bekanntes und Bewährtes zurückgreifen zu können, sodass ein Überspringen einzelner routinisierter Stufen als solches bewusst bleibt! Damit bleibt die extrinsische Cognitive Load (Sweller et al., 2011) (aufgabenrelevante Lernbedingungen) für das Working Memory (WM) so klein als möglich und der intrinsischen Cognitive Load (eigentliche Lernleistung als Verknüpfung der neuen Information mit bestehenden Wissensinhalten) steht die größtmögliche Kapazität des Arbeitsgedächtnisses offen. In solchem Zusammenhang spricht Renkl (2016) von der didaktischen Aufgabe, „Gleichzeitigkeiten [zu] entzerren“ (S. 249).

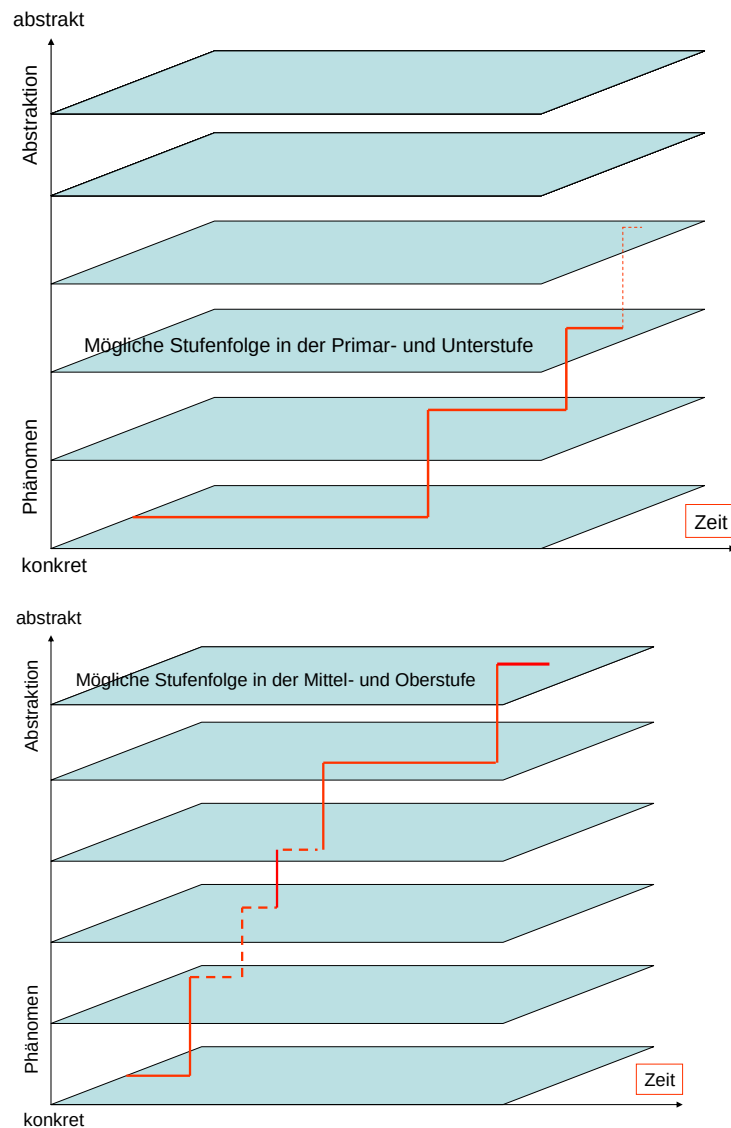


Abb. D32: Gegenüberstellung der relativen Verweilzeiten auf den einzelnen Ebenen (hier 6) in Abhängigkeit vom jeweiligen Verständnisgrad und Inhaltsanspruch.

Zur weiteren Festigung der Sinnhaftigkeit des SST und der Co-Konstruktion soll abschließend auch noch eine moderne Theorie der Kommunikation herangezogen werden. So betrachtet die „Embodied Communication“- (EC-) Theorie (Storch & Tschacher, 2014) Kommunikation als die ad hoc stattfindende Herausbildung synchroner

und gleichgerichteter Empfindungen zwischen den beteiligten Personen⁴⁵⁴. „Nach Ciompi [1993] entwickeln sich komplexe psychische Prozesse aus dem regelhaften Zusammenspiel zweier komplementärer Funktionseinheiten: eines mehr qualifizierenden Fühlsystems mit wenigen affektiven Grundzuständen und eines mehr quantifizierend-abstrahierenden Denksystems, das sich immer weiter ausdifferenziert“ (Scharf et al., 1996, S. 170). Diese Prozesse bilden ein entwicklungspsychologisch verschiebbares Gleichgewichtssystem, innerhalb dessen Informationen in beiden Richtungen vermittelt und verstanden werden. Dabei findet der Austausch sowohl auf der argumentativen wie auch auf der körpersprachlichen Ebene statt⁴⁵⁵. Die hieraus entstehende Beziehungsqualität stellt eine sichere Basis für den Informationsaustausch dar. Dies ist besonders dann der Fall, wenn die begleitenden Emotionen aus beobachtbarem *Ausdruck*, subjektiv erlebbarem *Gefühl* und körperlichem *Zustand* positiv, zugewandt und von großer Aufmerksamkeit begleitet sind. Insgesamt kann diese Verfasstheit als ‚positiver Affekt‘, das Gegenteil als ‚negativer Affekt‘ bezeichnet werden (Storch & Tschacher, 2014, S. 33-34).

Nach modernen Lerntheorien führt der positive Affekt auch gegenüber Sachen, hier: chemischen Phänomenen, zunächst zur Bereitschaft, sich viel länger als sonst mit dem Thema zu beschäftigen und damit auch zum leichteren Erinnern, nicht nur bei Prüfungen. Zudem erweisen sich solche positiven Rahmenbedingungen als beste Voraussetzung für die Bedeutungsverarbeitung und damit für die Abspeicherung im semantischen und impliziten Gedächtnis (vgl. Forster, 2014, S. 158).

So erscheint es hilfreich, „neues Material so vielgestaltig und ausführlich wie möglich in der zur Verfügung stehenden Zeit mit der eigenen Person und den eigenen Umständen zu verbinden“ (S. 157)⁴⁵⁶. Konkret geht es hier auch um die Variation beim Wiederholen. Ein chemisches Experiment zu sehen, es zu beschreiben, den Verlauf zu protokollieren und dem wiederum eine kritische Auswertung folgen zu lassen, beschreibt das Prinzip der „elaborierenden Wiederholung“ (Forster, 2014, S. 160). Im Gegensatz zur bloßen „erhaltenden Wiederholung“ wird die neue Information neu codiert, mit Bedeutung ausgestattet und damit besser vernetzt und abrufbar.

Auf das oben angesprochene Unterrichtsgeschehen angewandt, wäre zu vermuten, dass die Kleinschrittigkeit (*Small-Step-Teaching*) einer Sachdarstellung, die für die erfolgreiche Kommunikation und Verständnisentwicklung nötige Synchronisierung im LehrerIn-SchülerIn-System erleichtert. Der Verständnisentwicklung und damit der „Segmentierung und Sequenzierung“ (S. 143) geht nach Niegemann et al. (2008) eine lernpsychologische Voraussetzungsanalyse voraus, die in drei Schritten erfolgt:

- „1. Vermittlung der grundlegenden Voraussetzungen,
2. Vermittlung darauf aufbauender Inhalte, die wiederum die Voraussetzung und Grundlage für weitere Inhalte sind,
3. Vermittlung der auf (2) aufbauenden Inhalte, die wiederum Voraussetzung für weitere Inhalte sind usw.“ (S. 143).

⁴⁵⁴ „Jedes Wort, jeder Satz, jede Idee, die dem Gehirn als Input gegeben werden, lösen in körperbezogenen neuronalen Netzwerken Aktivität aus, die die Bedeutung der abstrakten sprachlichen Inhalte begründen“ (S. 38)

⁴⁵⁵ In diesem Zusammenhang erläutert Stern (2020): „Das Lesen von Büchern hat durch die Kombination von Hand-, Kopf- und Augenbewegungen etwas Körperliches – Embodiment ...“.

⁴⁵⁶ „Goethe behauptete, objektive Wahrheit lasse sich nur erkennen, wenn sich subjektive Erfahrungen (beispielsweise durch die Wahrnehmungen des Auges) mit der Denkfähigkeit des Beobachters verbinden“ (Wulf, 2018, S. 60).

Um das Potenzial des Fachs vollständig zur Wirkung kommen zu lassen, ist es nötig, etwa bei der Auswertung eines Experiments nicht abzuschließen, sondern den Rückbezug zum Phänomen sicherzustellen. Erst dadurch wird den SchülerInnen verdeutlicht, dass sie nun, nach dem anstrengenden Aufklären eines Sachverhalts (Reaktionsverhalten einer oxidierenden Säure gegenüber einem edlen Metall) eben diesen ursächlich erläutern und mit anderen Phänomenlagen vergleichen können. Sie werden also auf Ihren Wissens- und Kompetenzzuwachs aufmerksam gemacht, gewinnen an Selbstwert und Zutrauen, wodurch sich ihre intrinsische Motivation für weitere Untersuchungen und Anwendungen „auffüllt“. In dieser „Ruhephase“ oder „Genussphase“⁴⁵⁷ (Salner-Gridling, 2009, S. 95), -die Pädagogik hat hierfür den Begriff „Lorbeereffekt“ (Schröder, 1985) -, des Erkenntnisgewinns verändert sich die Persönlichkeit, werden die SchülerInnen `Neues Wissende´. Auf solche Weise wird das Reflexionsfeld mitbedient (Anton, 2009b), da metakognitiv abgesicherte und als prinzipiell erfolgreich erkannte Lernstrategien entwickelt werden⁴⁵⁸.

Übrigens ist die betreffende Person während der „Genussphase“, deren Dauer je nach den gegebenen Umständen etwa eine bis mehrere Minuten beträgt, sowohl nicht belastbar als auch unfähig, negative Kritik konstruktiv zu verarbeiten. Nach dieser Pause steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die SchülerInnen mutig und mit Selbstvertrauen und vielleicht auch frustrationstoleranter weiterlernen.

Im anderen Fall passiert das so oft Beklagte, dass nämlich das einmal Gelernte, nicht Verstandene auswendig gelernt wird, in der Hoffnung, `es kommt nicht oder wenn doch, es kommt so und nicht anders in Prüfungen dran´ und in der Angst, es kommt zum Transfer⁴⁵⁹, der dann nicht bewältigt wird.

Auch für Lernwege, die sowohl theoretisch wie auch praktisch (experimentell) in völlig neue Themengebiete, wie etwa in die Elektrochemie auf vorwissensbezogene Weise `remedial´⁴⁶⁰ hineinführen, gilt das Prinzip des SST. Die Ebenenfolge sieht dann anders aus (Abb. D20), das Prinzip der Kleinschrittigkeit, auch bei der Entwicklung einer Theorie, bleibt jedoch bestehen und aktuell anwendbar.

Die in Abb. D33 aufgelistete Folge von Argumenten ist oftmals vorgestellt worden und hat sich mittlerweile auch in der LehrerInnenausbildung bewährt. Sie entspricht

⁴⁵⁷ Der Autor hat in der Zeit zwischen 1993 und 2002 im Rahmen seiner Veranstaltungen zur „Drogenerziehung und Suchtprävention“ an der LMU und in vielen öffentlichen Vorträgen ein „Euphorie-Modell“ entwickelt, in welchem im Kreislauf von „Anstrengung, Leistung, Erfolg und Motivation“ vor der Motivation die „Genussphase“ eingefügt ist, welche in der Praxis von häuslicher und schulischer Erziehung meist übergangen wird obwohl ihr bewusstes Erleben eine wesentliche Voraussetzung für neue Anstrengungsbereitschaft darstellt (Vgl. Kap. E6, S. 499)

⁴⁵⁸ Offensichtlich gelten solche Überlegungen nicht nur für den Chemieunterricht; auch im Schwimmunterricht wird von Fachdidaktikern angemahnt: „Wir legen in der Praxis zu wenig Wert auf die Grundfertigkeiten und fangen stattdessen viel zu schnell mit der Vermittlung der Technik an. Das wissen alle, Aber es dauert, das zu ändern“ und: „Wenn Kinder irgendwann souverän im Wasser orientiert sind – sich rollen und drehen können, ins Wasser ausatmen, die Augen unter Wasser öffnen – lernen sie angstfrei und mit Freude jede Technik, ganz egal ob Kraul oder Brust oder Rücken“ (R. Colette SZ Nr. 88 v. 16., 17. 18.4.22, S. 33)

⁴⁵⁹ Achtung: Ein „Transfair“ ist stets erst dann zulässig (fair), wenn über die Analogisierung von mehreren Beispielen vorab das Prinzip („Unedle Metalle entwickeln mit Säuren Wasserstoff“) vermittelt und verstanden worden ist. Erst unter dieser Voraussetzung eröffnet sich für die SchülerInnen die Option, beliebige neue Beispiele mit sicherer Aussicht auf Erfolg bearbeiten zu können. Andernfalls handelt es sich um ein unfaires Prüfungsmuster!

⁴⁶⁰ Unter „remedialem“ Unterrichten versteht man stützendes, förderndes, helfendes oder ergänzendes Unterrichten für Anfänger, junge und behinderte Lerner sowie Underachiever („remedial teaching“ = Förderunterricht). Remediation beschreibt eine „Lernstrategie, die darauf gerichtet ist, spezifische Ursachen von Mängeln und Lücken zu beheben“, bzw. „Defizite in Form von Prozessen der Informationsverarbeitung zu remedieren“ (Neber, 1996, S. 406)

nachweislich nicht den Konzeptionen, wie sie in den üblichen Lehrbüchern enthalten sind, allein schon deshalb, weil sie mit einem deutlich höheren Zeitaufwand einhergeht. Dennoch eröffnet sie die Möglichkeiten des explizierbaren AHA-Erlebens und somit des Verstehens auf eindrucksvolle Weise und nachhaltig.

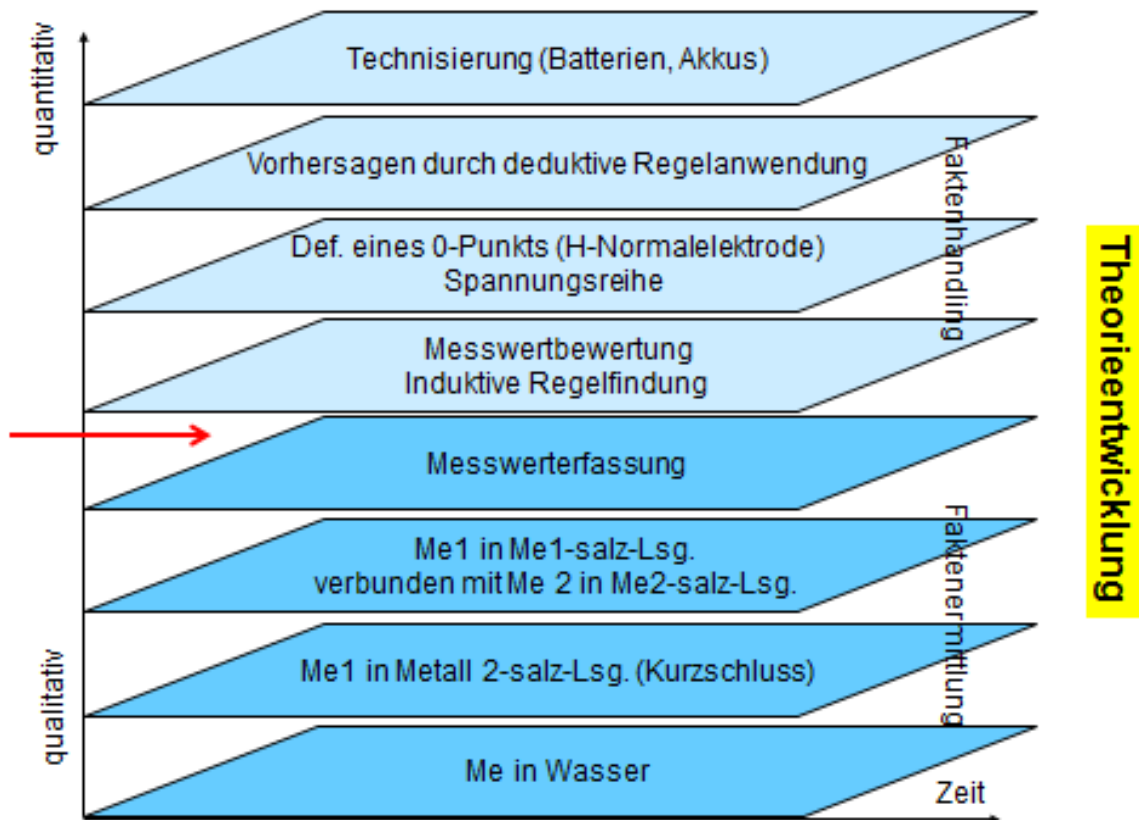


Abb. D33: Übersicht zu den Abstraktionsebenen als Denkebenen mit einem Beispiel bzw. als Ebenen der Theorieentwicklung mit einem Beispiel von der realen Anschaulichkeit bis in den Bereich der mathematisierten Abstraktion (Vgl. auch Kulgemeyer & Schecker, 2009, S. 329 und Leisen, 2015, S. 133). Zwischen Ebene 1 und 4 lassen sich Lernproblematiken durch flache Übergänge und unter Beibehaltung eines Lernprinzips lösen. Das gilt auch –allerdings eingeschränkt– für die Übergänge von 5 bis nach 8. Von Ebene 4 nach 5 ist jeweils ein „qualitativer Lernsprung“ erforderlich, bei dem sich das Denkprinzip aber auch der notwendige Umfang an flexiblem Vorwissen ändern.

Die folgenden Abb. D34-D35 zeigen modellhaft die Abfolge von Experimenten, deren Präsentation ebenso einfach wie überzeugend der Auswertung zugeführt werden kann. Dabei ist zu beachten, dass die Denkweise, die der Folgerichtigkeit („Logik“) zugrunde liegt, nicht ohne Erklärung abrufbar ist (Vgl. hierzu die „Variationstheorie“).

Beispiel für einen LG der Chemie:

Direkter LGd: Einführung in die E-Chemie

Indirekter LGi: Aufzeigen der Erkennbarkeit chemischer Prinzipien über ein kleinschrittiges und jeweils verbindendes methodisches Vorgehen (SST)

- kritische Aspekte eines LG:
 - Gerätschaften,
 - Stoffe,
 - Handlungsabläufe,
 - Beobachtungen,
 - Typisches Lehrverhalten bei der Verknüpfung von Bekanntem mit Neuem

- kritische Merkmale als Ausprägungen der kritischen Aspekte eines LG:
 - Rggl., Bechergläser, Stromschlüssel, ...
 - Mg, Cu, Wasser, Indikator BTB, Fe-Nagel, Zn-Stift, Cu-Blech, Kabel, Voltmeter
 - Nachweise von pH-Änderungen, Kurzschluss-Rkn., Entwicklung des Daniell-El.
 - Basische Verfärbung von Indikator, Blaufärbung wegen Tetraminkomplex-Bildung, Cu-Abscheidung, Silberabscheidung, Messwert bei Halbzellenkombination
 - Explizites Kommentieren der sachlogischen Verknüpfung aufeinanderfolgender Denk- und Arbeitsschritte

(→ Lernprozessesstrukturierung)

Im gleichzeitigen Verbinden der kritischen Merkmale manifestiert sich das Verstehen

Für die Abbildungsfolge gilt folgendes Beispiel: Mg, Cu, Fe, Ag, Cl und Iod in Wasser führen zu teilweise deutlich nachweisbaren Bildungen von Ionen, was unterschiedliche Halbzellengleichgewichte zwischen Lösungstension und osmotischem Druck beschreibt.

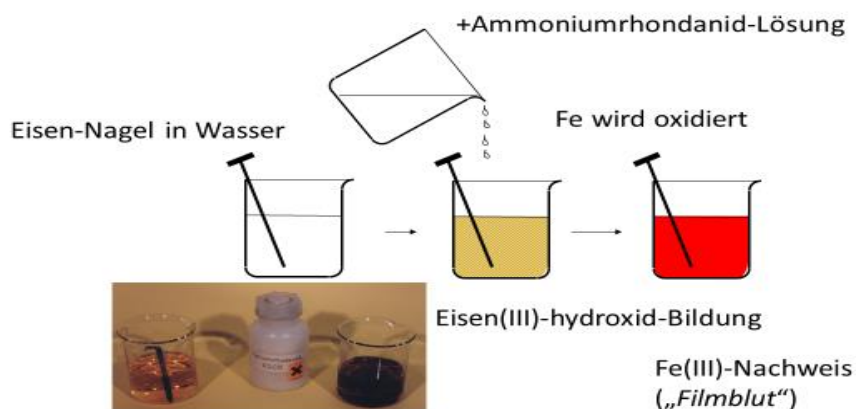
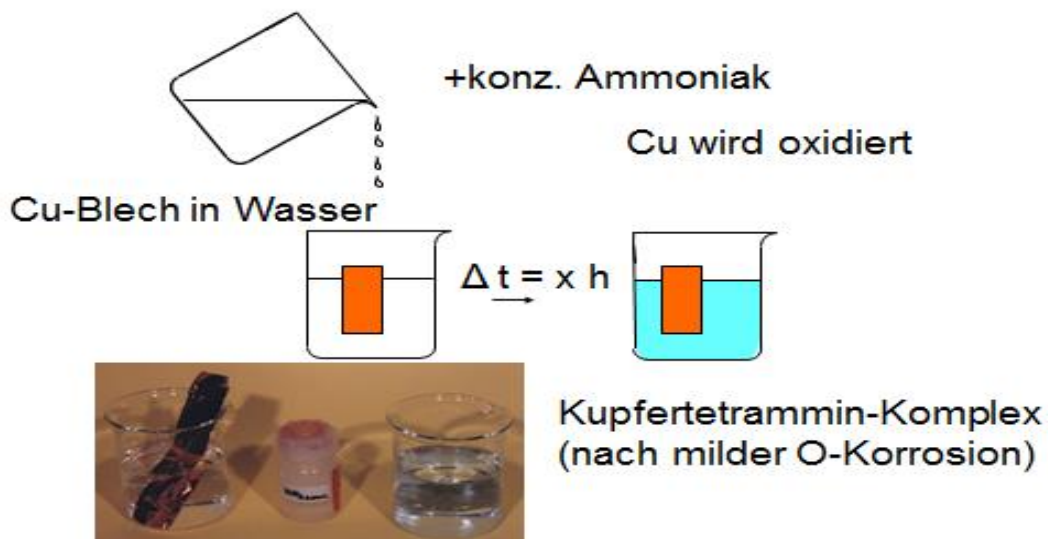


Abb. C34: oben: Cu in Wasser bildet sehr langsam Cu^{2+} -Kationen; unten: Fe in Wasser bildet erst Fe^{2+} -, dann rasch Fe^{3+} -Kationen

Beim Kombinieren von Fe und CuSO_4 -Lsg. oder Cu in AgNO_3 -Lsg. entstehen „Kurzschlüsse“, soll heißen Oxidationsmittel (Ag-Kationen/Cu-Kationen) und Reduktionsmittel (Fe-Atome/Cu-Atome) berühren sich direkt: Kupfer und Silber scheiden sich ab. Beim Eintauchen von Mg in H_3O^+ -Ionen Lösung (etwa verd. Salzsäure) *scheidet sich H_2 an Mg ab* (!) (Abb. D36). Analoges gilt für Nichtmetallreaktionen (Abb. D37).

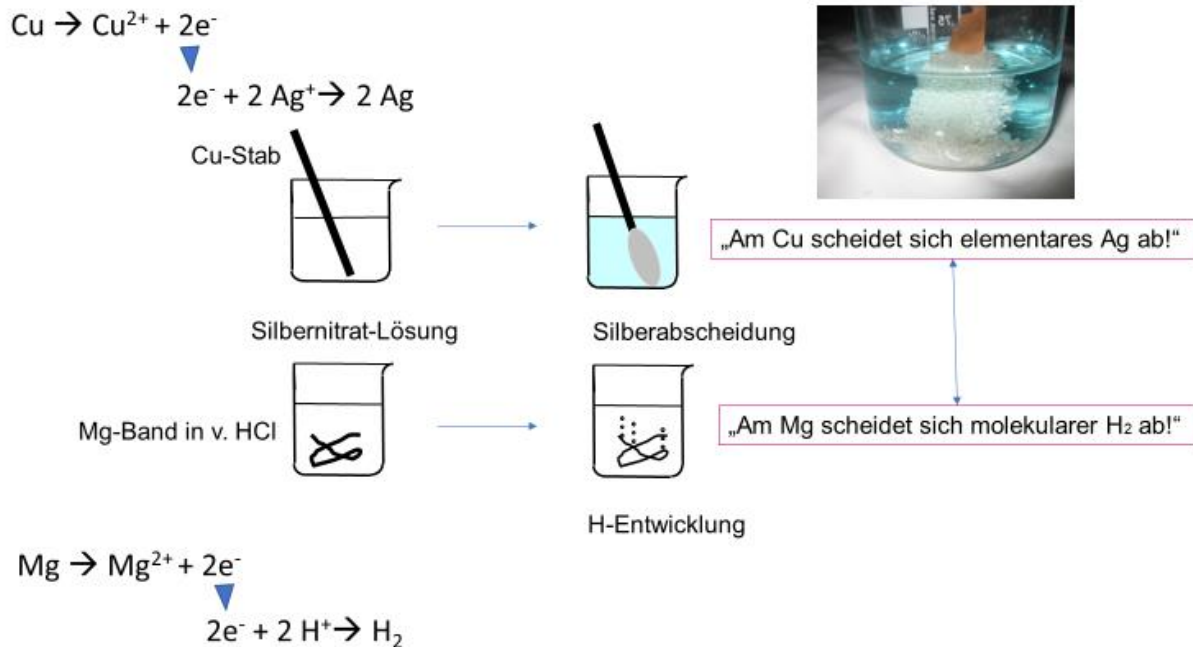


Abb. D35: Auch für das „Auflösen“ von Mg in verd. Salzsäure lässt sich der Redox-Prozess elektrochemisch interpretieren und in direkten Zusammenhang mit dem „Kurzschluss“ zwischen Metall und Metallsalzlösung bringen.

In allen Fällen werden Elektronen übertragen, einmal vom unedleren Metall (Fe) auf das Kation des edleren Metalls Cu^{2+} , im zweiten Fall vom Nichtmetall-Anion (I^-) auf das Molekül des oxidierenden Halogens (Cl_2).

Dazwischen liegt die Reduktion des Oxonium-Ions, was durchaus plausibel macht, weshalb die H-Normal-Elektrode als 0-Punkt der Spannungsreihe definiert wurde.

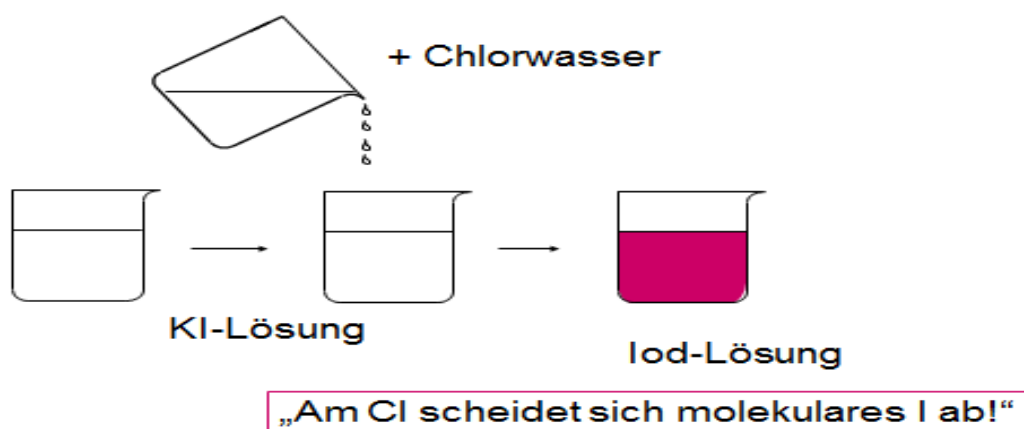


Abb. D36: Auch für Nichtmetallreaktionen lässt sich der Redox-Prozess elektrochemisch interpretieren.

Im dritten Denkschritt werden die Halbzellen getrennt und über Fritte oder Stromschlüssel miteinander leitend verbunden: Daniell-Element (Abb. D37.1 & D37.2). Dem folgt die Notwendigkeit eines Bezugssystems und damit der Definition eines Nullpunkts. Es entsteht die Spannungsreihe mit den Normalpotentialen ϵ , die sich auf die Normalwasserstoffelektrode (NHE) beziehen. Hieraus lässt sich dann das Leclanché-Element herleiten usw.

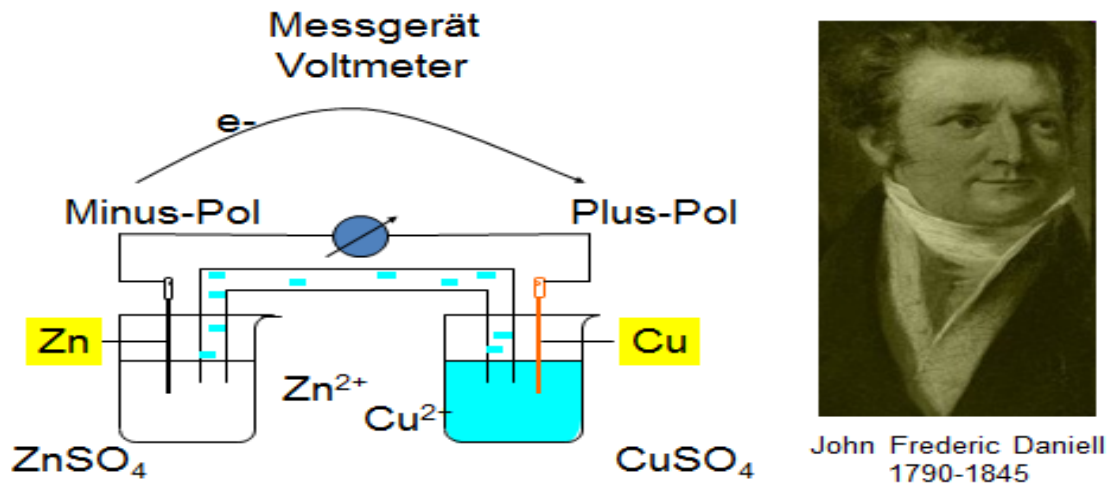


Abb. D37.1: Das Daniell-Element als Beispiel für eine traditionelle Halbzellenkombination in der E-Chemie

(Zn ist unedler als Cu, d.h. es gibt leichter e^- ab als Cu, wird also leichter oxidiert! Taucht man Zn in Zinksulfat-Lösung, dann stellt sich ein materialtypisches GG zwischen Zn und Zn^{2+} ein und die Elektrode lädt sich negativ auf, wird also zum Minus-Pol. Völlig analog verhält sich das Cu, allerdings liegt hier das GG mehr auf der Seite von Cu. Relativ zum Zn lädt sich das Cu weniger negativ auf, d.h. es wird zum **Plus-Pol**. Im „Stromschlüssel“ mit KCl-Lösung findet durch die „Wanderung“ von K^+ - und Cl^- -Ionen zwischen den beiden Lösungen der Ladungsausgleich statt.

Die hier geschilderte Versuchsfolge kann deutlich differenzierter ausgebaut werden, was jedoch im Ermessen der didaktisch versierten Lehrkraft liegen soll.

An dieser Stelle noch ein bedeutsamer Hinweis auf die Pol-Benennung: Die Begriffe „ANODE“ und „KATHODE“ sind bei ALLEN FREIWILLIG ablaufenden elektrochemischen Vorgängen unbedingt und vorbehaltlos zu VERMEIDEN. Hier wird ausschließlich vom „Minus-Pol“ und „Plus-Pol“ gesprochen, was auch der Wanderrichtung der Elektronen entspricht: $\text{Minus} \rightarrow e^- \rightarrow \text{Plus}$. Am Minus-Pol geschieht nämlich genau das Gegenteil von dem, was sich etwa in der „erzwungenen“ Elektrolyse oder beim Laden eines Akkus an der Kathode abspielt!!!⁴⁶¹ Die fehlende Differenzierung kann zu Verwirrungen führen (Lüke et al., 2021) und die sind leicht vermeidbar!

⁴⁶¹ Die Begriffe „anodische Oxidation“ und „kathodische Reduktion“ stehen der Reduktion am +-Pol bzw. der Oxidation am -Pol gegenüber

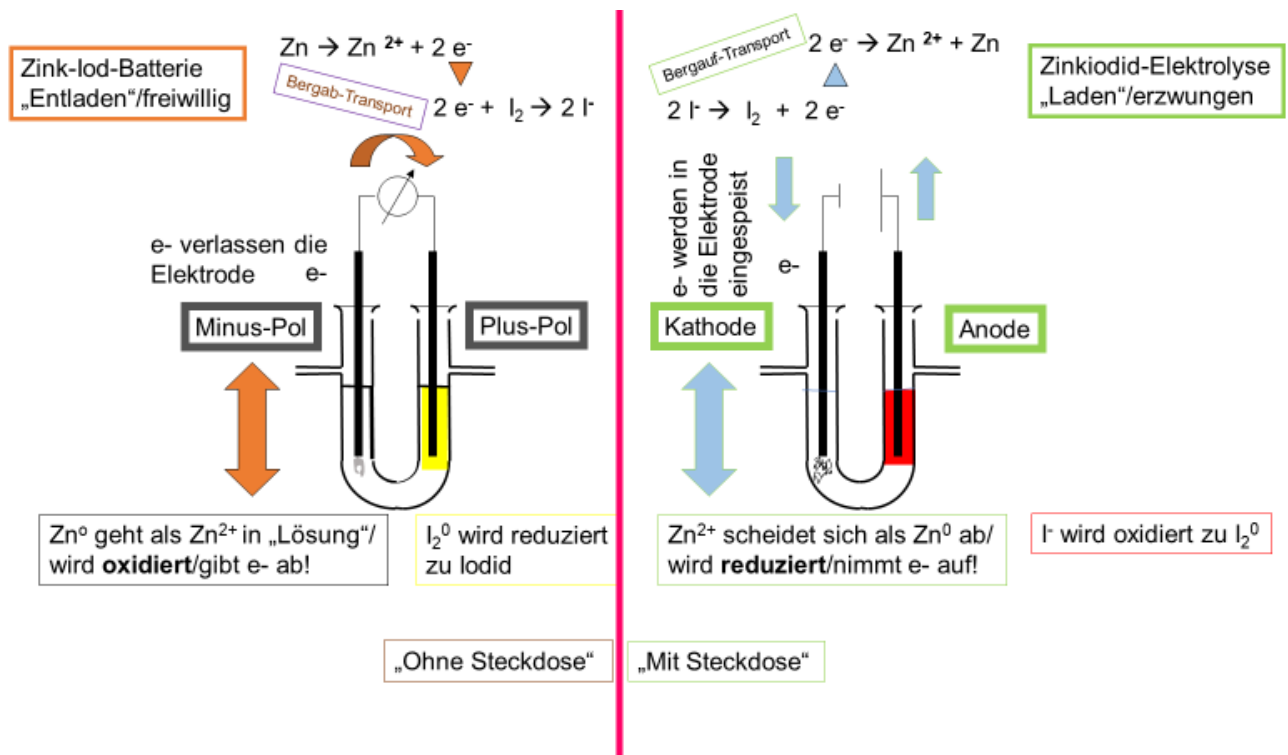


Abb. D37.2 Gegenüberstellung der Pol-Benennung bei freiwillig bzw. erzwungenen elektrochemischen Vorgängen (Vgl. auch Abb. D38)

Welche scheinbar unvermeidbaren Probleme auch Fernseh- und youtube-Erklärer hierbei haben, zeigt sich bei Mai Thi Nguyen Kim in ihrem Buch „Komisch, alles chemisch! (2019) auf den Seiten 113-121: „Wenn ich jetzt mein Handy an das Ladekabel schließe, lege ich von außen eine umgekehrte Spannung auf die Batterie. Nun passiert etwas Verwirrendes, zumindest sprachlich. Denn gerade erst haben wir zwei neue Begriffe, Anode und Kathode, gelernt – und schon müssen wir sie tauschen. Beim Ladevorgang nennt man die positive Elektrode aus Lithiumcobaltoxid Anode, und die negative Elektrode aus Graphit bezeichnen wir als Kathode. Genau andersrum als beim Entladen. Warum machen es sich die Chemiker sprachlich so kompliziert? Das hat etwas mit den chemischen Reaktionen zu tun, die sich nun in diesen Elektroden abspielen. Darauf kommen wir gleich noch einmal zurück, aber bis dahin ist es wahrscheinlich einfacher, nur von Plus- und Minuspol zu sprechen“ (2019, S. 115-116) sic!!!

Eines der „Killerargumente“, welche der kleinschrittigen und aufwändigen Vorgehensweise entgegengestellt werden, heißt „Das dauert doch viel zu lange!“. Dem ist zu erwidern, dass die hier investierte Lernzeit a) sukzessive und exponentiell abnimmt: Prinzipien werden `sauber` induktiv und inklusiv hergeleitet, b) verhindert, dass sich im Verlauf eines Schuljahres ein Berg aus Wiederholungen und Zusatzerklärungen aufbaut und c) der Lehrperson die Gelegenheit bietet, behandelte Inhalte definitiv abzuschließen und sie ab diesem Zeitpunkt voraussetzen zu können! „Nur bei einem langsamkeitstoleranten Vorgehen können auch die Potenziale der lernschwächeren SchülerInnen zur Entfaltung kommen“ (Gold, 2015, S. 90). Ein bekannter Philosoph bringt es auf den Punkt: `Wir brauchen mehr Zeit, anstatt immer mehr Zeug` (Precht, 2018, S. 46). Dazu passt das Sprichwort: „Zeit ist das, was man draus macht!“.

D 1.3.2 Wissensvernetzung

Mittlerweile ist der ursprünglich vom Lehrplan her übernommene lineare Lehrweg jetzt in ein verzweigtes Lehrnetz bzw. in ein räumliches Lehrgerüst übergegangen. Die didaktische Leistung der Lehrkraft beschreibt den Begriff des „Scaffolding“ (engl. Baugerüst), des „Gerüsterstellens“ sehr treffend.

Diese Vorgehensweise, die letztlich die eigentliche Basis von Erkenntnis ist (Das Anhäufen von Einzelfakten ist zwar unabdingbar für das konditionale und funktionale Wissen, Erkenntnisse („AHA-Effekte“) können allein damit aber nicht generiert werden.), muss den SchülerInnen verdeutlicht und an immer wieder neuen Beispielen bewusst gemacht werden (Konrad, 2006). Das gelingt nur, wenn die Hinweise und die Beispiele in immer wieder neuen Kontexten und auf unterschiedlichen Lehrlern-Niveaus verdeutlicht werden und sich so als sinnstiftend erweisen: „Lang ist der Weg durch Lehren, kurz und wirksam durch Beispiele“ (Seneca).

Da es sich aber gleichzeitig um einen hohen Grad an Objektivierung und Versachlichung handelt, sollte damit gerechnet und dies dann auch unterstützt werden, dass diese Strukturen wiederum Ausgangspunkte für subjektivierende Bedeutungskonstruktionen darstellen, welche kommunizierbar sind und damit ein „Fenster zur Innenwelt der Schüler“ (Mannß et al., 2006) eröffnen. Dies ist umso wichtiger, als damit Gedächtnis- und Erinnerungsfunktionen unterstützt werden können.

Bei größeren Pausen zwischen der Stoffbehandlung (Ferien) oder vor „größeren Ereignissen“ (Prüfungen) kann die „freie Beweglichkeit“ des Lernenden in der Wissenslandschaft durch Markierungen von schon bekannten ‚Orten‘ und ‚Wegen‘ zur neuen Bewegungssicherheit führen. Die Unterstützung des „vernetzten Denkens“ als „Persönlichkeitseigenschaft“ (Möller, 1999) wird von Vester (2000) nachdrücklich eingefordert: ‚Wer darin nicht ausgebildet ist, wird in einer komplexer werdenden Welt große Schwierigkeiten haben‘.

Eine sehr einfache Variante des Einübens besagter Vernetzungsmöglichkeiten stellen die „Beziehungskärtchen“ dar (Abb. D25).

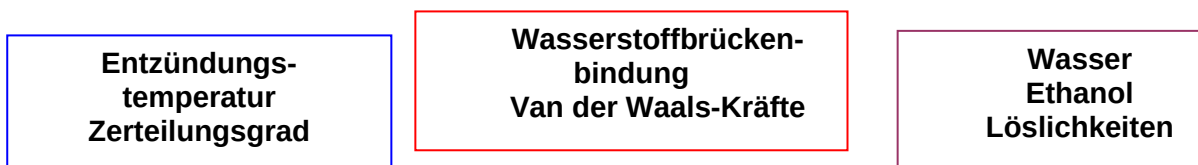


Abb. D25: 3 Beispiele für unterschiedlich anspruchsvolle Begriffskombinationen, zwischen denen die Schüler Beziehungen in Form einfacher Sätze herstellen sollen, wie beispielsweise: „Wasserstoffbrückenbindungen und Van-der-Waals-Kräfte sind zwischenmolekulare Kräfte“

Die Lehrperson zeigt einem Schüler/einer Schülerin eines der vorbereiteten Kärtchen mit zwei (oder auch drei und mehreren) Begriffen und lässt den Schüler/die Schülerin assoziieren. Zunächst kann das sehr unspezifisch erfolgen, womit sich auch sehr unterschiedliche Vernetzungsfähigkeiten manifestieren. Dann kann es genau auf eine vorhergegangene Stunde bezogen sein. Es ist aber auch möglich, alte mit noch nicht behandelten Begriffen (als Vermutungen) zu kombinieren, wobei es dann darum geht, Vorwissensqualitäten zu erkennen. Es muss dies nicht allein vom Lehrer ausgehen. Man kann auch in der Klasse zwei Abteilungen bilden, welche solche Begriffspaarungen entwerfen und dann austauschen. Die SchülerInnen entscheiden dann selbst, mit welchen Verknüpfungen der MitschülerInnen sie zufrieden oder weniger einverstanden sind. Dieses interaktive ‚Verstehen‘ kann individuell oder für eine ganze Klasse zur Kenntnisstandkontrolle herangezogen werden. Es kann überdies dazu verhelfen, eigene

Wege zu gehen, alte Wege zurückzuverfolgen und einige „Orte“ nochmals genauer zu besichtigen bzw. unter neueren Bedingungen zu erkunden.

Ein Zurückverfolgen des jeweils erfolgreichen Lernweges erlaubt nicht nur die Reflexion der eigenen Lernleistung, es dient auch der Ermittlung, Korrektur und Elaborierung der angewandten Lernstrategie. Wie konnte ich das Problem erkennen? Wie habe ich es strukturiert? Welches Vorwissen konnte ich aktivieren? Woher bezog ich meine neuen Informationen und durch welche kombinatorische Arbeit gelangte ich ans Ziel? Das sind Fragen, die man als LehrerIn meist nicht thematisiert, von deren Beantwortung durch die SchülerInnen man aber gerne ausgeht.

Ein derartiges „Knowledge-Mapping“ impliziert Hilfen zur Förderung der so häufig eingeforderten Selbstkompetenz des Schülers (Dickhäuser, 2006). Abstrakte Bildungsbegriffe (Fachwissen, Erkenntnisgewinn, Kommunikation, Bewertung) erhalten konkrete Inhalte und lassen sich anschaulich beschreiben. Außerdem hilft es dem Lehrer selbst, die stets passendere Methode für eine dezidierte Inhaltsbearbeitung zu suchen und zu finden. So heißt „Methode“ doch für den Schüler „einen Weg nachgehen“⁴⁶². Überdies erleichtert es die Kommunikation über den Lehrlernprozess zwischen Lehrer und Schüler, etwa hinsichtlich der Wahl von Feinlehr- und Feinlerninhalten oder methodischen Varianten. Das erscheint dann besonders wichtig, wenn es nicht um die ganzheitliche und vollständige Bearbeitung eines Stoffgebietes gehen kann. Auch wenn laut Lehrplan nur Fragmente von Sachgebieten, meist als Beispiele deklariert, zu unterrichten sind, sollte vorab oder am Ende der Durchnahme eine Übersicht, eine „Landkarte“⁴⁶³, auch in Form des „Advance Organizers“ (Holländer & Melle, 2012) angeboten werden. Mit ihrer Hilfe ist es dann möglich, eine sichere Verortung und die erforderlichen Beziehungen herzustellen. Erst so ist es möglich, aus Kenntnissen Erkenntnisse und aus Wissen Verständnis werden zu lassen.

So ist zwar im Lehrplan der Realschule im Rahmen der Biomoleküle neben den Eiweißen nur die Besprechung der Fette oder der Kohlenhydrate verlangt⁴⁶⁴. Die Kenntnis der Eigenschaften und des chemischen Aufbaus von Fetten kann aber nicht stellvertretend für die der Kohlenhydrate und Eiweiße herhalten. Es müssen also zumindest über ein einfaches Übersichtsschema die groben Zusammenhänge verdeutlicht werden können. Das hilft ja nicht nur den SchülerInnen, auch die LehrerInnen profitiert von derartigen Inhaltsbildern! Sie entsprechen ja den Stoffgliederungen, welche lernwirksam waren.

Solche Schemata können durchaus gröber oder feiner gestaltet werden. In jedem Fall erlauben sie es, das Lernen eines bestimmten Inhalts als Ausschnittbildung zu erkennen, das Wesentliche vom Unwesentlichen zu unterscheiden und den Weg zu einer vertiefenden bzw. generalisierenden Beschäftigung zu erkennen und offen zu halten (Abb. D38).

⁴⁶² grch.: meta = nach, hodos = Weg

⁴⁶³ Vgl. hierzu auch: „multidimensionale kollektive Landkarte der durch das SI-System vorgegebenen Beziehungen“: Tullberg, A.: Lehrstrategien für „das Mol“ – eine phänomenographische Untersuchung; in: *chimica didactica* 31(2006) 96, 136-177; S. 168.

⁴⁶⁴ Lehrplanzitat unter 10 Chemie II/III: „Ch 10.6 Chemie der Biomoleküle (ca. 6 Std.): ... Fette oder Kohlenhydrate (E): Struktur und Funktion, weitere Aspekte im Überblick ...“ (S.528)

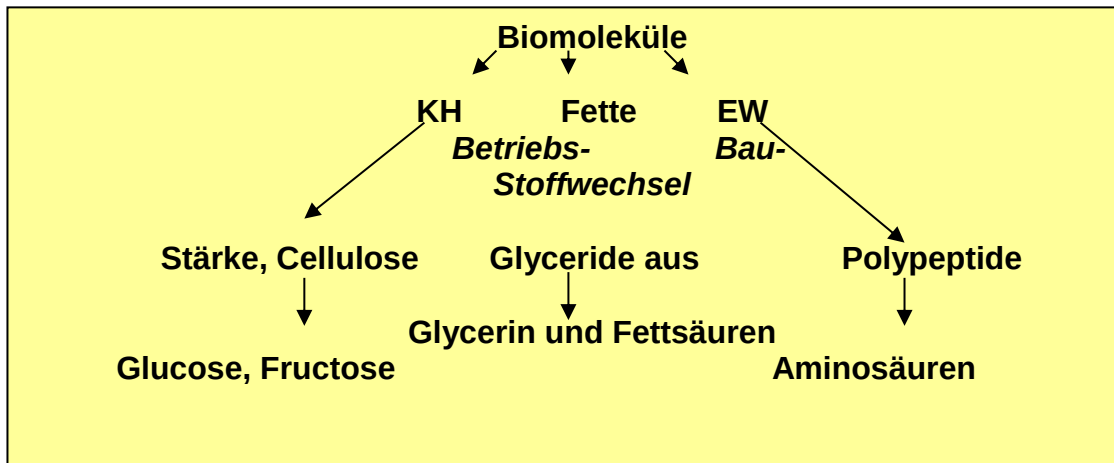


Abb. D38: Gliederung zu den Biomolekülen als Übersicht, aus der heraus einzelnen Themen schwerpunktartig eingehender behandelt werden als andere.

Vielleicht kann auf diesem Weg eine verbesserte Nutzung dessen erreicht werden, was „Chemieunterricht“ in seiner ganzen Tiefe impliziert, nämlich eine Auseinandersetzung mit der Vielfalt von Stoffartumwandlungen im Phänomenologischen und Abstrakten sowie im Wissenschaftlichen und Alltäglichen als Beitrag zu einem ganzheitlichen Weltverständnis. Auch für die Unterstufe können Übersichten erstellt werden. Dabei muss beim allseits bekannten „Verbrennungsdreieck“ nicht verharrt werden. Dieses lässt sich verständnis erleichternd sukzessive ergänzen und spezifizieren (Abb. D29).

D 2 Chemischen Wissens im unterrichtlichen Kontext

Grundsätzlich sind all die oben genannten Verfahren zur Strukturierung und zur Genese eines leicht verfügbaren Überblicks- und Orientierungswissens nicht um ihrer selbst willen durchzuführen. Es steckt vielmehr eine weitere Nutzung in Form einer noch höheren geistigen Leistung dahinter. Erst, wenn geordnet ist, wenn die Cluster und Chunks als „Speicherkapazität sparende Strategien“ (Case, 1999, S. 339) in der optimalen Form, d.h. als Problemlösewerkzeuge vorliegen, ist es möglich, sie wiederum aufeinander zu beziehen und das bedeutet, auch die Überschneidungen, die fallweise auftretenden Relativitäten in Abhängigkeit von den jeweiligen Bedingungen zu berücksichtigen. Hier erfährt der Kompetenzbereich „Bewertung“ Konkretisierungen.

Als Beispiel aus der Chemie soll hier der ampholytische Charakter des Wassers gegenüber einer starken Säure (HCl) und gegenüber einer starken Base (NH₃/NH₄OH) angeführt werden. Der Protonendonator HCl macht das Wasser zur Base, welche Oxonium-Ionen bildet. Die NH₃-Moleküle fungieren dagegen als Protonenakzeptoren und bilden mit den Protonen der Wasser-Moleküle Ammonium-Ionen, sodass OH⁻-Anionen übrigbleiben. Sie verursachen die alkalische Reaktion mit einem Säure-Base-Indikator. Wasser ist also Säure, wenn der Partner eine starke Base ist und es ist eine Base, wenn es einer starken Säure gegenübersteht; sein amphotes Reaktionsverhalten ist also abhängig von den Reaktionsbedingungen. Es gibt viele solcher Beispiele (Abb. D39).



Abb. D39: Mit der Darstellung soll die Relativierung der Oxidationsmitteleigenschaft des Wasserstoffperoxids verdeutlicht werden. Gegenüber dem stärkeren oxidierenden Kaliumpermanganat wirkt es als Reduktionsmittel, wird also selbst oxidiert, d.h. gibt Elektronen ab und aus dem Permanganat-Ion wird das Mn²⁺-Kation.

Abb. entnommen aus dem Vortrag von Christiane Reiners „Vom Systematischen zum Systemischen ... oder von der Einübung des Verstehens von Chemie“ am 3.7.2013 beim 8. Bayerischen Chemiedidaktischen Forschungskolloquium auf Frauenchiemsee

Sie lassen sich gut und sicher verstehen, wenn diesem Verständnis eine sichere Ordnung der Fakten, des Grundwissens zugrunde liegt⁴⁶⁵. Die Devise lautet: Erst die sicher machenden Basisfakten und Basiskonditionen, dann die Besonderheiten, die ausgewählten `Funktionen`, in denen sich die `Fakten` und `Konditionen` bewähren: Im Schwierigen bewährt sich erst das Einfache. Die neue Qualität des Fachwissens, welches dann auch in inter- und transdisziplinären Problemstellungen aktiv wird, trägt die Bezeichnung „systemisches Wissen“ (Reiners⁴⁶⁶, 1996). Nach Einsiedler „sollen in vielen Lernbereichen *Systemkenntnisse* erworben werden“ (S. 174). Fredmund Malik kennzeichnet die Notwendigkeit solcher Denkleistungen: „Bei der Entstehung der heutigen Universität mussten die Fächer organisiert und daher voneinander getrennt werden. Es entstanden die Disziplinen. Diese Art der Organisation wissenschaftlicher Arbeit hat zweifellos einiges zum Fortschritt der Wissenschaft beigetragen, aber sie ist auch ein ständiges Problem und hat wahrscheinlich ebenso oft Stagnation und Irrelevanz der Wissenschaft bedeutet. Albert Einstein soll einmal gesagt haben, der liebe Gott verstehe nichts von Physik. Damit wollte er kein Sakrileg begehen, sondern zum Ausdruck bringen, dass die Welt, die Natur, nicht in akademische Disziplinen gegliedert, sondern Ganzheiten sind. An der Universität und im Laboratorium kann man abgrenzen, isolieren und auf ein paar wenige Aspekte reduzieren. In der Wirklichkeit fließen aber alle Dinge zusammen“ (Malik, 2003).

Die systemische Betrachtungsweise ist auch eine Grundlage für das Erkennen der Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse also für die Auseinandersetzung mit der Nature of Science (NOS) und damit für die Dialogbereitschaft zwischen den Natur- und Geisteswissenschaften (Kaufmann, 2000; Bruns, 2009) bzw. den Künsten.

⁴⁶⁵ „Es verknüpft sich nur etwas auf fruchtbare Weise, das zuvor in Wissens Einzelteilen in den Kopf hineingefüllt worden ist“ (Herrmann, S., 2022. Kreis der Ideen, SZ vom 19./20.2.22)

⁴⁶⁶ Ausführungen zu diesem chemiedidaktisch sehr relevanten Begriff erfolgten auch anlässlich eines Vortrags von Professor Dr. Christiane Reiners (Universität zu Köln) anlässlich des 8. Bayerischen Chemiedidaktischen Forschungskolloquiums auf Frauenchiemsee am 3.7.2013

D 2.1 De- und Rekontextualisierung

Heute werden aktuelle chemierelevante Themen (Klimaänderung, Wasserverschmutzung, Luftbelastung, Düngung, „Genfreiheit“ etc.) bevorzugt auch in die Behandlung von grundsätzlichen Lerngegenständen integriert, meist im Sinne motivierender Betroffenheit. Da solche Themen jedoch äußerst komplex sind, müssen sie einer Dekontextualisierung (Abb. D40) unterzogen werden. Dabei werden komplexe Alltagsproblematiken in Teilaspekte zerlegt und diese in ihren chemischen Aspekten genauer erläutert, untersucht und möglichen Erklärungen zugeführt (Vgl. „Chemie im Kontext“, Parchmann et al., 2001). Anschließend wird das Gesamtproblem einer neuerlichen Diskussion, der Rekontextualisierung, etwa in Form von Rollenspielen oder Projektarbeiten zugeführt. Der damit einhergehende Perspektivenwechsel erleichtert die transdisziplinäre Sichtweise auf unsere Umwelt. Beim Expertenpuzzle kommt dies besonders zum Tragen.

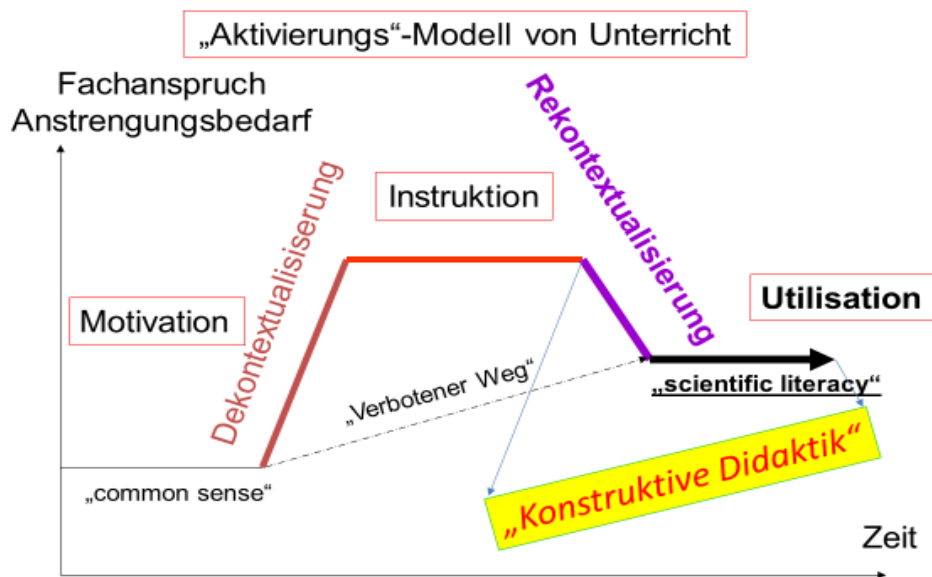


Abb. D40: De- und Rekontextualisierung vor dem Hintergrund des „Aktivierungs-Modells“ zum Unterricht

Die Dekontextualisierung betrifft zunächst die Extraktion eines Sachinhalts (meist lehrplankongruent) aus einem komplexen Alltagserfahrungsbereich:

Wald → Photosynthese
 Ernährung → Biomoleküle
 Rosten → Oxidation
 Atommüll → Zerfallsreihe
 Wasserläufer → Oberflächenspannung des Wassers

Mit der ausführlichen Behandlung auf fachwissenschaftlicher Basis (Instruktionsebene) entstehen domänenspezifische Kenntnisse, die dann wieder in die Alltagssituation integriert werden müssen (Rekontextualisierung). In dieser Form der Anwendbarkeit (Utilisation), für die eine „konstruktive Didaktik“ mit Sorge tragen muss, werden sie dann auch zu Bildungswissen (funktionales Wissen, Neber, 1993):

Photosynthese → Herkunft des Sauerstoffs
 Biomoleküle → Gesunde Ernährung
 Oxidation → Fahrradpflege

Zerfallsreihe→Energiegewinnung
Oberflächenspannung→Waschwirkung von Seife.

Aus dem ursprünglich unstrukturierten, nicht direkt begründbaren, nicht reflektierten und fallweise falschen Alltagswissen (Verfügungswissen; common sense) wird durch Unterricht Erkenntnis, die strukturiert, vernetzt, begründbar, reflektiert und abgesichert ist (Orientierungswissen; scientific literacy).

Dieser Übergang ist mit Anstrengung verbunden und bedarf deshalb der Motivation, welche Konzentration und Verzicht auf Anderes beinhaltet! Wichtig sind hier klare operationalisierte Zielsetzungen

Es soll nicht übersehen werden, dass der Beitrag des Chemieunterrichts für die Erfüllung von Entwicklungsaufgaben (Havighurst, 1948), etwa die eigene Positionierung in der Gesellschaft keine Erleichterung erfährt, wenn er just im pubertierenden Alter einsetzt und nicht schon früh und kontinuierlich die Weltsicht auf die stoffverändernden (Lebens)Bedingungen (→Chemie) eröffnet. Chemie muss rechtzeitig unterrichtet und erlebt werden können.

Bei der Bewertung von chemischen Innovationen wie neuen Kosmetika, Kunststoffe mit besonderen Eigenschaften (Silicone), Stoffgruppen in neuen Anwendungsbereichen (Cyclodextrine), bioaktive Stoffe, Arzneimittel, Zusatzstoffe auf Nanobasis in Lebensmitteln und technischen Produkten usw. wird es zunehmend wichtiger, gesundheitlich wie finanziell, Anwendungsentscheidungen begründet treffen zu können! Darüber hinaus geht es auch um Haltungen gegenüber der Chemie als Industrie und Wirtschaftsfaktor. Letztlich begründet sich aus den reflektierten Anwendungsmöglichkeiten auch die unbezweifelbare Notwendigkeit eines besonders effizienten Chemieunterrichts!⁴⁶⁷

Solche Performanzen dienen überdies der Berufswahlreife und der sicheren Vorbereitung auf die Art, wie der junge Mensch fürderhin sein Leben gestalten will.

⁴⁶⁷ Vergleiche hierzu auch das ChemKon-Themenheft „Forschung trifft Schule“ als Sonderausgabe 24 (2017) 4.

D 3 Chemie und Ökologie

Eine moderne Chemie lässt sich kaum mehr auf einen Wissenschafts- oder Produktionsstandort begrenzen, auch nicht auf einen Forschungsschwerpunkt. Vielmehr wird diese Naturwissenschaft durch internationale und fachübergreifende Themen geprägt, welche weltweit die unterschiedlichsten Bedeutungen und Zielsetzungen haben und wie vieles andere der Globalisierung unterliegen.

D 3.1 Globalisierung, Expertensysteme und Schule

Unter den fünf „Dimensionen der Globalisierung“ (Wirtschaft, Politik, Kultur, Sprache) zählt die „Globalisierung der Umweltprobleme“ mittlerweile zu den brisantesten, auch weil sie sich nicht an die „Grenzen des Wachstums“ (Meadows, 1972) hält!

Von den wiederum zahllosen konkreten Beispielen von Umweltbelastungen vor Ort werden seit der Jahrtausendwende insbesondere in Europa die Rohstoff- und Energieversorgung sowie die Umweltgefährdung durch den zunehmenden Eintrag von nicht abbaubaren oder giftigen Stoffen in die uns umgebende Naturlandschaft immer bewusster wahrgenommen, auch weil damit immer weniger beherrschbare Eigendynamiken einhergehen. Mit den Ängsten und Verunsicherungen sowie den versachlichenden Folgeabschätzungen von Technik und Forschungsergebnissen erwächst mehr und mehr eine komplexer werdende Fragehaltung. Sie richtet sich an die Naturwissenschaften. Biologie, Physik und Chemie erweisen sich als Quellen von Problemlagen, weiters jedoch auch als ebensolche für mögliche Lösungen! Nach Wolfgang Frühwald (1935-2019), von 1992-1997 Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), bestehen Wissenschaften aus „Expertensystemen“. In ihnen sind komplexe Expertisen vereinigt, welchen notgedrungen seitens der Nutzer primär Vertrauen in ihre Qualität, Legalität und Loyalität entgegen gebraucht werden muss! Laut Umfrage von Wissenschaft im Dialog (WiD) von 2022 begründen 67% der Bevölkerung ihr Vertrauen in die Wissenschaftler mit „Expertentum“. Seine Funktionsfähigkeit und Kontrollierbarkeit für das Gemeinwesen werden gesichert durch Kommunikation zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Über sie soll die Bevölkerung Ergebnisse aus den modernen Wissenschaften und neuen Techniken von Gentechnik bis Energietechnik verstehen, Nutzungsformen akzeptieren und die Weiterentwicklungen unterstützen (Frühwald, 2000). Das Schlagwort hierfür heißt heute „Third Mission“ (u.a. „Spotting Science“).

Für das Bildungswesen hat der Biologiedidaktiker Horst Bayrhuber 2001 folgerichtig bereits die Forderung an die Schule erhoben. Sie ist „nicht nur Dialogpartner der Wissenschaft, sie ist auch dazu aufgefordert, bei Kindern und Jugendlichen Voraussetzungen für die Kommunikation mit der Wissenschaft nach der Schulzeit zu schaffen“ (S. 63). Diese heute mehr denn je berechtigten, ja notwendigen Ansprüche bilden die Grundlage für die Genese einer „Scientific literacy“. In ihr verdichten sich mindestens fünf kraftvolle Ansprüche, etwa aus dem Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft (1999), aus dem VCI (1979), aus der „Industriellenvereinigung“ (iv, 2013), aus dem BM für Wissenschaft und Forschung sowie aus der KMK (1978) (Abb. 41).

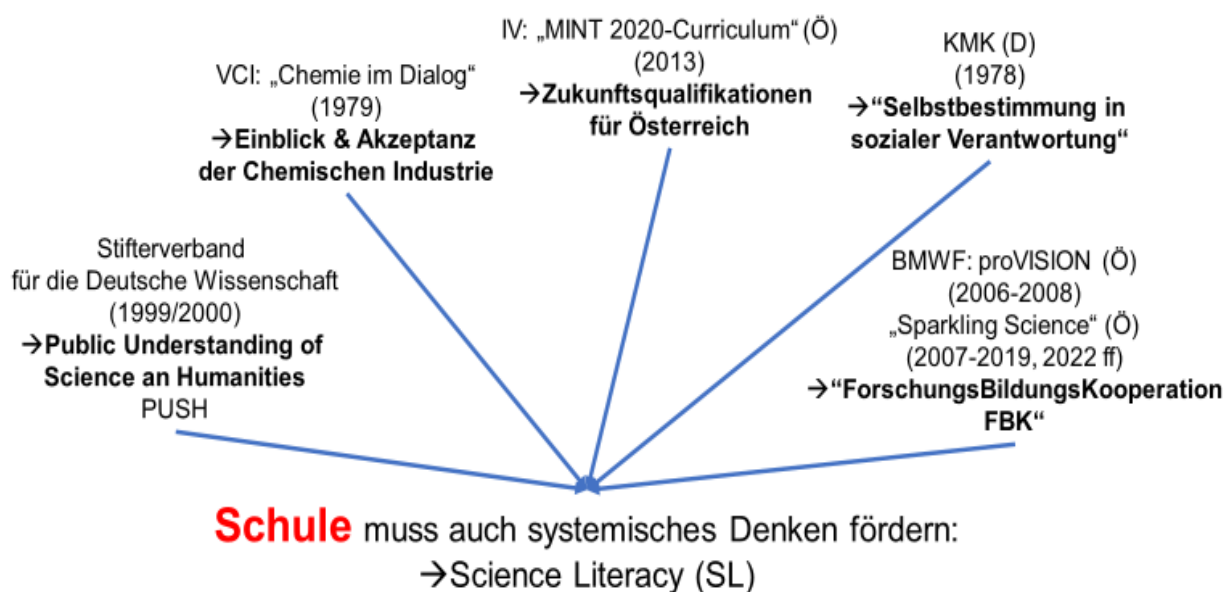


Abb. D41: Auswahl an Institutionen, die sich mit hoher Dringlichkeit für eine intensive Bildungsarbeit der Schule aussprechen

Um solches zu leisten und dieses so früh wie möglich zur Routine werden zu lassen, bedarf es nach Lempert & Achtenhagen (2000) zumindest dreier Voraussetzungen:

- Vorkenntnisse hinsichtlich Risikoabschätzung, fachspezifischer Inhalte und Methoden, dann der Fähigkeit zur
- Metakognition aus systemischem und epistemischem Wissen sowie einer nachhaltigen
- Motivierenden Orientierung, primär durch explizite Lernerfolge.

Da sich `Erziehung und Unterricht vor allem an fachlichen Inhalten vollziehen´, muss sich ein trag- und argumentationsfähiges Umweltbewusstsein in unserem Fall im Zusammenhang mit fundiertem chemischem Wissen, etwa zur „Grünen Chemie“⁴⁶⁸, entwickeln können.

⁴⁶⁸ „Die `grüne´ (oder nachhaltige) Chemie“ ist ein neuer Forschungszweig, der sich speziell der Erschließung Abfall vermeidender, Material und Energie sparender, kostengünstiger industrieller Prozesse widmet“ GDCh (Hrsg.) (2003). Green Chemistry – Nachhaltigkeit in der Chemie. Weinheim: Wiley-VCH

D 3.2 Grüne Chemie

Mit der Fokussierung auf das Fach Chemie und damit verbunden, auf die „Lehrlernwissenschaftliche Chemie“ ergeben sich genauere Blicke auf das, was seit 1998 auch als „Grüne Chemie“ (GC) in den Sprachgebrauch Eingang gefunden hat. Nach Anastas & Warner (1998) lassen sich 12 Grundprinzipien formulieren, welche sich bislang großer Akzeptanz erfreuen und die sich zunehmend feingliedriger differenzieren lassen.

1. Abfallvermeidung
2. Atomeffizienz
3. Sichere chemische Umwandlungen (Vgl. „Struktur-Wirkungs-Denken“)
4. Minimierung der Toxizität
5. Sichere (recyclebare) Lösungsmittel
6. Energieeffizienz
7. Erneuerbare Ressourcen
8. Derivatereduktion
9. Katalysatoreinsatz
10. Abbaubarkeit der Produkte nach Einsatz
11. Echtzeitüberwachung chemischer Prozesse
12. Grundsätzliche Risikovermeidung

So steckt hinter dem 3. Prinzip, den „sicheren chemischen Umwandlungen“ u.a. auch die besondere Beachtung einer Wechselwirkung zwischen den Strukturen ausgesuchter Verbindungen, meist aus der OC, wobei die funktionellen Gruppen eine große Rolle spielen, und ihren Eigenschaften. Dem entspricht das *Struktur-Wirkungs-Denken* → SAR: *Structure-Activity-Relations*, (Jastorff et al., 2003).

D 3.2.1 Internationale und nationale Programme

Diese fachspezifische Betonung der Chemie, welche als einzige Naturwissenschaft mit einer ganzen Industrie in Verbindung steht, gewinnt im Verbund mit einem globalen System von Maßnahmen zur Erhaltung und Wiederherstellung sowie Weiterentwicklung von wünschenswerten wie unverzichtbaren Lebensgrundlagen an Konkretheit. Dabei wird unter dem durchgehend verwendeten Begriff der Nachhaltigkeit verstanden, *die Bedürfnisse der Gegenwart zu befriedigen, ohne die Fähigkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen* (UN-Kommission, 1987) (Abb. 42).

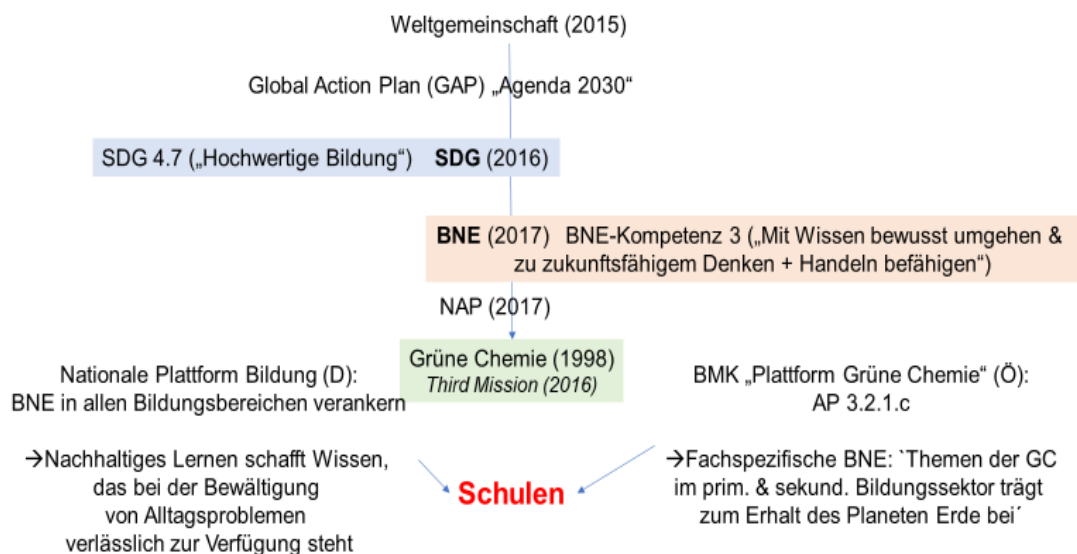


Abb. D42: International und national operierende Projekte für die Sicherung lebenswerter Zukunft und ihre Beziehungen untereinander

Als Teil der „Agenda 2030“ des „Global Action Plan“ (GAP) (2015) ist die GC eng verbunden mit den 17 „Sustainable Development Goals“ (SDG) (2016) und den 10 Kompetenzen aus dem Projekt „Bildung für Nachhaltige Entwicklung“ (BNE) (2017) sowie gleichzeitig herausgefordert durch den deutschen „Nationalen Aktionsplan“ (NAP) (2017) bzw. durch die „Plattform Grüne Chemie“ (2021) des Österreichischen Umweltministeriums. In allen Fällen werden deutliche Ansprüche an die Leistungen von Schule ausformuliert (Abb: D43). Diese Ziele verbinden sich unmittelbar mit den Aufgaben einer Fachdidaktik, die im Bereich der LehrerInnenaus- und LehrerInnenfortbildung eine immer gewichtigere Verantwortung zu übernehmen hat. Ob es sich um einen Paradigmenwechsel handeln muss, sei vorläufig dahingestellt. Eindeutig erscheint es jedoch zu sein, dass ein rein quantitatives Draufsatteln von Methoden, digitalen Medien, schultypischen Experimenten, Verweis auf naturwissenschaftlich fragmentierten „Erklär-Sendungen“ der Medien usw. nicht die gewünschten Effekte befördern kann.

Gibt es also ein Instrumentarium für ein grundlegendes Verstehen von Grüner Chemie, welches dieses zur Blüte bringen kann? Gibt es sozusagen eine „Grüne Chemiedidaktik“ (GCD) und, wenn ja, worin könnte sie sich äußern? Oder gesellschaftspolitisch formuliert: Worin bestehen die Möglichkeiten, das Empfinden in der Bevölkerung, vom naturwissenschaftlichen Denken „abgehängt zu werden“, gar nicht erst aufkommen zu lassen.

D 3.2.2 Konsequenzen für die Bildungsarbeit

Die Lehrlernwissenschaftliche Chemie hat dafür zu sorgen, dass die immer wieder deutlich feststellbare Basisbegeisterung und -neugier für die einschlägigen Lerninhalte, welche von kaum jemanden in Zweifel gezogen werden, im Chemieunterricht erhalten bleiben. Die Fachdidaktik ist mitverantwortlich dafür, dass alle Kinder und Jugendlichen mitgenommen werden können, auf dem Weg zum Verstehen von Chemie. Mit ihrem Einsatz sollte es gelingen, so früh als möglich das zunehmende Engagement unserer Jugend, auch beim Ergründen des Klimawandels mit chemischem Grundverständnis zu unterfüttern. Erst so kann ein vernünftiger Beitrag zur Orientierung in der Welt geleistet werden.

Dabei ist zu bedenken, dass sich die Weltsichten von heute 20Jährigen sehr deutlich von denen der älteren Generation unterscheiden und sich daraus eine besonders große Wachsamkeit und Verantwortung für den Lehrberuf ableitet.

„**Grün**“ steht also nicht nur für „nachhaltig etc.“, sondern muss auch „verstehbar“ bedeuten. Um diese großartige Chance, aber auch Aufgabe zu ergreifen, müssen Chemiedidaktik und damit Chemieunterricht Schwerpunkte neu setzen!

1. Verstärkung der chemischen Grundlagen mit Hilfe von Basiskonzepten und vertieften Chemikalienkenntnissen, Strukturierungen von Lerninhalten und Lernprozessen (Prinzipien enthüllendes Unterrichten, Principles Disclosure-Teaching, PDT; Kleinschrittiges Unterrichten, Small Step-Teaching“ SST)
→verständnisauslösendes Unterrichten
2. Hervorhebung einer nachhaltigen Anwendbarkeit chemischer Kenntnisse in allen Bereichen des Alltags (Kompetenz)
→nutzungsorientiertes Unterrichten
3. Es wird vom Phänomen so ausgegangen, wie es die Lernenden individuell wahrnehmen und bearbeiten können
→bedeutungsorientiertes Unterrichten
4. Unterrichtsentwicklung durch unterrichtsnahe Aspektforschung
→evidenzbasiertes Unterrichten

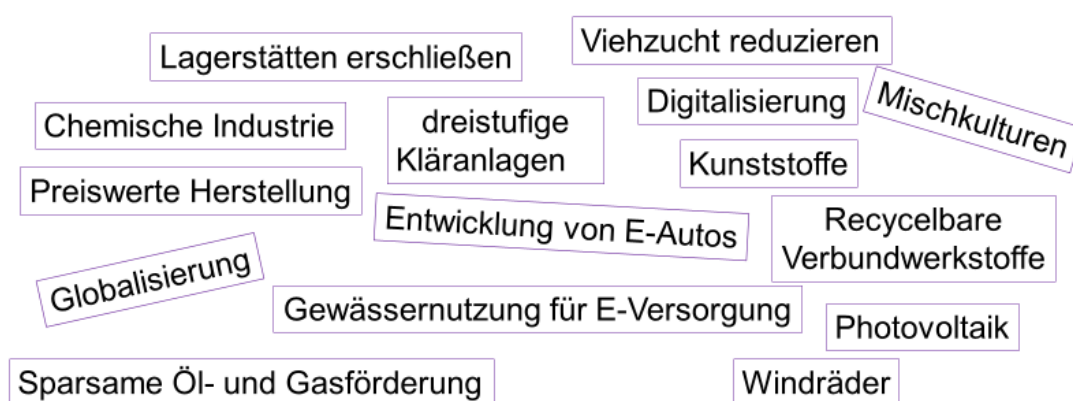
Die hier getroffene Auswahl setzt besonders auf ausgeprägte Diagnose- und Lehrkompetenz wie auch auf eine eindeutige fachliche Qualifikation, die sich durch didaktisch aufbereitetes Überblicks- und weniger durch Spezialwissen auszeichnet. Wie in der Medizin, so müssen auch im Zuge der Professionalisierung von Lehrkräften Innovationen fortgesetzt zu neuen Routinen veredelt werden! Wir können es uns nicht mehr leisten, auf verstehensorientierten Chemieunterricht zu verzichten und die Anhäufung von Einzelfakten zu einem unverbundenen Inselwissen weiterhin zum konditionalen Lehrziel zu erklären, dessen Inhalte sich der vernunftgesteuerten Anwendbarkeit eher entziehen als anbieten⁴⁶⁹.

⁴⁶⁹ Lehtinen (1994) spricht hier vom „Kulissenlernen“: „Schüler und Studenten haben effektive Strategien erworben, die es ihnen ermöglichen, die äußeren Anforderungssituationen der Schule zu bewältigen, ohne ein gründliches Verständnis der zu lernenden Inhalte erreicht zu haben“ und: „Das Verhalten vieler Schüler in schulischen Situationen basiert ... häufig auf anderen Zielen als auf jenem, die Sache beherrschen zu wollen“ (S. 143).

D 3.2.3 Von der Grünen Chemie zur „Grünen Chemiedidaktik“

Die folgenden Darstellungen sollen verdeutlichen, wie sehr sich diese Bedingungen im Bereich Grüne Chemie wie auch im Bereich Grüne Chemiedidaktik als analog erweisen. Die schlagwortartigen Aussagen zu Maßnahmen einer Grünen Chemie sind attraktiv darzustellen. Jedoch erst, wenn genauer nachgefragt wird, erweisen sich diese medienreifen Schlagworte schnell als Kenntnisstände von Expertensystemen aus Fachleuten und Insidern. Um solche Begrifflichkeiten einer sinnvollen Diskussion zu öffnen, bedarf es eines Grundverständnisses, einer „grünen Grundbildung“, welche sich als limitierender Faktor für eine gehaltvolle naturwissenschaftlich-chemische Kommunikation im Dialog zwischen Experten und Laien (sic!) entpuppt. Diesen vertieften Fachzielen müssen auch entsprechende vertiefte Didaktikkenntnisse von Lehrkräften entsprechen, welche über die folgenden unterrichtsmethodischen Schlagworte deutlich hinausgehen (Abb. D43).

„Phänotypie“ der Grünen Chemie



„Genotypie“ der Grünen Chemie

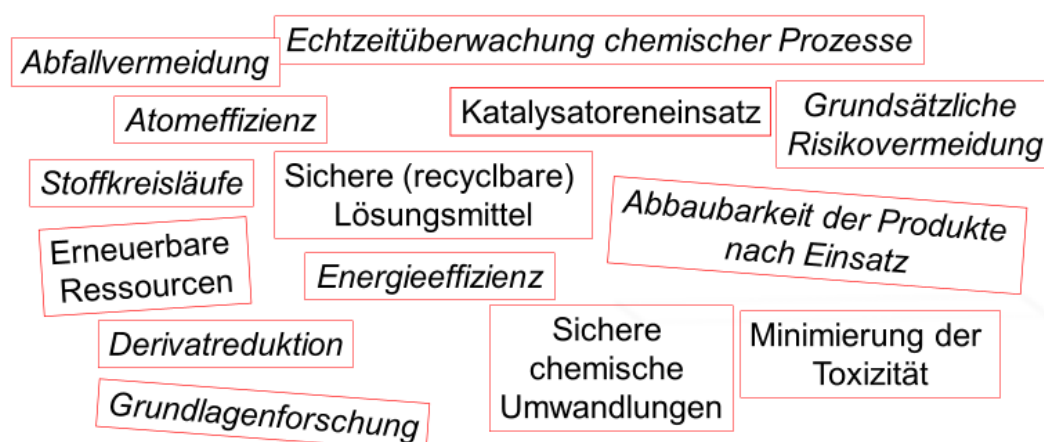
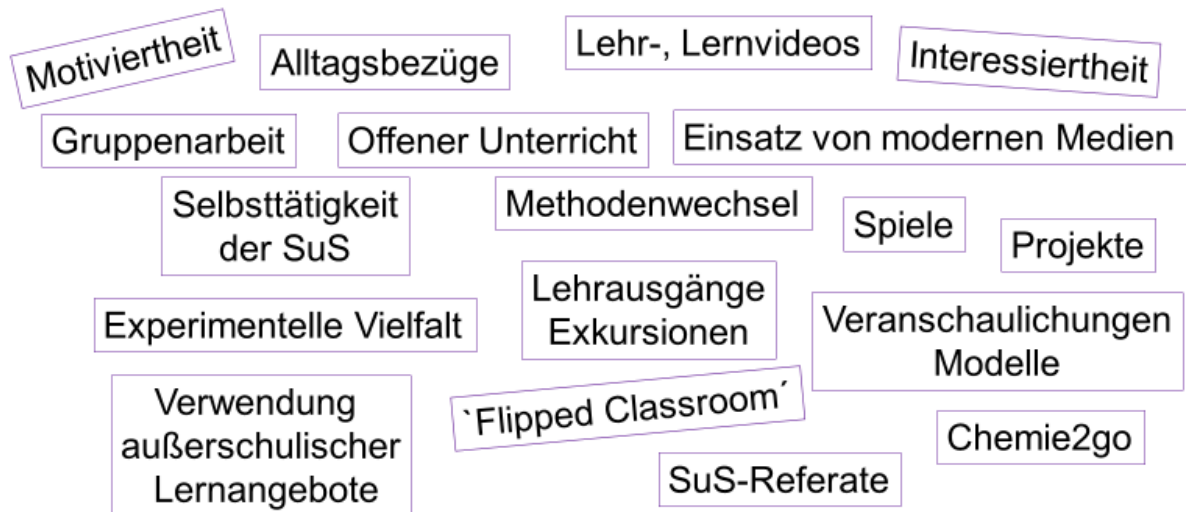


Abb. D43: Unterscheidung zwischen ökologischen chemiespezifischen Schlagwörtern und den eigentlich dahinterliegenden Sachkenntnissen, welche zu ihrer Bewertung erforderlich sind.

Mit der „Genotypie“ wird deutlich, dass zur Bewertung von phänotypischen Vorschlägen und Maßnahmen ein sehr umfangreiches und solides aus der Chemie aber auch aus vielen anderen marktwirtschaftlich relevanten Bereichen erforderlich ist, das auch heute nicht bei allen EntscheidungsträgerInnen vorausgesetzt werden kann.

Für Phäno- und Genotypie des Chemieunterrichts gelten absolut vergleichbare Qualitätsansprüche.

„Phänotypie“ von nachhaltigem Chemieunterricht



Um diese methodischen Variationen zielorientiert und langfristig wirksam werden zu lassen und sie an die LernerInnenvoraussetzungen anpassen zu können, müssen zugleich tieferliegende fachdidaktisch-professionelle Qualifikationen zum Tragen kommen (Abb. D44).

Wege zur besseren Verstehbarkeit von Chemie

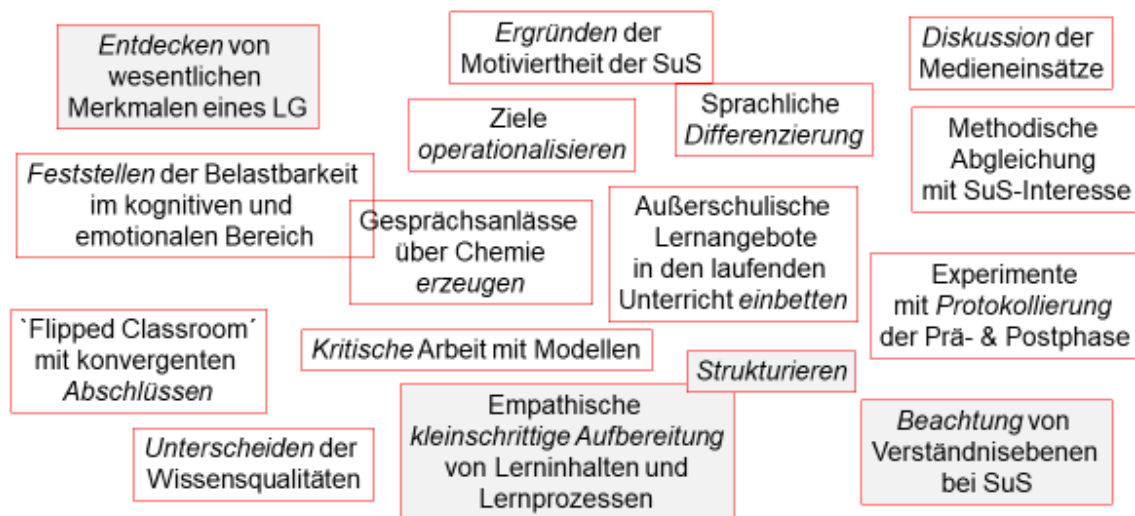
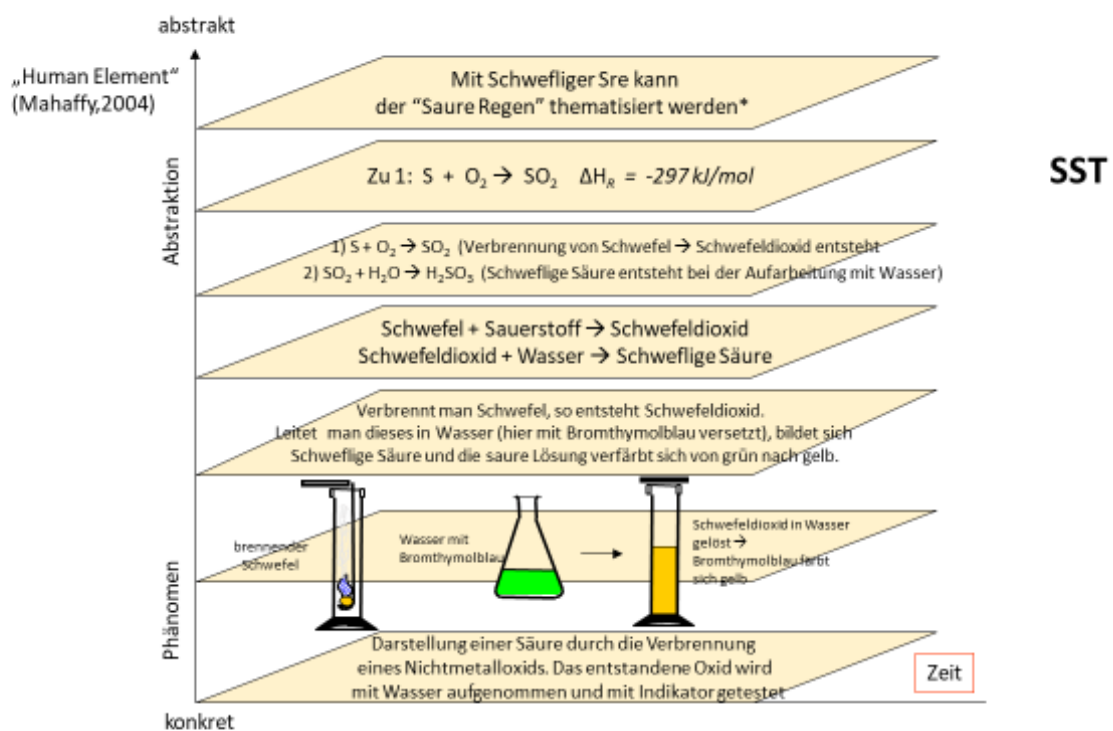


Abb. D44: Unterscheidung zwischen mathetisch-methodischen chemieunterrichtsspezifischen Schlagwörtern und den eigentlich dahinterliegenden lehrlernwissenschaftlichen Sachkenntnissen, welche zu ihrer Bewertung erforderlich sind.

Stehen diese „Tiefenstrukturen“ als ‚latente Strukturen oder theoretische Begründungen‘ (Reyer, 2003; vgl. Klingberg, 1975) nicht vollumfänglich zur Verfügung, so unterliegen Auswahl und Einsatz dieser ‚Oberflächenstrukturen‘ bloßer Beliebigkeit. Fallweise kommt gerade diese „Genotypie“ in der Fachdidaktik, auch in Chemie zu kurz und muss im Rahmen einer „grünen Grundbildung“⁴⁷⁰ mehr Beachtung finden (Abb. D45). Allerdings braucht das Neue zunächst einmal möglichst viele Freunde! Und genau das ist kein Selbstläufer. So „kollidieren Strukturen zivilisatorischer und ökologischer Fakten“ (Riedl, 1996, S. 11). „Im Grunde steht die ganze Bildungsstruktur dem Zugang zu unserem Thema [Ökologie] entgegen. ... Denn es erweist sich, daß wir für das Verstehen komplexer systemischer Zusammenhänge mit der Ausstattung unserer Sinne und unseres Denkens gar nicht vorbereitet sind. Wir besitzen keinen Sinn für Phasenübergänge, keine Anschauungsform für das Entstehen neuer Qualitäten“. So müssen wir versuchen, mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln zumindest ein Verstehenwollen zu unterstützen! An der Einstellung eines entsprechenden Gleichgewichts zwischen wissenschaftlichen Errungenschaften zur Ökologie aus Forschung und Technik sowie dem sicheren Verstehen chemischer Fachinhalte durch den Laien, werden unsere Bildungssysteme, in erster Linie die LehrerInnenbildung verstärkt arbeiten müssen.



*Mit dem SO₂ der Schwefligen Säure und dem sauren Regen scheint die Klimaproblematik auf. Bei Verwendung von C kann über CO₂ die Versauerung der Meere thematisiert werden

Abb. D45: Im Zuge des Small Step-Teaching (SST) ließe sich unter Berücksichtigung des Mahaffy-Tetraeders der Klimaaspekt in die systematische Sachbehandlung des Chemieunterrichts leicht integrieren.

⁴⁷⁰ Mit einer „grünen Grundbildung“ sollte es möglich werden, offen, interessiert und mitspracheberechtigt demokratische Entwicklungen mitzugestalten; denn „Bildung heißt, dem Verstand durch Lernen Geltung verschaffen“ (F. E. Rochow, 1734-1805).

E Die Unterrichtskonzeption

Bevor die aktiven und bewussten, die instrumentellen und methodischen Elemente der Unterrichtsplanung einer praxisrelevanten Betrachtung unterzogen werden, gilt es kurz auf die Basis dieses „decision-making approach“ (Borko et al. ,1981) einzugehen. Denn nach Hanke et al. (1973) und unter Bezugnahme zum „Interaktionsanalyse-System“⁴⁷¹ von Flanders (1960), ist folgendes zu bedenken: „Verhaltensweisen, die den Schüler in seiner kognitiven, affektiven und sozialen Entwicklung einschränken, widersprechen jeder Erziehungstheorie, die den Schüler zur Mündigkeit und damit zu kritischem Bewußtsein und zur Verpflichtung gegenüber der Gesellschaft führen soll“ (S. 7).

Die damit verbundene Einstellung der Lehrkraft manifestiert sich in ihrer Kommunikation im Unterrichtsverlauf. Sie gelingt dann, wenn auf der Grundlage emotionaler Zuwendung und eines gemeinsamen Sinnverständnisses gewährleistet ist, dass „Sender und Empfänger, hier LehrerIn und SchülerInnen einen gemeinsamen Zeichenvorrat an Begriffen und gleichen Begriffsinhalten haben, über den sie sich verständigen und mit dessen Hilfe sie gemeinsam Probleme lösen können“ (S. 13), was gerade im Fach Chemie kein unerheblicher Aufwand ist. Wie bedeutsam diese Prämisse ist, kann auch durch Forschungsergebnisse zur Ko-Konstruktion im Fach Chemie eindrucksvoll belegt werden (Fendt, 2018). Auf dieser Grundlage können nach Slavin (1994) vier Unterrichtsfaktoren voneinander unterschieden werden, welche als „*Quality-Appropriateness-Incentives-Time*“, als „QAiT“-Ansatz zusammengefasst werden:

- `Qualität der Instruktion
- Angemessenheit des Anspruchsniveaus
- Motivierung
- Unterrichtszeit` (zit. aus König & Blömeke (2009, S.503).

Die beiden Autoren entwickelten daraus fünf „Dimensionen beruflicher Anforderungen“, welche sich dann zur Beschreibung des „Pädagogischen Wissens von angehenden Lehrkräften“ eignen sollten:

- `Strukturierung von Unterricht (komponentenbezogene, prozessbezogene Planung und Analyse, curriculare Strukturierung)
- Motivierung (Leistungsmotivation, Motivierungsstrategien)
- Umgang mit Heterogenität (Differenzierungsmaßnahmen, Methodenvielfalt)
- Klassenführung (störungspräventive Unterrichtsführung; effektive Lernzeitnutzung) und
- Leistungsbeurteilung (Funktionen und Formen, Gütekriterien, Urteilsfehler)` (S. 504-507).

Vor diesem Hintergrund inhaltsunabhängiger Qualitäten der Unterrichtsgestaltung ergeben sich fachspezifische Konkretisierungen, welche mit dem Begriff des „pedagogical content knowledge“ (PCK) international umschrieben werden.

Mit ihrer Hilfe sollte es möglich werden, die Behebung folgender prägnant formulierter und immer noch feststellbarer Mängel anzugehen (Vgl. Stork, 1988):

⁴⁷¹ Flanders differenziert zwischen 10 Kategorien seiner Interaktionsanalyse. Das sind Lehreräußerungen (indirekte Beeinflussung: L. akzeptiert Gefühle, lobt und ermutigt, geht auf Gedanken/Ideen der SuS ein, stellt Fragen; direkte Beeinflussung: trägt vor, gibt Anweisungen, kritisiert oder rechtfertigt Maßnahmen), Schüleräußerungen (S. antwortet, S. spricht freiwillig) sowie **zuordnungsfreies Verhalten** (Schweigen oder durcheinander) (Hanke et al., 1973, S. 28). Im Zuge der Anwendung wird von einem Beobachter alle drei Sekunden das beobachtete Verhalten nach einem vorgegebenen Raster kategorisiert; vgl. hierzu auch Anton (1998).

Didaktische Mängel:

- Die Vorstellungen und Kenntnisse der Chemie, die die Lernenden mitbringen, bleiben unberücksichtigt
- Ergebnisse der Wissenschaft werden SuS zur Annahme vorgelegt
- Eine Fähigkeit des Lernenden zu abstraktem und systematisch-logischem Denken, die für das Verstehen von Chemie ausreicht, wird vorausgesetzt
- Als Ziel des Unterrichts gilt die bloße Abbildung des Fachs
- Die Nützlichkeit chemischer Lerninhalte für die konkrete Situation und für die aktuellen handlungsorientierten Entscheidungen der SuS bleibt unbeachtet.

Mathetische Mängel:

- Ungenügende (zu schmale) Repräsentation von Begriffen
- Mangelnde Versprachlichung der Unterrichtsinhalte
- Ungenügende Strukturierung der Inhalte
- Mangelnde Festigung des Gelernten
- Der methodische Wechsel zwischen direkter Instruktion und dem offenen Lernen geschieht nur intuitiv und ist nicht gesteuert von der bedarfsgerechten Anerkennung kognitiver, affektiver und instrumenteller Ansprüche der SuS

Es sei vorweg betont, dass es keine einzige Methode gibt, mit der alle erstrebenswerten Unterrichtseffekte gleichermaßen erfüllbar werden. Stets ist eine ausgeklügelte Mischung methodischer Vorgehensweisen, welche LernerInnengruppen motiviert und denkbereit halten. Darin liegt die Hauptproblematik der Unterrichtskonzeptionen.

E 1 Inhalt und Methode

Die Relativierbarkeit von Lehrplänen und Stundentafeln hat zugenommen. Immer deutlicher treten die Beziehungen zwischen Persönlichkeitsentwicklung, Bildungsqualität, Ausbildungsrichtung, Schultyp und Lehrkraftleistung in den Vordergrund. Noch vor zehn Jahren hat man sich in den Lehrplankommissionen in erster Linie an der fachwissenschaftlichen Systematik orientiert. Die Frage hieß: „WAS UND WIE muss ein Schüler lernen, damit er Eingang ins Fach findet?“. Es ging nicht primär um eine flexible und offene Zukunftsorientierung über das Fach hinaus. Die Fachkompetenzen im Sinne eines „Vorratswissens“ dominierten klar und deutlich die Kompetenzen für die Lebensfähigkeit. Vitale Fächer lieferten hierzu einen stetig anwachsenden Fundus an Fachwissen. Er repräsentiert deren Modernität und Bedeutung⁴⁷².

Spätestens heute weiß man, dass die immer größer werdenden wissenschaftlichen Erkenntnispakete in keinem Verhältnis auf den Schulunterricht übertragen werden können. Die Daten und Informationen sind in ihrer Masse und Vielfalt quantitativ von einem Novizen nicht mehr beherrschbar und über die vorhandenen durchschnittlichen Vorkenntnisse qualitativ nicht mehr befriedigend erschließbar. Die bisherige ausschließliche Fokussierung auf die Inhalte und ihre rationelle wie umfassende Präsentation, die so genannte Objektorientierung, hat zu einer eher distanzierten Haltung gegenüber den Methoden, fallweise zu einer methodischen Monokultur geführt.

Das ist über die mittlerweile konsolidierten Erkenntnisse von Lehr- und Lernprozessen (aus der Lernpsychologie, der Hirnphysiologie und den Kognitionswissenschaften) nicht mehr zu rechtfertigen: Heute muss die oben gestellte Frage umformuliert werden:

„WAS UND WIE muss ein Schüler lernen, damit er Eingang in die anspruchsgerechte Gestaltung seines Alltagslebens findet?“ oder als Statement: „Bildung bedeutet, so viele junge Menschen wie möglich dazu zu befähigen, ein erfülltes Leben zu leben“, wobei gilt: „Alle Bildungsziele, die den Arbeitsmarkt über die Persönlichkeitsbildung stellen, sind kurzsichtig“ (Precht, 2018, S. 168). Hierzu gibt es eine simple Möglichkeit, Variationen in den methodischen Vorgehensweisen sehr kleinschrittig, rasch und meist unspektakulär gegeneinander abzugrenzen

⁴⁷² Übersicht zu den Bedeutungen des Inhalts

1. **Systematisierte Wissensbestandteile** (als funktionales und konditionales Wissen) zum Erwerb einer fachlichen Grundqualifikation (fachliche Grundbildung)
Trennverfahren: Reinstoffe (Element/Verbindg.), Reaktionstypen, Energetik bei chem. Rkn., Atom-Modelle, Bindungstypen
2. **Exemplarische Wissensbestandteile** (als deklaratives und procedurales Wissen) zur beruflichen Orientierung (berufliche Grundbildung),
Neutralisation und Salzbildung, Trennungsgänge, Nachweisverfahren, Sicherheits-, Warnsymbole (H- und P-Sätze)
3. **Polyvalente Wissensbestandteile** zur Ausbildung grundsätzlicher geistiger Fähigkeiten für den Erwerb überfachlicher Qualifikationen
Saure Lösungen und Laugen, Indikatoren, Rkn. mit O, Oxide, Oxidationsmittel, Stöchiometrie
4. **Systemische Wissensaggregate** und deren freie Kombination zum Erwerb eines Qualifikationsbewusstseins als Ausgangspunkt für die fachliche und überfachliche Kompetenzentwicklung (Gefahr der Instrumentalisierung im Sinne einer Machtausübung bzw. einer Anti-Didaktik)
Reaktionsgeschwindigkeit, Gleichgewichte, Katalyse, Molekülstruktur, Elektronenkonfiguration, Bindungslehre, Molecularmodelling

Nach Borg (1986) wird dieses Verfahren „Mapping Sentence“ genannt. Es stellt ein systematisches Suchinstrument zum Auffinden von Variationsmöglichkeiten in der methodischen Vorgehensweise dar (Tab. E1).

Die SuS		anhand		, die	werden
entwickeln	eine Hypothese	vorgegebener	Überlegungen	einzelnen	entwickelt
überprüfen	ein Versuchsergebnis	selbst entwickelter	Experimente	zu zweit	diskutiert
	eine Versuchsvorrichtung	unterschiedlicher	Beobachtungen	in Gruppen	durchgeführt
	eine Reaktionsgleichung		Informationen	im Klassenverband	beobachtet
	eine Beobachtung		...	...	erläutert
	eine Pressemeldung				...
	...				

Tab. E1: Übersicht zu mikromethodischen Variationsmöglichkeiten bei der Konzeption von Methodenentscheidungen im Chemieunterricht: „Mapping Sentence“

Durch die Einführung der Nationalen Bildungsstandards (NBS) haben sich die Freiheitsgrade, aber auch die Verantwortlichkeiten bei der Wahl von Inhalten und Methoden zum Erreichen naturwissenschaftlicher Bildungsziele deutlich erhöht. Um sie nutzen zu können, braucht die Lehrkraft Kriterien und Maßstäbe für die jeweils passende Wahlentscheidung. Um den heutigen Anforderungen („Lernen ist eine Aktivität, die von, nicht an einem Individuum verrichtet wird!“, Kühnelt, 2002) entsprechen zu können, muss der eher didaktisch angelegten Objektorientierung eine mathetische Subjektorientierung beigegeben werden. Denn die Kompetenzen müssen an Inhalten und mit methodischer Vielfalt entwickelt werden, insbesondere weil damit die Methodenkompetenz neu gefördert werden kann.

Zu einer gesunden Inhaltskritik kommt die Methodenkritik. Es wird heute zunehmend wichtiger, neben den Inhalten, sich den Lernstrategien und den altersabhängigen Lernfähigkeiten und –fertigkeiten sowie den Aufmerksamkeitsleistungen der SchülerInnen zu widmen, um den Lernprozess an sich zu fördern und ihn mit zunehmender Reife der Lernenden mehr und mehr selbstgesteuert ablaufen zu lassen. Hierzu findet man bei Oser & Sarasin (1995) für den nicht-naturwissenschaftlichen Bereich 12 „Basismodelle unterrichtlichen Lernens“, anhand derer Zusammenhänge (Abhängigkeiten?) zwischen Tiefen- und Oberflächenstrukturen des Unterrichtens, also charakteristische didaktisch und mathetisch ausgerichtete Lehrlernstrukturen ermittelt werden können. Beim Überdenken des erlebten Lehr-Lern-Prozesses entwickelt sich die metakognitive Kompetenz, mit der die LernerInnen ihr Lernen selbst in die Hand nehmen.

Dies gelingt in dem Maße wie Inhalte und Methoden sowie eigene Lernstrategien bewusst erfolgreich zur Selbststeuerung und damit zur Ausbildung eines soliden Fähigkeitsselbstkonzepts eingesetzt werden (vgl. Neber, 1988; Renkl, 1997). Es ist selbstverständlich, dass solche Qualifikationsgenesen an die Auseinandersetzung mit konkreten Inhalten gebunden sind. Sie müssen von den wissenschaftlichen Disziplinen zur Verfügung gestellt werden. Da nie alle Inhalte auch in der Schule vermittelt werden können und sollen, ist die hieraus zu treffende Wahl das Ergebnis eines fortgesetzten Aushandlungsprozesses zwischen Schule und Gesellschaft. Die Ziele sind dabei nicht mehr so ohne weiteres und langfristig festzulegen, da sich die Nutzungsansprüche mit kürzer werdenden „Halbwertszeiten“ als zunehmend veränderlich erweisen.

Damit gesellt sich zur vorherigen eine neue, ebenso wichtige Frage: „WAS UND WIE muss ein Schüler wann lernen, damit er den Eingang in das moderne Leben findet und kritikfähig wird hinsichtlich gesellschaftlicher Ansprüche?“ (Vgl. auch Seilnacht, 1998). Oder, nach dem bayerischen Kabarettisten Christian Springer: Es braucht „Alltagskompetenz & Lebensbewältigung“.

Dieser Perspektivenwechsel bedingt eine Neubewertung der Methodik. Die hochgradige Individualität von Wissensarchitekturen macht es für Lehrende erforderlich, auf möglichst viele methodische Varianten zurückgreifen zu können um einer inneren Differenzierung auch bei größeren LernerInnengruppen gerecht zu werden, um nicht nur das Lernen von Sachen, sondern auch das Verinnerlichen von Lernstrategien zu ermöglichen, die Effektivität des „Arbeitsgedächtnisses“ (Working memory) zu unterstützen und die metakognitive Kompetenz zu fördern (Vgl. hierzu besonders: Roth, G., 2016, S. 99-107, zit aus Madeja & Müller-Jung, 2016). Es gilt die Devise: „Grundlagen kennen, Beziehungen finden, Sinn entdecken und Werte entwickeln!“ Die Inhaltsvielfalt beflügelt die Kreativität hinsichtlich der Methoden, die Methodenvielfalt beflügelt den Erfindungsreichtum hinsichtlich der Wahl der Inhalte. Überfachliche Kriterien für diese Abstimmung finden sich in den allgemeinen Erziehungs- und Bildungszielen. Im Zusammenspiel beider manifestiert sich wertvolles Fakten-, Prinzipien- und Strategiewissen ("Wissensmehrwert"). Mit ihm wird es möglich, die bereits erbrachten Kulturleistungen kennen zu lernen, Einblick zu nehmen in ihre Genese und Orientierungsmöglichkeiten für die Zukunft zu entwickeln.

Solche Grundbildung erleichtert einen problemorientierten Wissenseinsatz und wirkt vielschichtig kompetenzfördernd. Letztlich schafft sie das, was wir in Analogie zum materiellen Wohlstand auch „inneren Wohlstand“ als solide Basis für nachhaltige Entscheidungen, bezeichnen können.

Je nachdem, ob es gelingen soll, einen stringenten fachlichen Sachverhalt eindeutig und in einwandfreier Begrifflichkeit logisch darzustellen oder ob es darum geht, etwa persönliche und methodische Kompetenzen aufzubauen (Teamfähigkeit, Kritikbewusstsein, vernetzt denken, systematisieren etc.), wird man im ersten Fall zunächst den Inhalt auswählen und ihm eine passende Methode zuordnen:

Einführung in die Stöchiometrie - LehrerInnenvortrag, Die Hybridisierung am C-Atom – SchülerInnenarbeit am Computer, Mechanismus der Esterbildung – Recherche durch SchülerInnen im Internet).

Im zweiten Fall gilt es, die Methode auszusuchen und einen geeigneten Inhalt aufzubereiten (Projekt - Möglichkeiten der Salzbildung, Lernzirkel - Eigenschaften und Atombau ausgewählter Hauptgruppenelemente, SchülerInnenübung – Gemisch und Reinstoff).

Ebenso gewinnbringend kann es sein, einen bestimmten Inhalt über mehrere Methoden zu unterrichten (Säure-Base-Titration in der Demonstration und im Praktikum, Die Eigenschaften von Salzen in wissenschaftspropädeutisch angelegten

SchülerInnenübungen⁴⁷³ und in einem Projekt „Salze“, Einführung des BOHRschen Atom-Modells (Energienstufen-Modell) als LehrerInnenvortrag und als historisch-genetisch aufgebautes Schülerreferat usw.) und dieselbe Methode einzusetzen um diverse Inhalte zu verdeutlichen: z.B. LehrerInnenvortrag zur Begründung des Dipolcharakters von Wassermolekülen, oder zur Erklärung des Farbigkeitseffekts von Stoffen über das Vorhandensein von konjugierten Doppelbindungen, bathochromen und auxochromen Gruppen im Molekül; Schülerrecherche zu „Was ist ein Klebstoff?“ und ebenso zu „Welche Bedeutung haben Puffer in biologischen Systemen?“; oder Projekte „Was versteht man unter einem chemischen Gleichgewicht im Vergleich zu anderen Gleichgewichten?“ und desgleichen „Was sind die Gemeinsamkeiten von Redox- und Säure-Base-Reaktionen?“.

Stets handelt es sich aber um eine selektive und lernerInnenorientierte Entscheidung auf der Basis von Inhalts- und Methodenkenntnis sowie von didaktischer und mathematischer Kompetenz der Lehrkraft. In der unterrichtlichen Wirklichkeit wird es sich immer um das Einstellen einer bestimmten anspruchsgerechten Gleichgewichtslage zwischen Inhalts- und Methodenpräferenz handeln und nie um ein Entweder-Oder zwischen Inhalt oder Methode!!!

Sowohl in den oben genannten Fällen wie auch bei allen Planungstätigkeiten von Unterricht muss nach den heutigen Kenntnissen der Wissensgenese auf das Rücksicht genommen werden, was die SchülerInnen schon in den Unterricht mitbringen und was demnach die Heterogenität jeder Lerngemeinschaft ausmacht (Vgl. Altrichter & Hauser, 2007):

- Erfahrungshintergründe
- Spezielle kulturabhängige Verhaltensweisen
- Allgemeine Fähigkeiten und Fertigkeiten, Begabungen
- Persönlichkeitsmerkmale, Lerntyp
- Arbeitshaltung, Durchhaltevermögen
- Arbeitstechniken
- Motivation und Einstellung zum Fach
- Arbeits- und Lerntempo
- Leistungsbereitschaft, -fähigkeit.

Das fachspezifische Vorwissen, die sogenannten Präkonzepte kommen noch hinzu. Nach dem konstruktivistischen Lehrlernmodell steht außer Zweifel, dass der Einstieg in ein (neues) Unterrichtsgebiet Vorwissensaktivierung voraussetzt, wenn es zu einer nachhaltigen Lern- und Verstehensleistung sowie zu Korrekturen von „misconceptions“ kommen soll; denn eine bereits verinnerlichte „simple Behauptung ist für das Gehirn attraktiver und fühlt sich eher wahr an als deren komplexe Korrektur“ (Herrmann, S., SZ v. 25./26.2.2017, S. 4).

Die Feststellung von Präkonzepten, etwa zum Thema „Verbrennung“ oder „Säuren“, bestehend aus allgemeinen Vorkenntnissen, fachlichem Grundwissen, Fehlvorstellungen, Meinungen und Glauben kann beispielsweise erfolgen durch ein „Brainstorming“, wobei sich bereits hier mindestens zwei Varianten anbieten. Einmal kann das Sammeln von Vorvorstellungen am Beginn der eigentlich schon thematisierten

⁴⁷³ „Again and again Shamos pleads with emphasis to cut on the quantity of content in science teaching and to rather deal with the methodology and processes of the sciences “(Aus einer Rezension von: Shamos, M.: The Myth of Scientific Literacy; 1996).

Stunde erfolgen. Möglich und vielleicht zielführender wäre es, wenn man in der vorherigen Stunde die SchülerInnen auffordern würde, jeweils auf ein Blatt Papier die eigenen individuellen Präkonzepte zu formulieren. In diesem Fall kann die Lehrkraft die Sammlung anschließend in Ruhe auswerten und das Ergebnis in die Unterrichtsplanung integrieren. Im ersten Fall müssen die Beiträge der SchülerInnen an der Tafel oder auf dem Tablet gesammelt werden. Ein bloßes gesprächsweises Nennen ist nicht zielführend, da hier die Vergleichbarkeit zwischen vorher und nachher nicht sichergestellt ist⁴⁷⁴. Zudem darf angenommen werden, dass „Fehlvorstellungen“ durchaus etwas gemeinsam haben mit „Falschvorstellungen“ und darauf aufbauenden „Falschinformationen“ oder „Fake News“. Von ihnen weiß man mittlerweile, dass ein Korrekturversuch eher zu bewussten ablehnenden Haltungen führt, sie also eher verteidigt als in Zweifel gezogen und neuen Argumenten kritisch ausgesetzt werden. Dies beruht auch auf den sehr unterschiedlichen Bedeutungen, welche die vorhandenen Vorstellungen aber auch die aufgenommenen Informationen für die Besitzer haben können sowie auf deren Überzeugungen.

Aus Psychologie und Hirnforschung wissen wir, dass die Gedächtnisleistung, mit welcher diese zunächst vorunterrichtlichen Vorstellungen (Roth, 2017 spricht vom „Weltwissen“) generiert werden „nicht als ein passiv ablaufender Prozess verstanden werden sollte“ (Forster, 2014, S. 106). „Es stellt sowohl ein `Top-down´-System, „das von unseren geistigen Voraussetzungen (unseren Vorurteilen, Stereotypen, Überzeugungen, Einstellungen und Gedanken) beeinflusst wird, als auch ein `Bottom-up´-System dar, das unter dem Einfluss von sensorischen Inputs steht“. Dabei „zwingen wir der wahrgenommenen Information aufgrund des Einflusses unseres vorhandenen Wissens und unserer Vorannahmen eine Bedeutung auf. Dadurch werden unsere Erinnerungen so lange verzerrt, bis sie mit unserer allgemeinen Weltauffassung übereinstimmen“ (Forster, 2014, S. 106). Die gewissenhafte Auseinandersetzung mit Vorvorstellungen, die einem Änderungsprozess durch Lernen unterzogen werden sollen, setzt lernpsychologische Kompetenzen voraus. So gilt, „was nicht an vorhandenes [fachliches] Wissen anschließen kann, wird nur schwer gelernt, denn es macht erstmal `keinen Sinn´. Dies gilt erstmal für den Erwerb von Grundkenntnissen [!!!], ...“ (Roth, 2017, S. 328).⁴⁷⁵

Das, was hier grundsätzlich für die Gehirnleistungen gilt, spielt eben auch für vorunterrichtlichen, meist konsolidierten „Meinungen“ zu naturwissenschaftlichen

⁴⁷⁴ Das Gesagte impliziert, dass die Feststellung von Schülervorstellungen keine beschäftigungstherapeutische Angelegenheit sein darf. Sie macht nur Sinn, wenn damit *sinnvoll umgegangen* wird, und zwar über die gesamte Zeit der Themenbehandlung hinweg.

Dabei sei hervorgehoben, dass dieser erste fachlich orientierte Dialog zwischen dem Lehrer und der Lehrerin und dem Schüler und der Schülerin zwar als selbstverständlich eingeschätzt wird, jedoch nicht automatisch funktioniert und gelingt. Drei Zitate mögen dies belegen: „*Jeder Versuch, sich mitzuteilen, kann nur mit dem Wohlwollen des anderen gelingen*“ (Max Frisch; 1911-1991).; „*Wenn Sie aus dem Gespräch anders herauskommen, als Sie hineingingen, dann war es echter Dialog!*“ (Sprenger, 2005).; „*Im Dialog gelingt die Verteilung von Wissen auf mehrere Köpfe, sodass das Problem von mehreren bearbeitet werden kann*“ (Sprenger, 2005).

Bei Sprenger (2005) wird auch deutlich, dass dialogische Kommunikation ein bedeutsames Instrument von Führung ist und damit nicht nur in der Wirtschaft, sondern auch in der Schule unverzichtbar für den Gleichklang von Fordern und Fördern. Nach Bueb (2009) besitzen Lehrer die Pflicht, zu führen und damit auch die Verpflichtung, sich mit Führungsqualität auseinanderzusetzen.

⁴⁷⁵ Solche Überlegungen lassen sich gut mit sehr frühen Zitaten belegen: „Die Stärke einer Vorstellung kann theils durch die Gewalt des sinnlichen Eindrucks (...), theils durch Lebhaftigkeit der Beschreibungen, theils besonders dadurch erreicht werden, wenn schon verwandte Vorstellungen in der Tiefe des Gemüths ruhen, welche sich mit der jetzigen vereinigen. Das Letztere allgemein zu veranstalten, ist Sache einer großen Kunst und Überlegung, welche dahin geht, jedem Künftigen etwas voranzuschicken, was ihm dem Boden bereite, ...“ (Herbart, 1806, S. 174).

Wissensbeständen eine gewichtige Rolle und betrifft wiederum die schon erwähnten Präkonzepte (Vgl. Kap. A 6.1, S. 60) und die Konsequenzen, welche die so wichtige Beschäftigung mit ihnen haben kann.

Positiv an der Präkonzeptfeststellung ist zu bewerten:

- SuS werden ernst genommen
- alltagssprachliche Formulierungen finden ihre Richtigstellung: „*Das Cu-Dach färbt sich grün!*“
- unterstützen den Alltagsbezug des Chemieunterrichts
- sind Ausdruck der SchülerInnenperspektive und damit der Denkviefalt
- sichern den konstruktivistischen Lernanschluss
- fördern die bewusste Vorwissensaktivierung
- können historischen Konzepten entsprechen
- bessere Konzepte fördern die Anwendbarkeit der Lerninhalte und damit das Interesse am Fach
- sind Elemente der Didaktischen Präparation

Zu den Nachteilen dieser Bemühungen zählt:

- hoher zeitlicher Aufwand zur Feststellung
- große Vielfalt der Fehlvorstellungen innerhalb einer Klasse
- irritierend für SchülerInnen, die keine Fehlvorstellung haben
- Kein unmittelbarer Anschluss für das Neue zum Weiterlernen (=sachlogisch nicht zwingendes Vorwissen): *Neue Erkenntnisse werden zusätzlich gelernt*

Weitere Probleme dürfen ebenfalls nicht übersehen werden:

- Es muss ein kognitiver Konflikt erzeugt werden: *Aufzeigen von Relativierungen von Pauschalurteilen („Alle Säuren sind ätzend!“)*
- Sie sind nicht immer einfach korrigierbar: *Dürfen nicht mit einer Bemerkung „richtiggestellt“ werden*
- Experimentelle Begründung für den Konzeptwechsel kann bei geringer Kopplung mit Theorie vergessen werden und damit ist der gewünschte Wechsel hinfällig: Experiment stört die Theorie! Die Experimente müssen gerade im Chemieunterricht unbedingt gelingen!

Ein Zitat von Gropengießer (2003) soll als Zusammenfassung dienen: „Lehrer, die in konstruktivistischer Perspektive unterrichten, weisen den Lernern die Verantwortung für ihren Lernprozess zu: Lernen ist die Leistung des Lerners und es kommt auf Veränderungen in den Köpfen der Lerner an. Es wäre aber ein Missverständnis, daraus zu schließen, Lehrer trügen keine Verantwortung. Im Gegenteil: Weil es sehr wohl auf die Qualität der Lernangebote, Lernumgebungen und Lernkulturen ankommt, müssen diese besonders sorgfältig geplant und gestaltet sein. Lehrer sollten gängige Lernerinnenvorstellungen und Lernschwierigkeiten zum Thema kennen. Sie sollten Methoden beherrschen, mit denen Lernerinnenvorstellungen unterrichtsbegleitend erfasst werden können. Lehrer sollten weiterhin in der Lage sein, die Ermittlung von Vorstellungen lernanregend mit deren Vermittlung zu verknüpfen“ (S. 38). Horst Dörner (ehemaliger GS-Rektor) spricht hier von „sozialer Architektur“ (persönl. Mitteilung). In einer wissenschaftlichen Untersuchung von Fendt (2018) wird dieses Verfahren akribisch systematisiert und an konkreten Inhalten (Kern-Hülle-Modell nach Rutherford; Volumenkontraktion und -expansion) erfolgreich erprobt; denn „Lernen kann nur an und mit Vorstellungen erfolgen“ (S. 255). Die folgende Tab. (Tab. E2) soll die angewandte Vorgehensweise in Form einer prägnanten Folge von Lehr- und Lernschritten für den „Umgang mit Lernerinnenvorstellungen im Unterrichtsgespräch“ zusammenfassen.

Phasen	Vorgehen im unterrichtlichen Verlauf
Vorstellungen aktivieren	Individuelles Vorwissen und Vorstellungen zum Problem aktivieren
	Ausgewählte Anfangsvorstellungen präsentieren
	Diskussion: Vergleich der unterschiedlichen Vorstellungen
	Ergebnis: Anfangsvorstellungen, tragfähige Anteile
Fachliche Zusatzinformationen	Lernende erhalten fachliche Informationen und bringen diese in Verbindung mit den Anfangsvorstellungen
	Ergebnis: Vorstellungen zur Lösung
Veränderte Vorstellungen diskutieren	Ausgewählte Vorstellungen zur Lösung präsentieren
	Diskussion: Verhandeln einer gemeinsam geteilten Vorstellung
	Ergebnis: Fachliche Vorstellung (Lösung)
Lernzugewinn definieren	Individueller Vergleich mit Anfangsvorstellungen

Tab. E2: Phasen im 'Umgang mit Lernervorstellungen im **ko-konstruktiven** Unterrichtsgespräch' (Fendt, 2018)

Mit der ausführlichen und gewissenhaften Berücksichtigung dessen, was jeder einzelne Schüler und jede einzelne Schülerin in den (Chemie)Unterricht mitbringen, berücksichtigt man automatisch die Heterogenität seiner LernerInnen in der Klasse⁴⁷⁶. Dies wiederum ist der Ausgangspunkt für inklusiven Chemieunterricht, der auf diese Weise keine zusätzliche Leistung darstellt, die eine Lehrkraft unter anderen Umständen nicht erbringen müsste, sondern die eine grundsätzliche Verbesserung der didaktischen und vor allem mathetischen Bedingungen für erfolgreichen Unterricht verspricht.

⁴⁷⁶ Die Soziologie liefert mittlerweile neue und besonders für die Schule bedeutsame Erkenntnisse. So unterscheidet El-Mafaalani (2020) plakativ zwischen den Lebenskonzepten von Kindern, welche in ungesicherten und in gesicherten familiären Verhältnissen aufwachsen. Erstere erleben sukzessive die Mechanismen einer Mangelverwaltung in Form „eines an *Kurzfristigkeit* orientierten Denk- und Handlungsmusters“, das auf „*Risikovermeidung* ausgerichtet“ ist und eine starke „*Nutzen- und Funktionsorientierung*“ (S. 134) aufweist. Als Folge stellt sich ein entsprechender „Habitus“ ein. Er „stiftet einen Orientierungsrahmen für unser Denken, Fühlen und Handeln. Dadurch ermöglicht er es uns, in der Begegnung mit der Welt ein Gefühl innerer Geschlossenheit zu bewahren“ (S. 48) und dient u.a. als Rahmen für die Persönlichkeitsbildung. Nahezu das glatte Gegenteil zum „Habitus der Notwendigkeit“ (Bourdieu), bildet ein „Management des Überflusses“ (S. 135), etwa bei privilegiert aufwachsenden Kindern. „Diese ‚Mentalitäten‘ können sich auf ... Schule auswirken“. Im ersten Fall „ist der Zugang zu Bildung als Selbstzweck weitgehend habituell versperrt, zu Wissen, das keiner unmittelbaren lebenspraktischen Anwendung dient sowie zur Kompetenzentwicklung und -ausweitung in Bereichen, die im Herkunftsmilieu keine Anerkennung finden“ (S. 137). Im zweiten Fall „muss ... nicht jede Entscheidung auf ihren unmittelbaren Nutzen hin überprüft werden. Vielmehr üben diese Kinder tagtäglich ein, sich aus einer Fülle von Alternativen zu entscheiden und dabei auch ihre ... persönlichen Ziele nicht aus dem Blick zu verlieren. Fehlentscheidungen haben keine besonderen Konsequenzen“ (S. 135).

E 2 Die „Big Ten“ des guten Chemieunterricht

Aus den bisherigen Argumentationen können in Form einer Zwischenbilanz einige wenige, jedoch fundamentale Merkmale hergeleitet werden, welche die heutige Weiterentwicklung eines modernen, d.h. eines gleichermaßen positiv-konservativen wie evidenzbasierten und innovativen Unterrichts in Chemie mit all seinen besonderen Ansprüchen und Optionen zu fördern vermögen:

- 1. Unterscheidung von Unterrichtsfeldern zur Cross-Kontrolle von konkreten Phänomenen und abstrakten Erklärungen
 - o (→Wissenschaftspropädeutik)
- 2. Sicherheit und Übersicht bezüglich fachspezifischer Arbeitsmethoden und Denkweisen
 - o (→Experimentiergeschick)
- 3. Lernprozessorientierte Strukturierung der Inhalte und Unterrichtsmethoden im Makro- und Mikroformat
 - o (→Principle-Disclosure-Teaching (PDT) & Aufmerksamkeitssicherung)
- 4. Explizites⁴⁷⁷ Differenzieren zwischen fachbezogenen Vorkenntnissen und subjektiven Bedeutungszuschreibungen
 - o (→Sinnstiftung)
- 5. Kleinschrittiges Bearbeiten von unterschiedlichen Anspruchsebenen bei der Einführung abgrenzbarer Themen
 - o (→`Kleinschrittigkeit` / Small-Step-Teaching, SST)
- 6. Explizites Hinführen und übendes Anwenden der chemischen Fachsprache
 - o (→Fachsprachsensibilität)
- 7. Explizites Herstellen von Beziehungen zwischen Vorwissen und Präkonzepten sowie den neuen Informationen (Lerninhalten) mit verstehenswirksamen Adaptoren
 - o (→Konditionalisierung)
- 8. Eindeutiges Unterscheiden zwischen instruktionsbasierter Wissensgenese und problembasierter Wissensanwendung in geschlossenen und offenen Unterrichtsformaten
 - o (→Funktionalisierung)
- 9. Explizites Reflektieren der Effektivität und Effizienz von angewandten Denk- und Arbeitsstrategien
 - o (→Creative Stop-Points, CSP)
- 10. Explizites Rückmelden der Bewertung von Lern- und Prüfungsleistungen des Schülers und der Schülerin vor dem Hintergrund unterschiedlicher Bezugssysteme und Attribuierungen
 - o (→Feedback)

Diese Kriterien sind sowohl über mittelfristige Planung wie auch über Improvisation von Chemieunterricht realisierbar. Sie zählen zu den modernen Beliefs eines Chemielehrers und einer Chemielehrerin, die sowohl konservative Unterrichtsmittel als auch aktuelle Innovationen kritisch hinterfragen, um letztlich verständnisorientierte Lehr- und Lernerfolge zu erreichen.

⁴⁷⁷Vom lateinischen Wort *explicatio* abgeleitet, was so viel wie Entwirrung, Entfaltung, Auseinandersetzung bzw. **Ausdrücklichmachung** bedeutet. Es geht um eine ausdrückliche, konkret ausgesprochene Formulierung bzw. veranschaulichte Darstellung eines Sachverhalts.

Exkurs: Die eindrückliche Verwendung des Begriffs „explizit“ weist darauf hin, dass eine unterschwellige Voraussetzung der Lernerfolge als Selbstverständlichkeit oder das ausschließlich über Prüfungsergebnisse feststellbare Lehr- und Lernresultat keinesfalls dazu ausreichen, den Lernenden auf die Zukunft hin zu vermitteln, dass oder gar, weshalb seine Anstrengungen zu spürbaren Ergebnissen geführt haben. Das „Feedback“ muss mit einem „Feedforward“ verbunden werden. Den LernerInnen muss es ermöglicht werden, unmittelbare Rückmeldung zu erhalten über die Rentabilität ihrer Leistungen und damit über die erfolgten und noch möglichen Veränderungen eines Fähigkeiten- und Fertigkeitenpotenzials. Daneben erfolgt ein ausgeprägtes implizites Lernen, also Lernen, das nicht auf ausdrücklichen Lehrmaßnahmen beruht. Somit entstehen aus den beiden Lernarten auch zwei unterschiedliche Wissensformen: Explizites und implizites Wissen. Nach Neuweg (2000) lassen sich beide Qualitäten wie folgt beschreiben und in Beziehung setzen:

- 'Explizites Wissen kann durch Übung und Automatisierung in implizites Wissen übergehen.
- Die Beherrschung eines Bestandes an präskriptivem explizitem Wissen muss nicht zwingend mit der Fähigkeit verbunden sein, dieses Wissen in Handlungskompetenzen umzusetzen (vgl. „träges Wissen“)
- Implizites Wissen kann Folge impliziten Lernens sein⁴⁷⁸
- Eine Person, die auf ihr prozedurales Wissen reflektiert, kann trotz eines ursprünglich impliziten Lernprozesses zu (hypothetischem) expliziten Wissen über ihre Dispositionen gelangen' (S. 199-200).

Dies führt zu didaktischen Implikationen: „Eine Sensibilisierung für implizite Wissens- und Lernformen verlagert das didaktische Interesse in erheblichen Maße vom Lernen in unterrichtsähnlichen Situationen auf ein Lernen im Funktionsfeld oder in funktionsfeldähnlichen Lernumgebungen [Vgl. Bedeutung von Anwendungen in der Praxis, Außerschulische Lernorte etc. (der Verf.)] und vor allem auf ein Lernen durch Sozialisationsprozesse in Expertenkulturen, vom Lernen durch Beschreibung auf das Lernen durch Bekanntheit, vom Lernen mit entpersonalisierten Medien der Wissensbewahrung auf ein Lernen im face-to-face-Kontakt zwischen Experten und Novizen und vom Lernen durch die Mitteilung von Abstraktionen auf ein Lernen durch komplexe Aufgabenstellungen und paradigmatische Fälle⁴⁷⁹“ (Neuweg, 2000, S. 210).

⁴⁷⁸ Man kann heute davon ausgehen, dass ca. 50% des Gelernten im Unterricht implizit gelernt wurde

⁴⁷⁹ Im Zusammenhang mit dem Begriff der „komplexen Aufgabenstellung“ sei noch auf den Begriff der „Saliens, der Offensichtlichkeit der dem Problem unterliegenden Struktur“ eingegangen. Aufgaben mit hoher Saliens lassen explizite Lernvorgänge als vorteilhaft erscheinen; bei Aufgaben mit geringer Saliens, also mit hoher Komplexität und geringer Vorabdurchschaubarkeit induzieren implizite Lernvorgänge. Dies bedeutet wiederum für die Lehrperson, dass durch die didaktische Aufdeckung von strukturellen Grundlagen eines Lernstoffes die expliziten Lernvorgänge unterstützt werden können.

E 3 Planungs- & Analyse-Raster für den Unterricht (PARU) in Chemie

Der hoch komplexe Umgang mit den planungsrelevanten Elementen von Unterricht findet in einem gleichermaßen pragmatisch wie auch theoretisch orientiertem Werk von Esslinger-Hinz und Wigbers (2013) auf einsichtige Weise Berücksichtigung. „Wir sehen eine der Leistungen didaktischer Theoriebildung darin, bestimmte Aspekte von Unterricht und Unterrichtsplanung zu akzentuieren“ und „Wir gehen von der Individualität von Studierenden und Lehramtsanwärterinnen und –anwärtern als Lernende aus“ (S. 22). Letzteres soll heißen, dass es –entgegen vieler Wunschvorstellungen– eben kein personenunabhängiges Planungsschema gibt, das dann direkt zu einem erfolgreichen unterrichtlichen Wirken führt. Solches gilt auch für die üppige „Planungsblume“ mit 11 `methodischen Blütenblättern´ von Wedel-Wolff (1995) oder für die „pragmatische Unterrichtsplanungstaxonomie (PUT)“ von Greutmann et al. (2021). Dennoch sollte davon auszugehen sein, dass unterrichtsrelevante Entscheidungen nicht ausschließlich intuitiv und zufällig zu Erfolgen führen, sondern überwiegend argumentativ abgesichert und reproduzierbar sind.

Die historisch bedingte Vielfalt von „Prinzipien einer erfolgreichen Gestaltung von Unterricht“ auf der Basis von „Artikulationsstufen“⁴⁸⁰ zur Prozessgliederung (ab: Herbart, 1806) und „Didaktischen Präparationen (DP)“⁴⁸¹ zur Inhaltsgliederung und -aufbereitung (ab: Hering, 1958) sowie unter Berücksichtigung von „Präkonzepten und Sprache zur mathetischen, motivationsrelevanten Adressatenabsicherung“ kann nur dann zu einer leicht praktikablen Schematisierung von Unterrichtsverlaufsplanungen führen, wenn diese Kriterien aufeinander bezogen (Abb. E1) und mit neueren und neuesten Erkenntnissen aus Hirnforschung und Lehrlernforschung (Päd. Psychologie) abgeglichen werden.

⁴⁸⁰ Artikulation: „Die Gliederung des Unterrichtsverlaufs“ („articulatio“, lat. = der gut gegliederte Vortrag). Beispiel für ein solches „Unterrichtsplanungsmodell“: „ARIVA“-Modell: Ausrichten, Reaktivieren, Informieren, Verarbeiten, Auswerten. Hier sei auch verwiesen auf ein Artikulationsschema von Boddy et al., 2003; Bybee (2009), das als „5E-Modell“ geläufig ist (Lembens & Abels, 2015)

In der Allgemeinpädagogik und -didaktik finden sich historisch bedingt eine Unmenge an Artikulationsschemata, die sich jedoch immer nur vereinzelt bewährt und durchgesetzt haben. Eine allgemeinverbindliche Fassung existiert nicht. Jede Lehrkraft selektiert im Laufe der Expertiseentwicklung ihr eigenes Schema!

⁴⁸¹ DP sind gekennzeichnet durch die Abgleichung von didaktischen und mathetischen Momenten zur Sicherstellung eines anwendungsorientierten Verständnisses!

Prinzipien: 1. Fachliche Richtigkeit, 2. Fachliche Ausbaufähigkeit zum noch Leichterem und zum ursprünglich Schwierigeren hin, 3. Angemessenheit bzgl. der kognitiven Struktur, der affektiven Verfasstheit & der instrumentellen Fertigkeiten des Lernalters

Gestaltungsprinzipien von Unterrichtsstunden (GPUS)

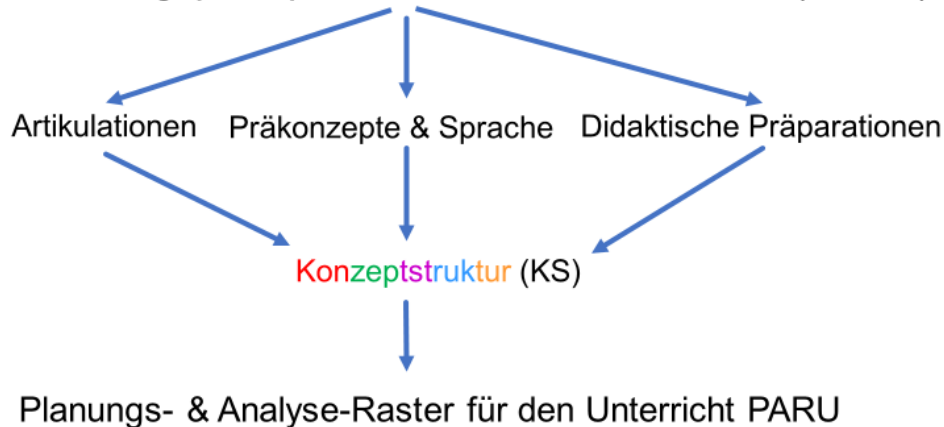


Abb. E1: Vernetzungsschema zu den Begriffen, welche für die Unterrichtsplanung und –durchführung relevant sind

Die Kenntnis von den drei Gestaltungsprinzipien (Präkonzepte und Sprache, Lehrplaninhalte, die den Didaktischen Präparationen unterworfen werden, Artikulationsstufen zur äußeren Strukturierung einer Unterrichtsstunde oder Unterrichtseinheit) führt zu konkreten Antworten auf die Fragen aus der Konzeptsstruktur (Abb. E2).

Auswählen und Ziele operationalisieren
 Zerlegen und Bedeutungen zuordnen
 Kokonstruktiv bearbeiten
 Zusammenhänge explizit darstellen
 Anwendungsmöglichkeiten aufdecken

Das soll erreicht werden! - Ziel
Darauf kommt es an! - Inhalt
Derart entstehen Erkenntnisse! - Zeit
Damit lässt sich das Neue verbinden! - Chunk
Dies kann man damit anfangen! – Kompetenz

Abb. E2: Übersicht zu den Schlagworten, die Profis mit einem modernen Planungskonzept verbinden

Mit dieser fünfschichtigen Konzeptsstruktur kann nicht nur die Planung einer Unterrichtsstunde bzw. Unterrichtseinheit strukturiert werden, sondern es stehen damit auch fünf Gliederungspunkte bzw. Überschriften für die entsprechende Besprechung und Kritik einer gehaltenen Stunde bzw. Unterrichtseinheit zur Verfügung.

Anhand der Felder aus dem Planungs- und Analyse-Raster (Abb. E2) kann dann ein „Fein-Tuning“ für eine jeweils einzelne Unterrichtsstunde erfolgen, welches in einem Stundenbild verdichtet wird, das die Lehrkraft als unmittelbare Regieanweisung für die aktuelle Stunde verwendet und von dem sie sich im Laufe von Jahren erfahrungsbasiert langsam emanzipiert. Das gilt auch für die SchülerInnen. Sie werden auf dem Weg in die Lernselbstständigkeit von der Lehrkraft begleitet:

1. Demonstrieren durch L. ohne Kommentar
 → implizites Lernen am Modell

2. Demonstrieren durch L. mit Kommentar und Begründung der Handlungsschritte, Vorstellen, Systematisieren & Herstellen der Adaptierbarkeit des Faktenwissens
→ explizites Lehren → „*preparing mit knowledge-mapping*“
3. Teilweise Übernahme des *handlings* durch SuS, Erklärungen zum Konstruieren & Anwenden von Fachwissen durch L.
→ informiertes Training → „*coaching*“
4. Selbsttätige Durchführung des gesamten Lernzyklus durch SuS mit metakognitiven Hilfen, die den Lernprozess bewusst machen
→ selbstgesteuertes Lernen → „*prompts*“
5. Entwicklung und Lösung von Problemen von L. begleiten & unterstützen
→ „*scaffolding mit concept maps*“
6. Kreativität zulassen & beobachten → „*fading*“

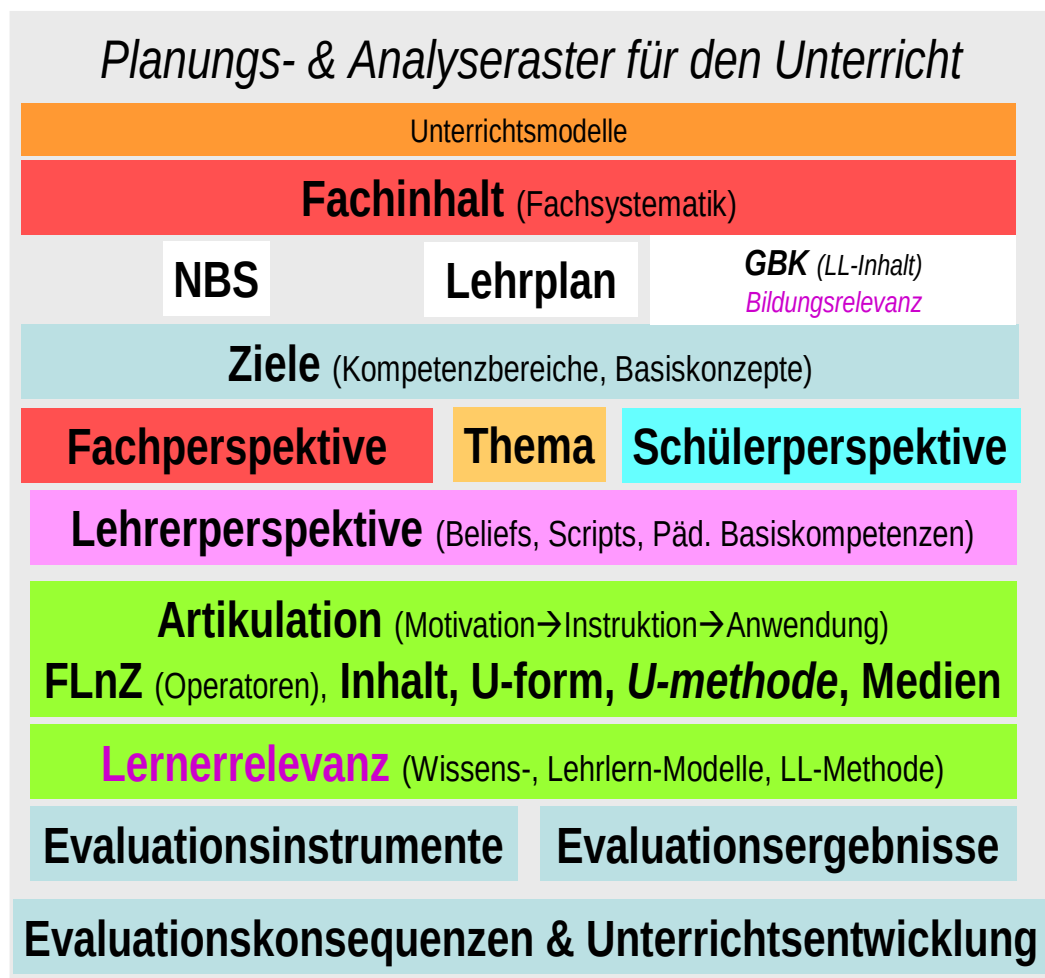


Abb. E2: Elemente der Unterrichtsplanung und -reflexion als Basis für eine kontinuierliche Weiterentwicklung von Unterrichtsqualität. Zentrale Arbeitsbasis für die konkrete Konzeption und Ausarbeitung eines Stundenbilds ist die „Artikulation“. Als Qualitätssicherungsmerkmale gelten die Leitlinien (LL) für Inhaltswahl (Weltverständnis, Kulturelles Erbe, Bewältigung alltagsbezogener Entscheidungen, Teilhabe an gesellschaftlichen Entscheidungen, Verständnis für die Wissenschaften, Bereicherung emotionaler Erfahrungen, Berufliche Nachwuchssicherung) und Methodenwahl (empirisch arbeiten und erfahrungsgeleitet lernen, situiert und an Hand authentischer Probleme lernen, in multiplen Kontexten lernen, unter multiplen Perspektiven lernen, in einem sozialen Umfeld lernen, mit instruktionaler Unterstützung lernen, mit medialer Unterstützung lernen)

Über den allgemeinpädagogischen bzw. fachübergreifenden QIAT-Ansatz (*Quality, appropriateness, incentive, and time*) von Slavin (1994) hinaus, werden im PARU weitere, auch die eher fachspezifisch zu interpretierenden Kriterien für die umfassend-pragmatische Unterrichtsplanung und –analyse im Fach Chemie aufeinander bezogen (Abb. E2.3) (Vgl. auch Anton, 2008, S. 109-198). Die „Bildungsrelevanz“ und die „LernerInnenrelevanz“ im PARU-Schema erlangen besondere Bedeutung, wenn man sie mit dem „model of the relevance of science education“ von Stuckey (Stuckey & Eilks, 2014) in Verbindung bringt (Abb. E3). Mit diesem Modell wird der so wichtige Alltagsbezug chemischer Inhalte differenziert und präzisiert (Stuckey et al., 2013; Stuckey & Eilks, 2013). Es sei hier erneut betont, dass die jeweilige Berufsrelevanz (s.o.) die Alltagsbezüge von chemischen Lerninhalten verstärkt und deshalb im Unterricht hervorgehoben werden sollte.

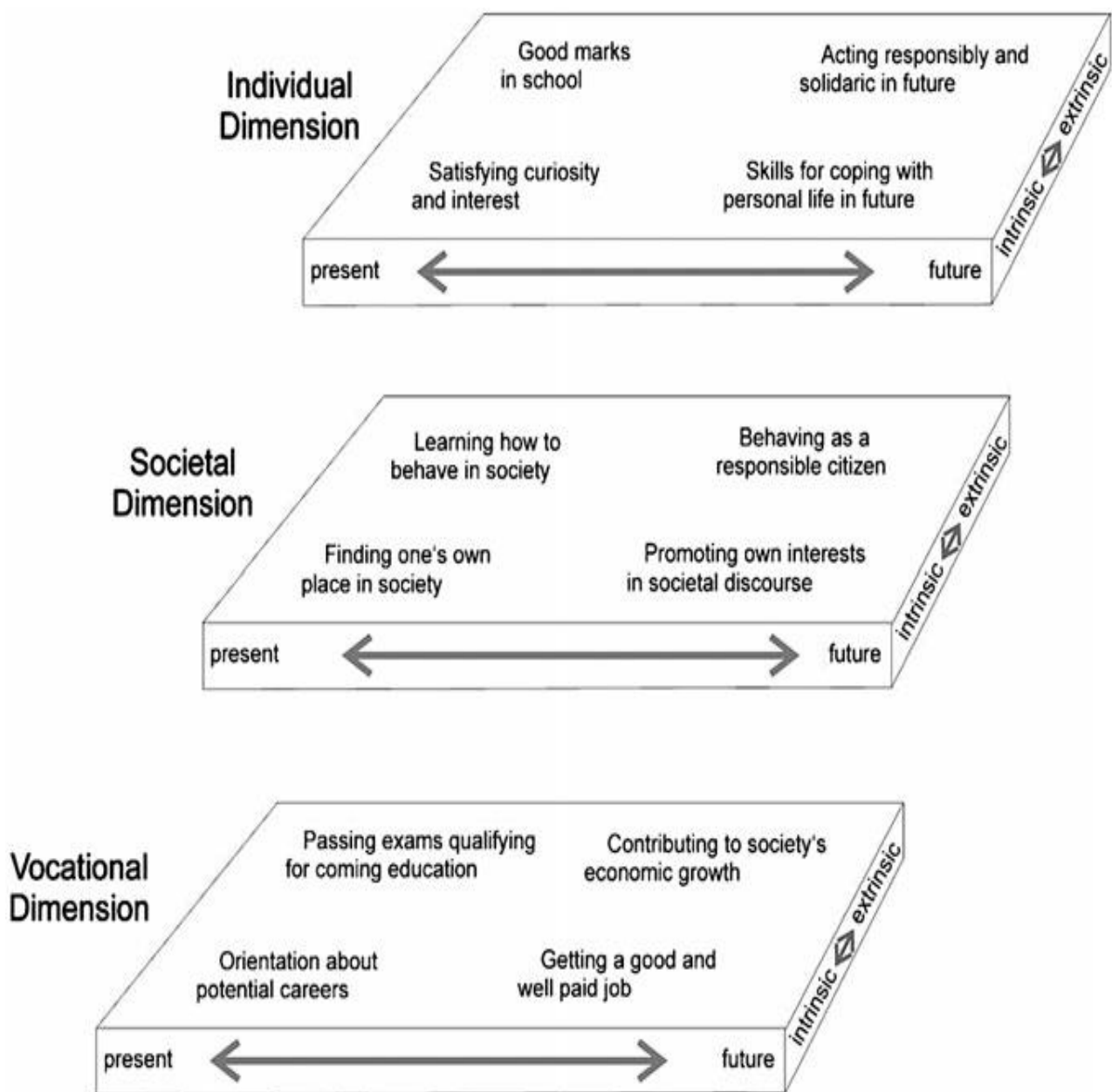


Abb. E3: A model of the three dimensions of relevance with examples of aspects allocated in the span of both the present–future and the intrinsic–extrinsic-range (Aus: Stuckey et al., 2013, vgl. auch Stuckey et al., 2014, S. 178)

Das Sichtbarwerden der engen Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen allen Planungselementen soll es den LehrerInnen ermöglichen, bereits auf der Ebene kontinuierlicher Vorbereitung, Durchführung und konstruktiver Reflexion von Lehrgängen und Unterrichtseinheiten⁴⁸², lehrerlernwissenschaftliche Inputs sukzessive in ihren Unterricht zu implementieren und erfahrungsgeleitete Konsequenzen daraus zu ziehen (Staub, 2001). Das zählt jedoch nicht zu den leichten Übungen, denn nach Lortie, 1975 (zit. aus Fischler, 2000, S. 31) lässt sich zeigen, dass „die Sozialisation von Lehrern während der vielen tausend erlebten Unterrichtsstunden⁴⁸³ in der eigenen Schulzeit geschieht und während der Studienzeit nicht wesentlich verändert wird“.

Vor dem Primat der Zeitvorgaben (Studentafel und Unterrichtsstundenverteilung der Schule vor Ort) werden Stundenbilder über den Zeitraum von ca. 28 Unterrichtswochen⁴⁸⁴ pro Schuljahr entworfen. Dabei gibt der Lehrplan grob die Lehrgänge (Überschriften) vor sowie die Unterrichtseinheiten (Spiegelstriche). Zusammen mit den Zielen lassen sich hieraus Artikulationsschemata verschriftlichen. Die Bereiche „Mikrostrukturierung“ und „Mikromethodik“ sind im Gegensatz zu allen anderen Planungselementen eher nicht planbar, sondern unterliegen der expertisefundierten Improvisation (→ad hoc-Bereich).

Diese Vorarbeiten zur fachdidaktischen und fachmathetischen Theorieentwicklung erlauben die enge Verzahnung von schulischer und forschender Wirklichkeit (Brown, 1997) mit dem Ziel einer nachhaltigen Unterrichtsentwicklung. Ein übergeordnetes Ziel von forschungsadaptiver Unterrichtsentwicklung sowie unterrichtsadaptiver Forschungsentwicklung auf der didaktischen Seite muss es heute auch sein, mathetisch orientierte Erkenntnisse aus der Lernphysiologie (Lernbiologie) und aus der Lernpsychologie, auch aus der „Phänomenologischen Psychologie“ (Herzog, 1992; Lippitz, 1994) auf qualitativer Ebene für die stete Verbesserung der Lehrlernprozesse, hier im Fach Chemie, unmittelbar nutzbar zu machen⁴⁸⁵. Entwicklung tritt ein, wenn sich das Wichtigste durchzusetzen beginnt. Neuere Untersuchungen zeigen auch, dass die Verwendung eines immer größer werdenden sowie leichter erreichbaren Angebotes fertiger Unterrichtsentwürfe nicht ausschließlich eine Erleichterung für die Lehrperson darstellt, da sie häufig mit den eigenen subjektiven Voraussetzungen und Zielsetzungen kollidiert und mit dem Ziel der Anpassung meist zu unterschiedlich aufwändigen Abänderungen führt (Schmit & Kizil, 2014⁴⁸⁶).

An dieser Stelle sei auch nachdrücklich betont, dass jede noch so detaillierte Planung keinesfalls die jeweils aktuellen bzw. akuten Situationswechsel vorwegnehmen kann oder anders formuliert: Sie soll die Lehrkraft niemals daran hindern, spontan und intuitiv das gerade Notwendige und Richtige zu tun. Nach Gigerenzer (2013) wäre es fatal und

⁴⁸² Vgl. hierzu die Internetseite der Chemiedidaktik der Uni Bayreuth: Lexikon der fachdidaktischen Begriffe: http://bayern.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/lexikon/0_einfuehrung.htm

⁴⁸³ Mehrere überschlägige Berechnungen ergeben den Wert von 17000 erlebten Stunden Unterricht, davon bestenfalls ca. 200 in Chemie

⁴⁸⁴ Man geht durchschnittlich von einem Schuljahr mit 38 Schulwochen aus, wobei man für Prüfungen, Stundenausfälle (durchschnittlich max. 4%), Exkursionen und dem Pädagogischen Freiraum etc. 10 Wochen abzieht

⁴⁸⁵ Neben diversen Lehrerbildungszentren und Schools of Education, welche in den vergangenen Jahren und aktuell eingerichtet werden, wurde im Dezember 2012 an der Leuphana Universität in Lüneburg das „Zukunftszentrum Lehrerbildung“ (ZZL) eröffnet (www.leuphana.de/zzl). Allerdings läuft man auch hier Gefahr, sich zu sehr mit den modernen Technologien zu beschäftigen und nicht so sehr mit den Persönlichkeiten der angehenden LehrerInnen

⁴⁸⁶ Der hier verwendete Begriff „Curriculum Enactment“ bezeichnet die „Umsetzung von Hinweisen für die Unterrichtsgestaltung [etwa aus dem Internet] in den konkreten Unterricht ..., also [den] Übergang vom potentiell implementierten Curriculum [vgl. Lehrpläne] zum implementierten Curriculum“ (S. 260).

unsachgemäß, auf sogenannte „Heuristiken“, also „einfache Lösungen für komplexe Probleme“, zugunsten objektiver Regeleinhaltung verzichten zu wollen. Dabei ist zu beachten, dass solche intuitiven Entscheidungen, auch als „Bauchgefühle“ bezeichnet, Produkte von Erfahrungen sind und sich demnach nicht *vor* der exakten Planung, sondern *nach* ihr entwickeln. Eine Heuristik oder eine Intuition (als Form von Intelligenz) ist „ein Urteil,

das unvermittelt im Bewusstsein auftaucht,
dessen tiefere Gründe uns nicht ganz bewusst sind,
das stark genug ist, um danach zu handeln“ (S. 46).

Für eine Lehrkraft bedeutet das, dass sich im Laufe der Expertiseentwicklung ein sogenannter „adaptiver Werkzeugkasten“ füllt: „Repertoire an Heuristiken (Faustregeln), das ein Mensch, eine Institution oder Kultur zur Verfügung hat, um mit Ungewissheit intelligent umzugehen“ (S. 275). Mit ihm gelingt es, die für den konkreten Fall wichtigen Informationen zu verwenden und nicht erst nach allen vorhandenen zu suchen. Mühlhausen (1994) bringt es auf den Punkt: „... wie bei jedem menschlichen Handeln lässt sich auch im Unterricht die Planung erst unmittelbar in der Unterrichtssituation selbst vollenden“ (S. 372). „Unterrichtsplanung findet demnach zweistufig statt. Einmal vorab als vorausschauende Planung und dann während des Unterrichts als situative Planung ... (1) Die situationsangemessene Umsetzung des vorher Konzipierten, (2) Das Eingehen auf unerwartete Situationen mit vorab überlegten Bewältigungsstrategien, (3) Das Improvisieren zugunsten des Planungserhalts.

In dem Maße wie die Beliefs und Scripts der Lehrperson einer innovativen und modernen vermittlungswissenschaftlichen Kompetenz entsprechen und in dem Maße wie die Stundenbildplanung nicht durch persönlichkeitsfremde Auflagen und zwingende ungünstige Rahmenbedingungen von diesen Prinzipien abweicht, kann davon ausgegangen werden, dass sich bei Konfliktsituationen ausreichende Handlungsoptionen anbieten und realisiert werden können (Abb. E4). Dies impliziert auch große Eigenverantwortlichkeit und Unterstützung sowie Vertrauen durch Vorgesetzte! In dem Maße, wie das nicht der Fall ist und die Stundenbildplanung einerseits sehr stringent, detailliert und deshalb prozessbestimmend angefertigt ist und gleichzeitig die Beliefs und Scripts der Lehrperson damit nicht im Einklang stehen, etwa weil die Artikulationsvorgaben den eigenen Absichten und Vorstellungen widersprechen, kann es in Konfliktsituationen zu Schwierigkeiten kommen, weil es dem Lehrer und der Lehrerin nicht möglich ist, ausreichend flexibel und situationsgerecht zu agieren um die Situation kontrollieren zu können. D. h. die Planung wird zugunsten ursprünglicher Handlungsmuster aufgegeben, was wiederum zu Verwerfungen führen kann, weil die vorherige Planungsarbeit als unökonomischer Aufwand erlebt wird, was geringe Eigenverantwortlichkeit und mangelnde Unterstützung durch die Vorgesetzten mit sich bringt.

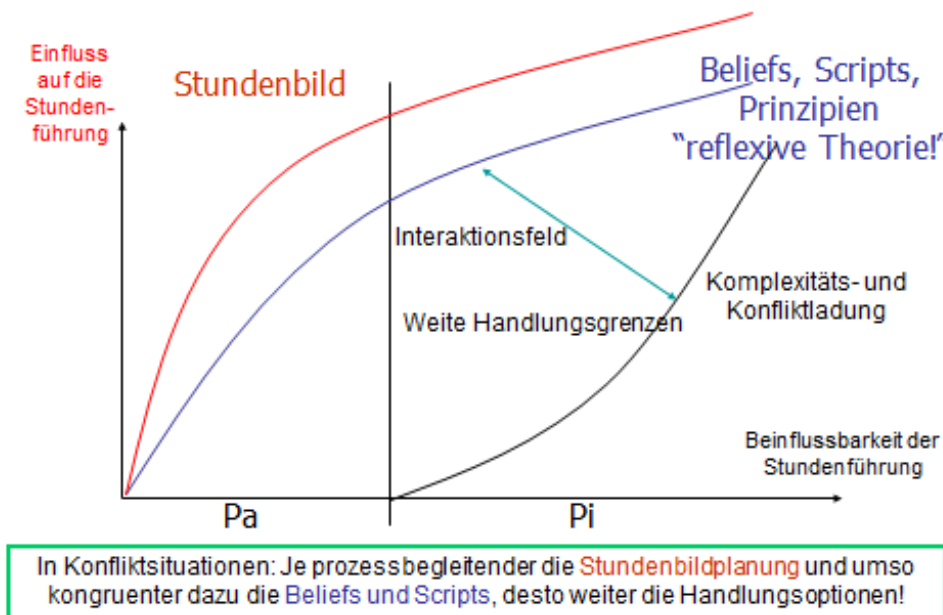
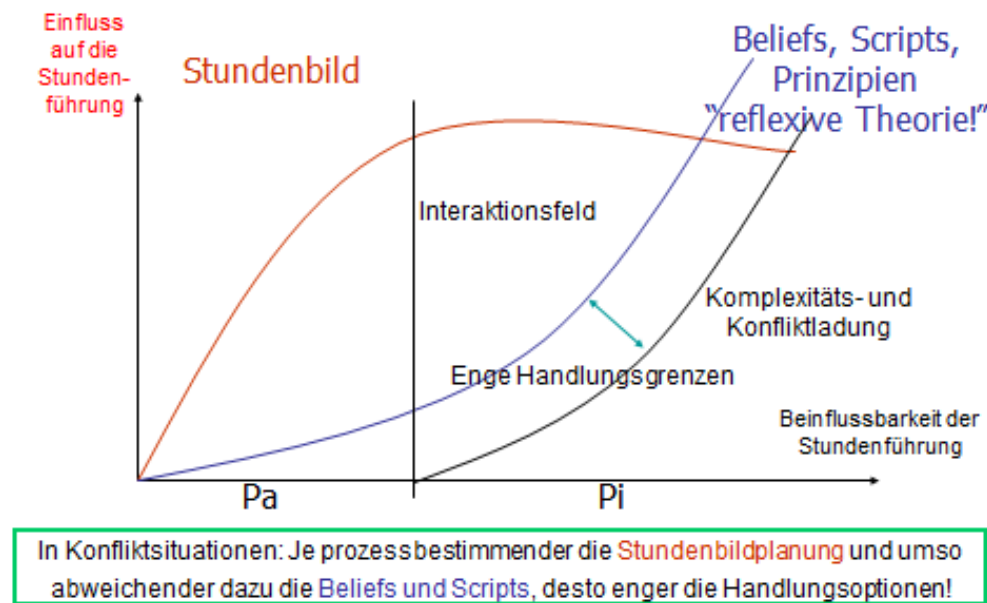


Abb. E4: Das Zusammenspiel von Planung, Interaktion und Komplexität, hier unter zwei unterschiedlichen Voraussetzungen mit ebensolchen Konsequenzen. (P_a : äußere Planungsphase (Vorbereitung); P_i : innere Phase der Planungsumsetzung)

Planungs- und Analyse-Raster für den Unterricht (PARU)

3. LEHRPLANBEZUG	1. FACHINHALT	4. BILDUNGSRELEVANZ
Hier wird der Bezug zum Lehrplan formuliert (allgemeine Bildungsziele, didaktische Grundsätze und Inhalte) <i>Wie findet sich der Inhalt im Lehrplan?</i>	<i>Sachlogisch er Repräsentant des Faches!</i>	Hier wird der Bezug zum Dynamischen Grundbildungskonzept (IMST²) GBK formuliert. Leitlinien (Inhalte) <i>Welche Beiträge liefert der Inhalt für die mathematisch-naturwissenschaftliche Grundbildung?</i>
2. ZIELE Die Ziele werden operationalisiert und kommen in Form eines Lernzielkatalogs zum Ausdruck.		
8. THEMA bündelt, gewichtet und strukturiert die Inhalte. Das Thema schafft die Verbindung zwischen Fach- und Schülerperspektiven (<i>didaktischen und mathetischen Orientierungen</i>). Begründung der konkreten Themenstellung durch die inhaltlichen und methodischen Leitlinien. <i>Wie „heißt“ die Stunde? Was steht als Überschrift an der Tafel bzw. im Heft?</i>		

5. FACHPERSPEKTIVE (DIDAKTIK) <i>In diesem Feld wird die Sachstruktur der Wissenschaft aufgegriffen.</i> Begriffe (Definitionen & Bedeutungshintergründe), Betonungen, Beziehungen, Systematiken, Verknüpfbarkeiten, Assoziationshilfen, Didaktische Präparationen Wissenschaftliche Sichtweisen und Prozesse des Faches sowie die dazu nötigen Fachbegriffe werden dargestellt. Fachwissen und Fachkönnen werden erläutert. Die Bedeutung der Inhalte wurde bereits bei den ZIELEN über die inhaltlichen Leitlinien klar dargelegt.	7. PROFESSIONSPERSPEKTIVE <i>Einschätzung und Umgang mit allen Arbeitsvoraussetzungen und Optionen</i> Vorstellungen von den Auswirkungen des eigenen Tuns (Konzeptionen) <i>Beliefs, Scripts, Visionen, Präferenzen, Anwendungsziele, Arrangement der Unterrichtsfaktoren, Diagnosekompetenz und adaptive Lehrkompetenz, lehrlernwissenschaftliche Qualifikation</i> Vom Lehrer gewollter Umgang mit den Inhalten durch den Lerner - Was soll der S aus meinem Unterricht vor allem mitnehmen? - Wodurch kann ich die Wissenschaftlichkeit des Faches vermitteln? - Wie gehe ich mit den Phänomenen in meinem Unterricht um? - Was halte ich von der Schülerübung im Vgl. zum Theorieunterricht?	6. LERNERPERSPEKTIVEN (MATHETIK) Hier werden die sozio-kulturellen, sozialen, personalen, kommunikativen sowie kognitiven, instrumentellen, affektiven & neurophysiologischen Voraussetzungen der Schüler/innen dargelegt. Vorkenntnisse, Grundwissen, Fähigkeitsselbstkonzept, Interessenlage, Vorlieben, Entwicklungsaufgaben Die sogenannten Präkonzepte der Schüler/innen werden erhoben und/oder Erkenntnisse aus der Forschung einbezogen. Vorwissen – Vorerfahrungen – Vorstellungen (Präkonzepte & Lerngeschichten) Interessen - Einstellungen – Gefühle KLASSENSITUATION

RAHMENBEDINGUNGEN

Hier finden alle Faktoren Berücksichtigung, die die gemeinsame Arbeit wesentlich beeinflussen, unabhängig von den Inhalten: Raumgröße, Sitz-, Schreib-, Projektionsgelegenheiten, Beleuchtung, Temperatur, Sitzordnung, Gruppierungsmöglichkeiten, Tafel, Flipchart etc. ...

Design der Unterrichtssequenz („**Stundenbild**“) unter Beachtung der Unterrichtsprinzipien (Grundlagen für **Design-Based Teaching (Research)**)

Hier werden Inhalte, Methoden, AV-Medien, Demo-Material und Experimente chronologisch geordnet und nach konstruktivistischen Unterrichtstheorien begründet		
9. STRUKTUR („Artikulationen“ od. Phasen, „Trajectory“ <i>Arbeitsschritte, Zeitmanagement, Fixierungen und Hervorhebungen</i>	10. AKTIONS-, SOZIALFORMEN/ METHODEN/ARBEITSTECHNIKEN <i>Lehrer-/Schülerleitung, Einzel-/Gruppenarbeit, Instruktion als direkte Unterweisung oder offenes Arbeiten</i>	11. BEGRÜNDUNG DER ENTSCHEIDUNGEN Leitlinien (Methoden) <i>Inwiefern unterstützt die gewählte Methodik den Lernprozess?</i>
12.EVALUATION: MESSINSTRUMENTE Womit stelle ich das Erreichen der Ziele fest? <i>Wie kann ich den Lerneffekt messen? Messen, Bewerten, Beurteilen, Fehlerbedeutung (Vom Feedback zur Evaluation!)</i>	13. EVALUATION: BEWERTUNG DER MESSERGEBNISSE Wie weit wurden die Ziele erreicht? <i>Wie interpretiere ich die gewonnenen Messdaten? Rückmeldungen an die SuS, Fördern und Fordern, Schüler- und Klassenbild, Schüler-, Kollegen-, Elterngespräche</i>	14. EVALUATION: FOLGERUNGEN Welche Konsequenzen ziehe ich aus den Resultaten? <i>Welche Optionen stehen mir zur weiteren Verbesserung des Unterrichtsertrags zur Verfügung? Supervision, Unterrichtsforschung: Befragung, Fallanalyse u. a.</i>

Basis für Research-Based Teacher Education

Die drei Seiten weisen nahezu alle Aspekte auf, welche sich in der Planung einer Unterrichtseinheit und –stunde als “frag-würdig” einstellen. Natürlich werden nicht alle 14 Felder explizit schriftlich aufbereitet, vielmehr geht es neben dem Stundenbild, das sich in erster Linie aus dem Feld Nr. 9 ableitet, um ein Bewusstmachen von Einflussgrößen, die die Stundenkonzeption mitgestalten und damit auch individualisieren.

So gelingt es, immer wieder an der Optimierung von Konzeptionen zu arbeiten und dabei die konventionellen Regelmäßigkeiten und sinnvollen Routinen mit den innovativen Forschungsergebnissen zu konfrontieren und daraus besseres Neues entstehen zu lassen.

(Vom Verfasser kann via Email (michaelanton48@web.de) eine Sammlung von Stundenbildern (Unterrichtsplanungsschemata; 66 S.) angefordert werden.)

F Ausgewählte Aspekte von Chemieunterricht

Neben den klassischen bzw. traditionellen Kriterien, welche sich mit dem Unterrichten von Chemie verbinden lassen, treten zusätzliche Schwerpunktsetzungen auf, die sich aus den neu gewonnenen Erkenntnissen aus der Forschung ergeben oder welche sich aus der gesellschaftlichen Entwicklung heraus bildungspolitisch in den Vordergrund drängen. Sie müssen von einer modernen LehrerInnenbildung aufgegriffen werden. Im Folgenden werden ausgewählte Perspektiven auf den Chemieunterricht erläutert. In besonderer Weise stellen die modernen Medien eine der größten Herausforderungen dar. Die Digitalisierung vom Alphabet bis zu ChatGPT erfordert bei Lehrkräften wie auch SchülerInnen in immer kürzer werdenden Zeitabständen die Ausbildung zusätzlicher technischer Kompetenzen.

Die multikulturellen Zusammensetzungen von Schülerschaft und Lehrkollegium erfordert neue Organisationsformen in der Betreuung von Klassen und einzelnen SchülerInnen, insbesondere auch in fachsprachlicher Hinsicht. Die damit zusammenhängende Präferenzierung von ausgewählten methodischen Vorgehensweisen darf nicht in einen Glaubenskrieg übergehen, bei dem man sich „entscheiden“ muss zwischen der einen oder anderen Unterrichtsform, zwischen einer eher offenen und einer eher geschlossenen Form von Unterricht. Beide sind gleichberechtigt und der sinnvolle Wechsel ist das wichtige Kriterium, etwa im Sinne einer „adaptiven Lehrkompetenz“. In engem Zusammenhang mit den Individualisierungen stehen das „remediale Lernen“ und der „inklusive Unterricht“. Beides muss zu den Ansprüchen passen, die sich aus Inhalten des Lehrplans und aus den Belastbarkeiten von SchülerInnen und Lehrkräften ergeben. Das gilt entsprechend für die weiterhin aktuelle Erziehungsaufgabe der Prävention. In ihr steckt auch die Bedeutung des Erfolgserlebnisses und der Motivation, etwa in Form von Anstrengungsbereitschaft. Über Allem steht dann die Forderung, dass die wesentlichen Ziele des Unterrichts an Schulen nur dann erreicht werden können, wenn für die Erfüllung dezidierter Anforderungen stets genügend Zeit für die Entfaltung der umfassenden Lehrkompetenz zur Verfügung steht.

F 1 „Deutsch-Chemisch“ – „Chemisch-Deutsch“: Die Versprachlichung im Fach Chemie

Insbesondere für die Abstraktionsebenen (Vgl. Abb. D7) –aber nicht nur für diese– gilt: „Denken braucht Werkzeuge. Das können Begriffe und Symbole sein, aber auch Analogien, Bilder oder Perspektivwechsel“. Damit richtet sich zugleich das Augenmerk auf das Problem der „Fachsprache“. Weil „kein naturwissenschaftlicher Unterricht ohne ein Mindestmaß an Fachausdrücken auskommen kann, müssen die Schüler im Unterricht die Möglichkeit bekommen, zu lernen, wie diese Fachausdrücke zu entschlüsseln sind. Die in fast allen Fachausdrücken enthaltenen Verdichtungen müssen deutlich werden, damit eine oder mehrere Bedeutungen überhaupt erfassbar werden und in den Sprachgebrauch allmählich übernommen werden“ (Bauer & Nase, 1983).

Aus einer Untersuchung zur „Sprachförderung im Physikunterricht“ des IPN geht u.a. hervor, dass „im Regelunterricht mehr Zeit für eine kohärente Nutzung der wichtigsten Fachwörter“ zu verwenden sei (IPN-Blätter 31 (2014) 4, S. 6). Hier böte sich eine Intensivierung der Zusammenarbeit zwischen dem Fach Chemie (wie auch Physik) und Deutsch an. Beide Fachdidaktiken, inklusive der „Didaktik des Deutschen als Zweitsprache“ (DDaZ) müssen ihre Expertise füreinander nutzbar machen (Frederking et al., 2013). Und das kann, auch bezogen auf die Naturwissenschaften, sehr früh beginnen, etwa auch mit Hilfe von Materialien, welche von „Science on Stage Deutschland e.V.“ zur Verfügung gestellt werden: „Wir möchten den europaweiten Austausch zum Thema Sprachförderung durch Naturwissenschaften bei Science on Stage auch in Zukunft fortsetzen“ (Hänsler, 2015).

Zum chemischen Grundverständnis und damit auch zum Grundwissen gehört auch das Lesen- und Schreibekönnen der chemischen Fachsprache, also von „Chemisch“, zumindest in den Grundzügen. Auch dieses Lesen ist ein Zeichen für die „Teilhabe an kultureller Praxis“ (Hurrelmann, 2003). Es ist auch ein wichtiges Argument für die Zuschreibung der Chemie als „Kulturwerkzeug“⁴⁸⁷.

Zwischen der „Gemeinsprache“ (oder Alltagssprache) und der „Wissenschaftssprache“ lässt sich die „Unterrichtssprache“ verorten (Vollmer, 1980; Sumfleth et al., 2013). Diese wiederum kann ausdifferenziert werden nach dem eher *wissenschaftsorientierten* „fachbezogenen“ und dem eher *alltagsorientierten* „verständigungsbezogenen“ Sprechen (Priesemann, 1971). Beispiele wären (Abb. F1, F2):

- Fachbezogen (Begründung): Durch Destillation können Alkohol (Ethanol) und Wasser voneinander getrennt werden, weil sich ihre Siedepunkte (78°C; 96°C) deutlich unterscheiden.
- Fachbezogen (Beschreibung): „Beim Destillieren von Rotwein kondensiert eine farblose Flüssigkeit. Dieses Destillat lässt sich durch seine Brennbarkeit als reines Ethanol nachweisen!“
- Verständigungsbezogen: „Beim Erhitzen des Kolbens mit Rotwein entsteht Dampf, der danach wieder zu einer brennbaren Flüssigkeit wird“.

Bezieht man sich hier auf den Kompetenzbereich „Kommunikation“ aus den NBS, so kann das generelle Ziel einer Sprachförderung im Unterricht mit dem Erlangen der

⁴⁸⁷ Kulturwerkzeuge zeichnen sich aus durch eine besonders ausgeprägte Omnipotenz ihrer Anwendbarkeit in Schule, Alltag und Wissenschaft

„Bildungssprache“ beschrieben werden (Feilke, 2016⁴⁸⁸) (Abb. E5). Nach Butler und Goschler (2019 lässt sich die Bildungssprache wie folgt charakterisieren: `emotionsfrei, objektiv, formgebunden, prägnant, präzise, komplex, fehlerintolerant`. Sie ist im Gegensatz zur „mündlichkeitsnahen“ Alltagssprache „schriftlichkeitsnah“.

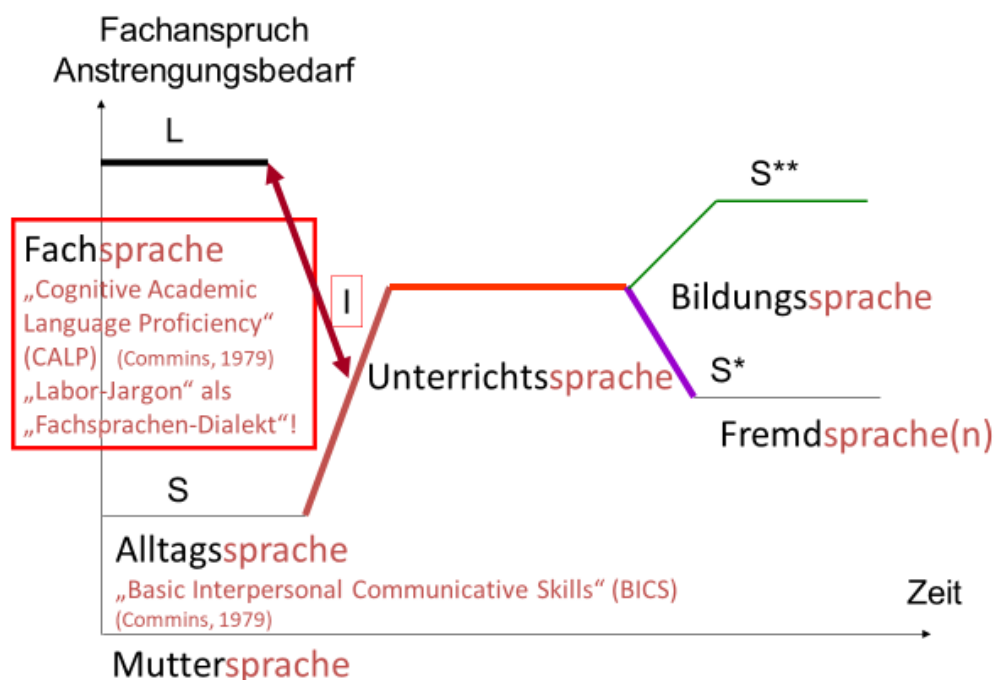


Abb. F1: Darstellung der vier Sprachbereiche, wie sie im Unterricht zielorientiert aufeinandertreffen bzw., integriert in das „Aktivierungs-Modell“ von Unterricht

Nach Feilke (2012) lassen sich Sprecherstrategien und Leistungsbeschreibungen der Bildungssprache in Beziehung setzen:

„Explizieren: Sachverhalte und ihre Zusammenhänge für den Leser möglichst nachvollziehbar, d.h. explizit darstellen und fokussieren

Verdichten: Sachverhalte, die expliziert und bekannt sind, sprachlich *ohne finites Verb* ausdrücken und in neue Aussagen integrieren

Verallgemeinern: Sachverhalte als abhängig von persönlichen, zeitlichen und lokalen Situationsbezügen darstellen und als allgemein gültig behaupten

Diskutieren: Sachverhalte als `Gegenstände` eines Fachdiskurses vorstellen und Behauptungen als hypothetisch, vorläufig und diskussionswürdig darstellen“ (S. 8-9).

Diese sprachlichen Neuorientierungen der SchülerInnen gelten über alle acht Ebenen (vgl. Abb. D7) hinweg. Hinzu kommt nun auch die Schwierigkeit, das nicht Beobachtbare in fachsprachliche Formen zu überführen. Der „qualitative Lernsprung“ (Lenz & Meretz, 1995) zwischen Ebene 4 und 5 gelingt unter der Voraussetzung, dass Bilder, hier „Interne Bilder“ als Modelle der nicht sichtbaren Wirklichkeit vorhanden sind und dem Denkprozess flexibel zum sprachlichen Ausdruck zur Verfügung stehen. Hierzu äußert Sigmund Freud die Befürchtung: „Je abstrakter wir denken, desto mehr vernachlässigen wir die Sachvorstellungen!“

⁴⁸⁸ Die Ausführungen beziehen sich auf einen Vortrag von Helmut Feilke zum Thema „Schulsprache, Bildungssprache & Fachsprache vom 11.1.2016 in der Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) in Dillingen

Dieser rein didaktischen Problemstellung ein besonderes Augenmerk zu widmen, ist auch deshalb sehr wichtig, weil die Flexibilität zwischen Induktion (Regelfindung) und Deduktion (Regelanwendung) innerhalb der Ebenenfolge eine Voraussetzung für Kreativität darstellt. Erst, wenn die SchülerInnen diese Zusammenhänge virtuos beherrschen, können sie Hypothesen bilden und kreativ werden.

Nach Vorgabe von Wohlmuth (2005) lässt sich diese Schrittfolge durch geeignete Darstellungen von Makro- und Mikro- bzw. Submikroskopie leicht und anschaulich unterstützen. So etwa beim Analogisieren von „Alltagswelt und Nanoworld“ (Abb. F2).

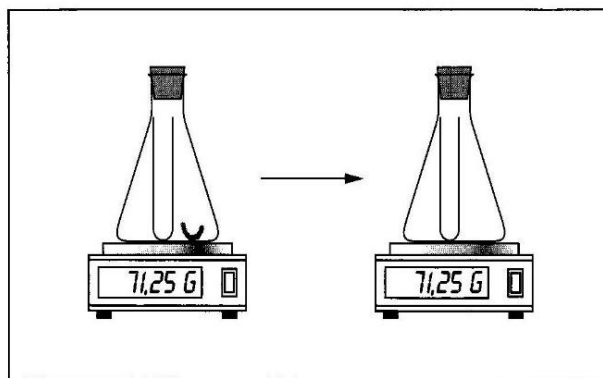


Abb. 1: Massenerhaltung

	Beschreibungsmöglichkeiten	Für jede Reaktion gilt:	
		Umwandlung	Erhaltung
Alltagswelt	Hydrogenchlorid in Wasser gelöst Wasserstoff Magnesium Magnesiumchlorid in Wasser gelöst	der Stoffe	der Masse
Nano-world	Hydrogenchlorid-Molekül Wasserstoff-Molekül Magnesiumatom im Metallgitter Magnesiumchlorid-Formeleinheit	der Stoffteilchen	der Atome
Symbole	$2 \text{HCl}_{(\text{aq})} + \text{Mg}_{(\text{s})} \longrightarrow \text{H}_{2(\text{g})} + \text{MgCl}_{2(\text{aq})}$ Mit aq (lateinisch: aqua = Wasser) wird angegeben, dass Stoffe oder Stoffteilchen in Wasser gelöst sind.	der Formeln	der Atom-symbole

Abb. 2: das analoge Bild

Abb. F2: Vergleich von Phänomenbeschreibung und submikroskopischer Deutung (Wohlmuth, 2005, S. 31)

Dass diese Form der Ebenenfolge und des qualitativen Lernsprungs tatsächlich zu den kognitiv aufwändigen, eben nicht einfachen und unkomplizierten didaktischen Vorgehensweisen gehört, zeigt sich auch vor dem Hintergrund einer historischen Betrachtung. So hatte der Philosoph Georg Wilhelm Friedrich Hegel (zit. nach Liessmann, 2014, S. 67) in `einem Gutachten vom 23.10.1812 für den Bayrischen Oberschulrat Immanuel Niethammer´ Bedenken geäußert gegenüber einer nicht `störungsfreien´ gedanklichen Begriffsentwicklung, wenn sie vom Phänomen ausgeht: „Verwirrend, zerstreud und anstrengend ist die Kontamination des Gedankens mit den vielfältigen Eindrücken der Sinnenwelt“ (Liessmann, 2014, S. 69).

Das sprachliche Durchlaufen der Ebenen in beiden Richtungen (top-down und bottom-up) ist demnach eine didaktische und mathetische Herausforderung, der sich Chemieunterricht im Besonderen zu stellen hat; denn „Eine der Konsequenzen der Lernbeschleunigung besteht darin, dass zum Zweck des möglichst schnellen Voranschreitens Lernprozesse ohne Rücksicht auf Verluste von der sinnlich-konkreten auf die unsinnlich-abstrakte Ebenen gepusht werden“ (Reheis, 2015, S. 35). Dabei wird häufig vergessen, dass etwa die „Mathematisierung dazu dient, etwas zu erkennen und nicht, um es schwieriger zu machen“ (Wolfgang Mastnak⁴⁸⁹ in einem Vortrag am 2.7.2015 beim 10. Bayerischen Chemiedidaktischen Forschungskolloquium auf Frauenchiemsee).

Im Vergleich zum Newcomer erfasst der Experte den Sachverhalt *kategorial*, d. h. er muss nicht alle Details erkennen, sondern es genügt ein Bruchteil, ein Ausschnitt, etwa in Form einer Bemerkung wie „Kupfer wird oxidiert“ und es erscheint die gesamte Kette von Reaktionsbedingungen und Bedingungs-begründungen, sodass schnelles Erfassen garantiert ist. Viele Lehrkräfte haben das Problembewusstsein hierfür nur unvollständig entwickelt, da sie aufgrund ihrer Expertisegenese für sich selbst `scheinbar´ keine Schwierigkeiten empfinden und demnach eher unbewusst solche auch bei den SchülerInnen nicht erwarten bzw. diese gewaltig unterschätzen bzw. zu wenig darauf eingestellt und so dann nicht handlungsbereit oder gar handlungsfähig sind.

⁴⁸⁹ Prof. Dr. phil. Dr. rer. nat. Dr. med. Wolfgang Mastnak, Präsident des Österreichischen Herzverbandes: „One of the 1000 world’s top thinkers and intellectuals of the 21st Century (American Biographical Institute); Vortrag: „ ... wenn Schule Lernen und Entwicklung stört. - Kognitive, motorische und somatische Belastungsfaktoren im Unterricht und deren pathogene Konsequenzen“

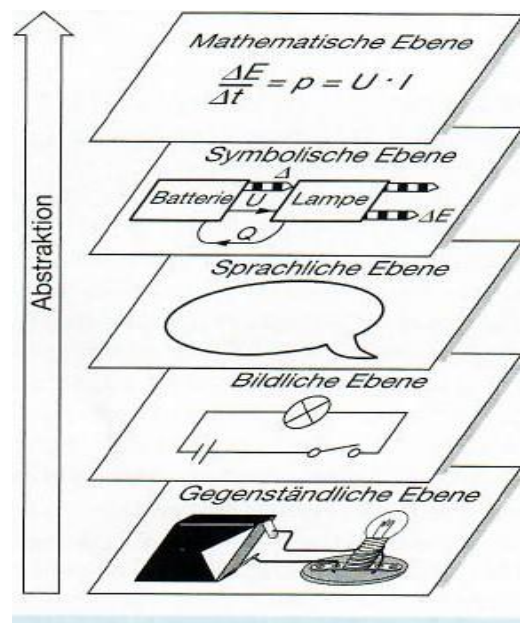
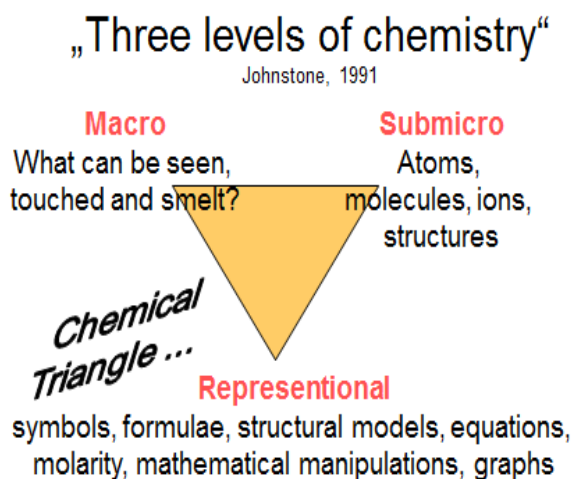


Abb. F3: Darstellung der drei Bereiche, auf denen sich Chemieverständnis manifestiert. Die Unterschiede zwischen einem Laien und z. B. einem/einer ChemikerIn liegen in der Systematisierung der Bereiche und in der Virtuosität des Wechsels (Abb. rechts: Leisen, 2003 in: Kulgemeyer & Schecker, 2009)

Hier handelt es sich um eine international verbreitete Problematik: „The primary barrier to understanding chemistry, however, is not the existence of the three levels of representing matter. It is that chemistry instruction occurs predominantly on the most abstract level, the symbolic level“ (Gabel, 1999) (Abb. F3)⁴⁹⁰. In dem berühmten „Chemical Triangle“ werden die Ebenen über eine Dreieckskonstruktion miteinander verbunden⁴⁹¹.

„It is psychological folly to introduce learners to ideas at all three levels simultaneously. Herein lays the origin of many misconceptions. The trained chemist can keep these three in balance, but not the learner“ (Johnstone, 2000).

Bunce & Gabel (2002) konnten zudem zeigen, dass die Unterweisung der Teilchennatur der Chemie („Particulate Nature of Chemistry“) dann zu ungenügenden Effekten führt, wenn man anstelle einer Repräsentation von Phänomen, Teilchenebene und Symbolik lediglich Phänomen und Symbolik verwendet. Dies wirkt sich bei Studentinnen deutlich negativer aus als bei männlichen Studierenden „When the data were analyzed for gender-group interactions, females who were taught the particulate representation scored as well as males whereas those who were not taught the particulate representation scored significantly lower than males“ (p. 911).

Mahaffy (2004, 2006) erweitert das Johnstone-Dreieck um den Bereich „Alltagswelt“ oder „menschliche Domäne“ (Schnitker, S. 393) (Abb. F4) und stellt damit eine

⁴⁹⁰ In dem berühmten „Chemical Triangle“ (Abb. E7.1) werden die Ebenen über eine Dreieckskonstruktion miteinander verbunden. Diese Darstellung liegt auch einer aktuellen Arbeit von Simone Nakoinz aus dem Arbeitsbereich Chemiedidaktik (Elke Sumfleth) der Universität Duisburg-Essen zugrunde, in der von Beginn an Abstraktion und Phänomen verknüpft werden sollen, was dem sukzessiven Hineinführen in die Abstraktion und der damit verbundenen Anlage zur Verknüpfung und evtl. einem konstruktivistischen Lernweg weniger entspricht.

⁴⁹¹ Gemäß dem Zitat von A. Einstein: „Es ist alles schon gedacht worden, man muss es nur wieder denken!“, findet sich bereits bei A. Lavoisier (1789) eine Aussage, die dieser Dreiecksdarstellung auf verblüffende Weise entspricht: „L'impossibilité d'isoler la nomenclature de la science & la science de la nomenclature, tient à ce que toute science physique est nécessairement formée de trois choses: la série des faits qui constituent la science; les idées qui les rappellent; les mots qui les expérimentent“

zusätzliche Verbindung her, nämlich die zur Anwendung, über die den SchülerInnen der Zugang zum Inhalt weiter erleichtert werden soll (Vgl. auch Friedrich et al., 2016).

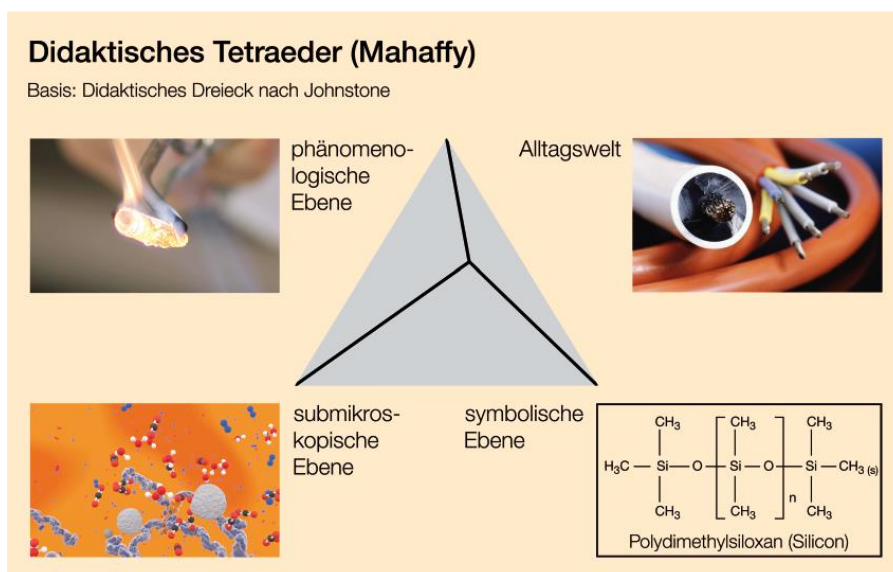


Abb. F4: Erweiterung des Johnstone-Dreiecks durch die Miteinbeziehung der "Alltagswelt", hier am Beispiel "Silicone" (Abb. aus Achenbach & Hock, 2020, S. 52)

Sumfleth et al. (2013) machen deutlich, „Die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern wird grundsätzlich durch die Sprachkompetenz beeinflusst“ (S. 35). Sie zeigen dies an vier Aufgabenformaten:

- Darstellen und Beschreiben (Stoffe und ihre Eigenschaften),
- Strukturieren und Präsentieren (Stoffgemische),
- Problemlösen verbalisieren (Trennverfahren) und
- Texte verfassen (Trennverfahren).

Eine weitere Variante zur Aktivierung und Erweiterung der Kommunikationskompetenz bietet sich mit der Methode „TABU-Gruppe“ an. Hier muss über einen Sachverhalt oder Gegenstand referiert werden, der a) nicht genannt werden darf und b) für dessen Umschreibung eine Reihe von Begriffen (ca. vier werden vorgegeben) nicht eingesetzt werden sollen. Ein solches Vorgehen zwingt zur Aktivierung neuer Argumentationswege und wird neben der Faktenkenntnisse begünstigt durch einen umfangreichen und ausdifferenzierten Wortschatz.

LehrerbildnerInnen wie auch LehrerInnen müssen sich zunehmend bewusster darüber werden, dass die Beschreibung chemischer Substanzen und Prozesse sowie Zusammenhänge und Regeln, insbesondere in deren Kurzformen („Laborjargon“) kein beiläufiges „Wörtermerken“ bedeutet, sondern vergleichbare Anforderungen stellt, wie das Erlernen einer neuen Sprache. Das wird überdies dadurch erschwert, dass es sich um keine Alltagssprache wie Englisch handelt, vielmehr um eine „tote Sprache“, die im Gegensatz etwa zu Latein, noch mit dem historischen Makel einer geheimnisumwitterten Symbolik alchemistischen Irrglaubens belastet ist. Auch aus diesem Grund muss mit den Begrifflichkeiten, mit den „Vokabeln“ (Chemische Symbole) und der „Grammatik“ (Reaktionsschemata) wesentlich behutsamer umgegangen werden als das bisher üblich ist. Diese Zusammenhänge finden auch Beachtung, wenn es darum geht, historische wie auch moderne, etwa Science-fiction-Texte für die Motivationsphase im Chemieunterricht einzusetzen (Sieve & Struckmeier, 2013).

Es sei ebenso hervorgehoben, dass die Vermittlung der Fachsprache im inklusiven Unterricht ein bedeutsames Mittel für die Einstellung egalisierender Bedingungen für das Lernen von Chemie in exponiert heterogenen Klassen darstellt. Markic und Abels (2013) beziehen dies auf zahlreiche Dimensionen der Diversität:

- `Gender,
- Kultur,
- Ethnizität,
- mentale Fähigkeiten,
- Rolle in der Gruppe,
- sozialer Hintergrund,
- physische Fähigkeiten
- sexuelle Orientierung´ (S. 10).

Um solchen Forderungen entsprechen zu können, bedarf es wiederum einer Reihe von Kenntnissen, etwa aus der Linguistik (*Sprachwissenschaft moderner Prägung*), die ebenfalls nicht zum bisherigen Standardrepertoire der Lehrkräfte (vornehmlich aus den Naturwissenschaften) gehören. Zu den inhaltlichen didaktischen Aufbereitungen (Didaktische Präparationen⁴⁹², vgl. auch Abb. A3.4) sowie zu den mathetischen Aufbereitungen, welche das Vorwissen der SchülerInnen und ihre Präkonzepte ins Visier der Stundenkonzeption nehmen, müssen nun auch die fachsprachsensiblen Behandlungen der schriftlichen und mündlichen Repräsentationen treten (Abb. F5).

Wie in Abb. E5, so bemisst sich der Aufwand einer erfolgreichen Anpassung an die konkrete Unterrichtsplanung aus den IST-SOLL-Differenzen L-S und S-I.

⁴⁹² „Vorgang und Ergebnis jener Veränderung, der ein Gegenstand im Hinblick auf seine Lehre unterworfen werden muß, damit er Schülern mit einem bestimmten Auffassungsniveau ohne Verfälschung verständlich gemacht werden kann“ (Kl. Lex. d. Päd. u. Did., 1976). → Didaktische Vereinfachung (Hering, 1958), Didaktische Reduktion (Elementarisierung) (Grüner, 1967, Weber, 1976; Hauptmeier, 1968); Didaktische Transformation (Reiners, 2000); Didaktische Rekonstruktion (Kattman, 1986)

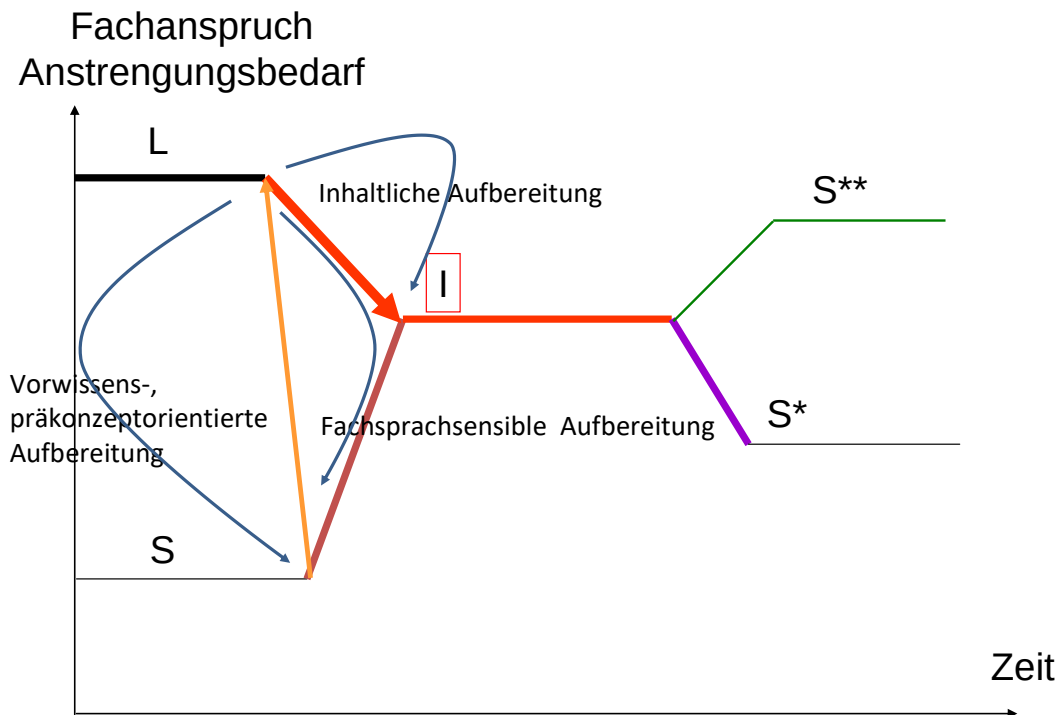


Abb. F5: Darstellung der drei Aufgabenbereiche im Zuge der Unterrichtsplanung, integriert in das „Aktivierungs-Modell“ von Unterricht

Um solche Aufgaben zielführend zu erfüllen, muss es zu einer Belebung der Zusammenarbeit von Natur- und Geisteswissenschaften⁴⁹³ kommen. Dies betrifft auch die klassische Forderung nach Pflege einer verbesserten Lesekompetenz nicht nur literarischer Texte, sondern eben auch von (natur)wissenschaftlichen Ausführungen. Der diesbezügliche Anspruch steigt an, wenn dabei zugleich textkritische Leistungen, abgeleitet aus dem Kompetenzbereich „Bewertung“ der NBS, eingefordert werden:

Die „Sprache der Chemie“ ist also nicht nur das Experiment und die mit dem Phänomen verursachten Empfindungen wie Staunen und Begeisterung (Tandetzke et al., 2013), sondern umfasst weit mehr.

Wie beim `normalen` Erlernen einer neuen Sprache, muss auch beim Erlernen von Fachsprachen, hier von „Chemisch“ unterschieden werden zwischen einem „unbewussten Spracherwerb“ und einem „bewussten Sprachlernen“ (Krashen, 1981; zit. nach Weinert, 1995). „Der Spracherwerb vollzieht sich im Rahmen sinnvoller, zielgerichteter Kommunikation in der Zweitsprache. Die dabei extrahierten Regeln bleiben unbewußt, können aber zur Verbesserung der eigenen Sprachproduktion nach ausreichender Praxis richtig genutzt werden. ... Im Unterschied dazu, besteht das bewusste intentionale Sprachlernen in der Internalisierung explizit formulierter Regeln. Dabei kommen der metakognitiven Überwachung und Kontrolle eine wichtige Funktion zu. Explizites Lernen ist im Wesentlichen nur durch diese beiden Prozesse möglich und

⁴⁹³ „Seit Wilhelm Dilthey (1895) Naturwissenschaften als erklärende und Geisteswissenschaften als verstehende Wissenschaften ausgewiesen (...) hat und Charles Percy Snow (1959) die von Dilthey skizzierte Trennlinie mit seiner Rede von Natur- und Geisteswissenschaften als zwei sich voneinander entfernende Kulturen noch einmal verschärft (...) hat, gerät die `Einheit der Wissenschaften` (...) zunehmend aus dem Blick“ (Frederking et al., 2013, S. 2).

darüber beeinflussbar. Das erfordert natürlich genügend Zeit zur Sprachverarbeitung; die Regel muß dem Lernenden bekannt sein oder bewusst gemacht werden; und die Aufmerksamkeit sollte sich wenigstens teilweise auf die Korrektheit der sprachlichen Form richten. Lehren und Lernen im Unterricht hätten also vorwiegend die Aufgabe, dieses metakognitive Überwachungs- und Kontrollsystem aufzubauen und zu fördern, vorausgesetzt selbstverständlich, dass genügend kommunikative Situationen verfügbar sind, in denen der unbewußte Spracherwerb erfolgt“ (Weinert, 1995, S. 114). Und es obliegt der Lehrkraft, diese zu erzeugen und einer expliziten Nutzung zuzuführen.

In diesem Zusammenhang mag es interessant und für den Chemieunterricht von unmittelbarer Bedeutung sein, dass in einer Untersuchung von Scherer & Wertheimer (1964; zit nach Weinert, 1995) an Studierenden das „Lernen von Vokabeln, das Einüben grammatikalischer Regeln, das Anfertigen von Übersetzungen usw.“ dazu geführt hat, dass die LernerInnen „beim Lesen, Schreiben und bei der Rückübersetzung in die Muttersprache überlegen“ waren, nicht aber beim Verstehen und Reden. Hierin und in der positiven Einstellung zur neuen Sprache brillierten die Studierenden, welche nach dem „audiolingualen Lernen“ unterrichtet worden waren, wobei „längere Zeit vorwiegend oder ausschließlich die zu lernende Sprache gehört und gesprochen wird“ (Weinert, 1995, S. 107-108). Was bedeuten diese Bedingungen für die Vermittlung der chemischen Fachsprache, vornehmlich im Anfangsunterricht?

Es ist zu empfehlen, nicht nur die Übergänge von der Phänomenebene zur Abstraktion kleinschrittig zu gestalten, sondern ebenso die Übergänge von den umgangssprachlichen Bezeichnungen chemiespezifischer Substanzen und Geräte (Kochsalz, Natron, Zucker, Stärke bzw. Destille, Mörser, etc.) zum wissenschaftlich exakten Namen (Natriumchlorid, Natriumcarbonat, Saccharose, Polysaccharid Amylose und Amylopektin bzw. Destillationsapparatur, Reibschale mit Pistill etc.) in kleinschrittiger und wiederholender Weise didaktisch zu organisieren (Markic & Abels, 2013). Dabei spielt es sicher auch eine Rolle, ob die Phänomene nur als Vorstellung aufgerufen oder konkret vor Augen gegeben werden⁴⁹⁴.

Wie auch an anderer Stelle erwähnt, kann hier die Einführung eines „Vokabelhefts“ wertvolle Dienste leisten und das Augenmerk der SchülerInnen auf einen bedeutsamen Bereich der Naturwissenschaft Chemie lenken, in dem es ebenfalls weitere Möglichkeiten für die so wichtigen Erfolgserlebnisse gibt. Wie in anderen Bereichen, in denen der Erkenntnisprozess kleinschrittig und explizit verlaufen soll, muss auch hier die metakognitive Kontrolle durch explizite, klare und eindeutige Hinweise und durch individuelles Feedback der Lehrkraft bewusst aktiviert werden (Markic & Bruns, 2013).

Aus dem PARU geht hervor, dass im Rahmen der Planung einzelner Chemiestunden (Stundenbild) man als LehrerIn gut beraten ist, die für die bewusste Stunde geplanten (vorauszusetzende und neu einzuführende) Begriffe aus der chemischen Retorte inkl. der gewünschten Assoziationen beim Schüler aufzulisten (Abb. F6).

Erfahrungsgemäß werden solche Listen zu den Fachinhalten ...

- Fachsystematik
- Fachsprache
- Fachmethodik
- Historische Entwicklungen

stets viel länger als von vorneherein vermutet. Beim Betrachten der Fülle an Begriffen wird man vielleicht etwas vorsichtiger mit den Voraussetzungen, die man so gerne in die Stunde mitbringen bzw. mitgebracht haben möchte. Das implizit Vorausgesetzte folgt

⁴⁹⁴ So heißt es bei Friedrich Nietzsche: „Wofür man vom Erlebnisse her keinen Zugang hat, dafür hat man kein Ohr“

meist dem Ausspruch „Das ist eh klar!“. Isabel Puchinger, eine Mitarbeiterin in der Chemiedidaktik formte hieraus den Slogan „Aus `Des is eh´ klar! ´ wird leicht ein Éclat!“. Aber es sind nicht nur die Fachausdrücke! Neben den Wörtern und Begriffen bilden die Sätze komplexe Erweiterungen des Sinnverstehens und des Erkennens von Zusammenhängen. „Ein Satz soll beim Leser eine mentale Repräsentation seines Inhalts erzeugen, i.d.R. mehrere Propositionen“ (*kleinste Beziehungseinheiten*: „Ich mag Chemie!“ = „Ich“ und „Chemie“ sind Argumente, „mag“ ist ein Prädikat; zusammen bilden sie eine Präposition).

Eine sorgfältige Unterweisung im Erlernen von „Chemisch“ führt nicht nur zu einer gesicherten Fähigkeit des Redens und Schreibens über das erlebte Phänomen und seine Interpretation der Ursachen. Sie hat auch zur Folge, dass gelesene Texte und geäußerte (Experten)Meinungen verstanden bzw. auf Verständlichkeit geprüft werden können. Zudem bieten sich hier Gesprächsanlässe an und befähigt dieses Können zur Kommunikation und somit zu neuen Erfolgserlebnissen. Dabei geben Kulgemeyer und Starauschek (2014) zu verstehen: „Lesen ist als Relation zwischen Leser und Text zu denken: Im Text ist Information kodiert. Die Textoberfläche muss beim Lesen zuerst wahrgenommen werden. Dann konstruiert der Leser `die Bedeutung´. Sowohl die Eigenschaften des Textes [Lesbarkeit] als auch die lesende Person beeinflussen somit die Verständlichkeit (Einfachheit; Gliederung, Ordnung; Kürze, Prägnanz; zusätzliche Stimulanz; vgl. S. 250). Allein durch Textoberflächenmerkmale, z. B. durch Wortwahl und Satzlänge, lässt sich die Verständlichkeit eines naturwissenschaftlichen Textes aber nicht erklären. Das Vorwissen des Lesers moderiert die Textverständlichkeit“ (S. 242). Durch die Gestaltung der Textoberfläche kann die kognitive Verarbeitung durch das Gehirn jedoch unterstützt werden. Dabei kann das „Information Processing Model“ von Johnstone (1996) zugrunde gelegt werden. Indem kurze Sätze mit wenigen Propositionen (vgl. chunks) gebildet werden, sie also eindeutig und schnell erfassbar erstellt und mit anderen kurzen Sätzen verbindbar sind (Textkohärenz⁴⁹⁵), umso weniger Gedächtnisinhalte aus dem LZG müssen für ein sicheres Verständnis abgerufen, umso weniger Kapazität des WM muss beansprucht werden, und umso schneller lassen sich Zusammenhänge und damit Verstehen herstellen⁴⁹⁶. Gerade beim Nutzen von Schulbüchern, hier Chemiebüchern muss dies alles besondere Berücksichtigung finden.

Kulgemeier und Starauschek entwickeln hierzu ein eigenes Raster zur Bewertung der Textoberflächenmerkmale, bestehend aus:

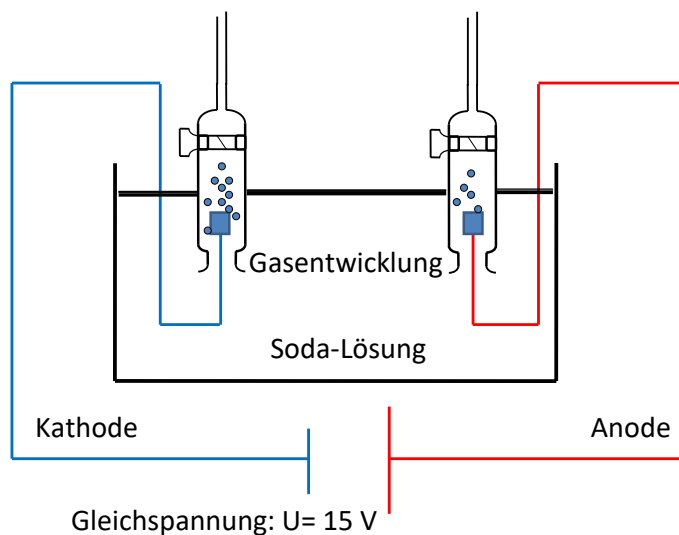
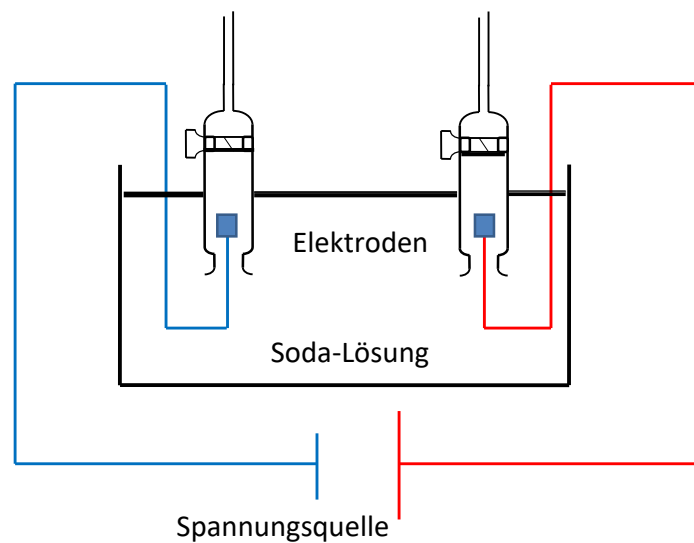
- mittlere Satzlänge s,
- mittlere Zahl der drei- und mehrsilbigen Wörter ms,
- Verständlichkeitsindikator K,
- Grad der lokalen substantivischen Textkohäsion Isk,
- Grad der globalen substantivischen Textkohäsion gsk,
- Anteil der Fachwörter fw,
- Anteil der einmal verwendeten Fachwörter fw₁ (S. 245).

Durch eine textbezogene und sehr kleinschrittig entwickelte Bebilderung lässt sich die Verständlichkeit unterstützen (Starauschek, 2006). Für die Chemie bedeutet das,

⁴⁹⁵ „In der Literatur ... findet man manchmal die Unterscheidung zwischen *Kohärenz* und *Kohäsion*, „... Kohärenz im engeren kognitionspsychologischen Sinne ist eine Eigenschaft einer mentalen Repräsentation und demzufolge beim Leser zu verorten. Kohäsion beschreibt den linguistisch sichtbaren Zusammenhang im Text“ (Kulgemeyer & Starauschek, 2014, S. 244)

⁴⁹⁶ Dies unterstützt die schnelle Auffassungsgabe, die zu raschen Statements und Antworten führen kann, was –wenn es zu schnellen Entscheidungen führt– auch richtiges Handeln schnell und ohne Umschweife begünstigt. Dies wiederum erkennen Psychologen (Australien) als Ursache für Charisma (SZ vom 4.12.2015, S. 16/Psychological Science)

dass die im Zuge der Versuchsbeschreibung angefertigte Skizze zum „Versuchsaufbau“ eben nicht ausschließlich die Ausgangssituation beschreiben soll, sondern auch die Endsituation. Ist das Experiment begleitet von Zwischenstufen bzw. von energetischen Phänomenen, die ausdrücklich beobachtbar oder messbar sind (Farben, Lichteffekten, Temperaturerhöhungen und –erniedrigungen, Gasentwicklung etc.), so sollten auch diese markanten Zwischenstufen skizziert und beschriftet werden. Dadurch wird spürbar erleichtert, den Versuch in seiner Prozessualität nachzuvollziehen und sich an die Phänomene besser erinnern zu können (Abb. F6). Außerdem führt diese Vorgehensweise erneut dazu, dass der Sachverhalt länger vor Augen und damit im Fokus der Denkarbeit verbleibt!



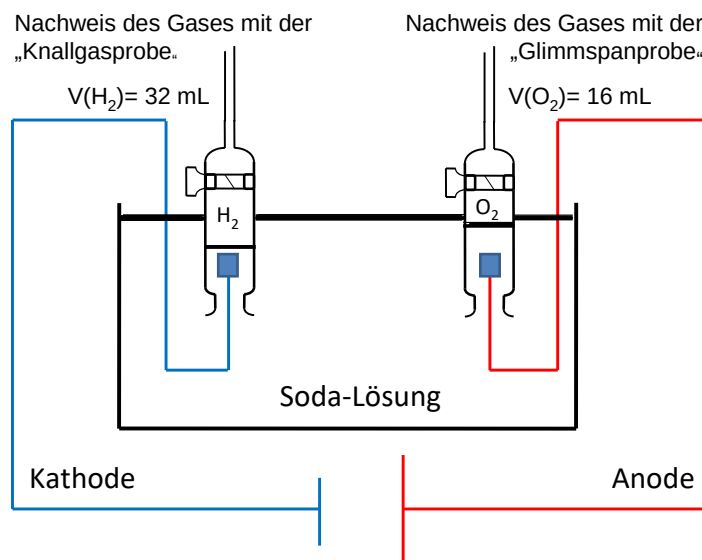


Abb. F6: Skizzenfolge zur „Wasser“elektrolyse im Microscale-Maßstab: Aufbau, Prozessbeschreibung, Produktnachweis. Es ist zu bedenken, dass keiner der oben eingefügten Textteile alltagssprachliche Bezüge aufweist!!!

Mit der genauen Beschreibung per Beschriftung werden zudem die Begriffe (Namen von Geräten und Chemikalien) aber auch die Verwendung von Adjektiven (etwa bei der Unterscheidung von Niederschlägen (sandig, flockig, käsigt, gallertartig etc.) geübt bzw. wird der Umfang des Wortschatzes vergrößert. Insbesondere für den Anfangsunterricht (Natur & Technik, Chemiebeginn in der Jgst. 8 (RS, GY), Naturwissenschaften in der MS und HSU in der GS) lassen sich hier die Unterrichtsziele einer differenzierten Ausdrucksweise bei Beschreibungen als Folge von genauen Beobachtungen sehr gut und fachübergreifend bedienen. Hierzu liegen aus der Deutschdidaktik, insbesondere der Didaktik des Deutschen als Zweitsprache (DDaZ) und der „Sprachbegleitung“ eine Fülle von Hilfen vor (Wortgeländer, Filmstreifen, Wortfelder, ungeordnete Sätze; Schreibpläne für Protokolle etc.), mit denen das Textverstehen (wie das Texterfassen), auch das von „diskontinuierlichen Texten (Text + Bild + Diagramm + Wertetabellen + Skizze) angebahnt und eingeübt werden kann (Röhner et al., 2013; Michalak, 2014; Michalak et al., 2015; Becker-Mrotzek, 2013; Leisen, 2013).

Eine besondere Herausforderung besteht in der inklusiven Unterrichtung von Chemie für solche SchülerInnen, denen ausgewiesene Sinneskanäle nicht zur Verfügung stehen. Dabei handelt es sich einesteils um Lerner mit einer Beeinträchtigung der Hörfähigkeit und anderenteils um solche, denen die Sehkraft nicht uneingeschränkt zur Verfügung steht.

Für die erste Gruppe (akustische Einschränkungen) lassen sich Ergänzungen aus der Zeichensprache fachsprachbezogen entwickeln (Schmitt-Sody & Kometz, 2013; Adesokan & Reiners, 2015).

Für die zweite Gruppe (visuelle Einschränkungen) können besondere Annäherungen an die Fachinhalte durch eine Erhöhung der Sensibilität im Temperaturempfinden, etwa bei der Annäherung an Wärmequellen vermittelt werden. Daneben gibt es mittlerweile sehr ausgereifte Messgeräte (Thermometer, Leitfähigkeitsmesser u. a.) mit Sprachanzeige oder akustischer Anzeige (Vgl. auch Bee & Jansen, 2018). Auch lassen sich spezielle Molekülmodelle einsetzen, bei denen unterschiedlich große Kugeln mit

wiederum unterschiedlichen Oberflächen(rauigkeiten) die Elemente identifizieren lassen (Abb. F7⁴⁹⁷). Weitere Beispiele hierfür liefert der Chemieunterricht an der Edith-Stein-Realschule (Private, staatlich anerkannte Realschule zur sonderpädagogischen Förderung; Förderschwerpunkt Sehen) in München-Unterschleißheim: <https://www.sbz.de/rs-chemie.html?&fs=2%2520class%253dl&style=normal>.

Selbstverständlich wird dieses Vorgehen grundsätzlich schwieriger und von der didaktischen, wie auch mathetischen Seite anspruchsvoller, wenn es zusätzlich um die Erläuterung von Modellen geht, seien es konkrete und handfeste Modelle (Gittermodell zum NaCl-Kristall) oder abstrakte modellgebundene Regeln (Oktett-Regel zum BOHRschen Energiestufen-Atommodell⁴⁹⁸).

Ethanol-Molekül-Modell

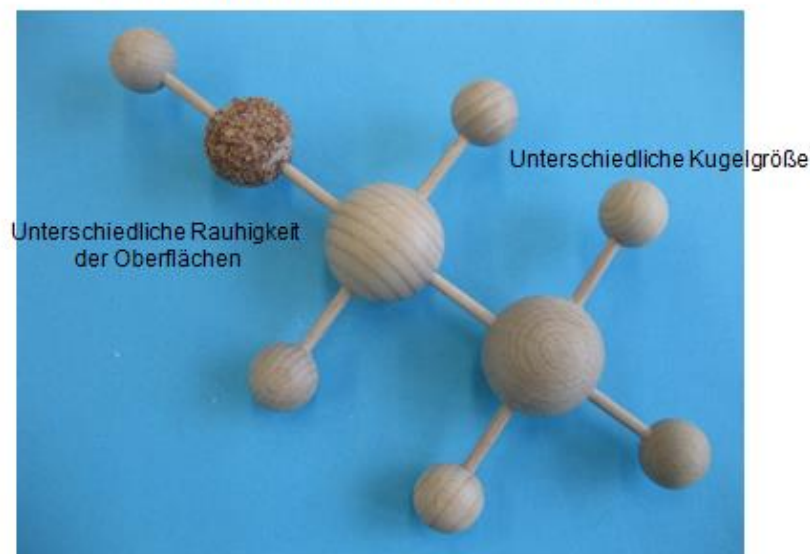


Abb. F7: Darstellung eines Holzmodells zum Molekül des Ethanols für sehbehinderte SchülerInnen

Im Internet („Ivors Geräusche“ unter „LearningApps“) lassen sich auch Beispiele finden für die (spielerische) Zuordnung von Geräuschen, die als typische Laborgeräusche gelten können: Gasentwicklung, Flammenrauschen beim Bunsenbrenner, Zerkleinern in einer Reibschale, Spritzen beim Eindampfen einer Sole usw. Hierzu werden kontinuierlich weitere erprobte Materialien als Podcasts zur Verfügung gestellt (Grassl, 2015, 2017 und „Münchner Zentrum für Lehrerbildung“, mzl der LMU).

⁴⁹⁷Zur selben Thematik wurde auch eine Seminararbeit erstellt von den LA-Studierenden Stephanie Grundner und Sandra Kutz (2010): Chemieunterricht an Blindenschulen – Chemie auch mal hören, riechen, ertasten und schmecken.

⁴⁹⁸ Gerade dieses Modell wird in seiner Benennung „Schalen-Modell“ intensiv diskutiert, insbesondere auch, weil die Frage nach der Lokalisierung der Elektronen auf oder zwischen den gezeichneten „Schalen“ bereits dazu führt, dass ein Vergleich mit dem Orbitalmodell ansteht: „Das Schalenmodell der Elektronenhülle stellt [...] sowohl eine gewisse Erweiterung des Bohrschen Atommodells als auch eine Vereinfachung des Orbitalmodells dar. Innerhalb einer Schale befinden sich die entsprechenden Orbitale, und jede nächste Schale umschließt die vorherigen Orbitale vollständig“ (Streller et al., 2019, S. 174).

F2 Problematik des offenen Unterrichtens⁴⁹⁹ von Chemie

Als eine institutionalisierte, zeitlich und räumlich organisierte, verbindliche, inhaltlich und methodisch unterschiedlich deutlich vorgegebene Instruktion ist Unterricht immer gerahmt und strukturiert. Ziel ist es, die LernerInnen sukzessive und konsequent in eine unterrichtsunabhängige Alltagswelt zu überführen, in der das Gelernte und lernstrategisch Erworbene in eigener Regie fortgeführt und weiterentwickelt werden kann.

Guter Unterricht macht sich überflüssig und gute LehrerInnen emanzipieren ihre SchülerInnen von sich selbst. Das wiederum heißt, dass LernerInnen fortschreitend dazu übergehen sollen, zur Beantwortung von Fragen bzw. zur Lösung von Problemen selbst etwas beizutragen, um am Ergebnis teilzunehmen⁵⁰⁰. Dieses Gleichgewicht wird immer wieder neu eingestellt, abhängig von Angebot und Interesse sowie von Anforderungsgrad und Fähigkeit. So wird es am Beginn einer fachlichen Instruktion eher so sein, dass von der Lehrkraft Vorgaben gemacht sowie Fakten vermittelt werden und fachlich konditioniertes Wissen generiert wird. Diese Bringleistung wird zunehmend von der Holleistung des Lernenden aktiv selbst in die Hand genommen. Diese Entwicklung führt idealerweise zu den unterschiedlichen Formen des sogenannten „offenen Unterrichtens“ (Abb. F8), dessen Ziel die Genese funktionellen Wissens ist, also solchen Wissens, das sich flexibel außerhalb der Lernsituationen gewinnbringend einsetzen lässt. Es stellt dann die Grundlage dar für die Ausformung von Kompetenzen zur Lösung alltagsrelevanter Probleme.

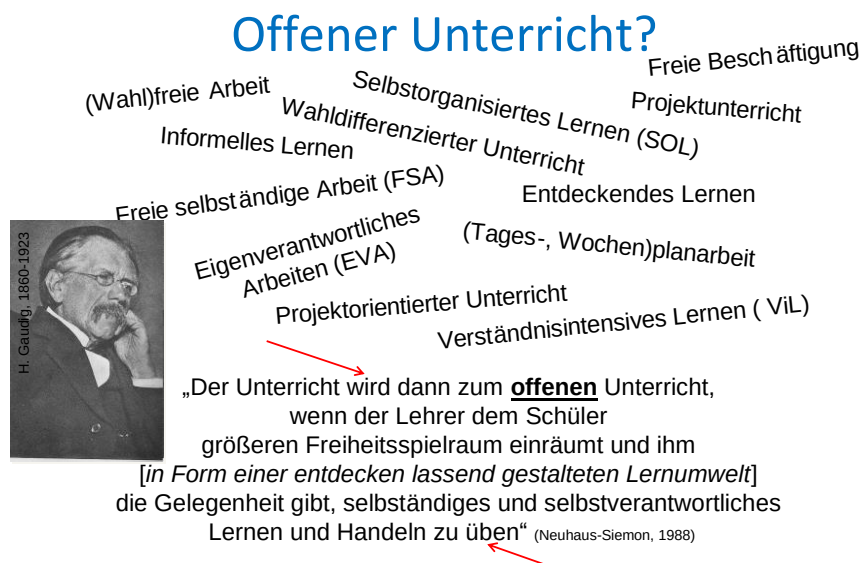


Abb. F8: Begriffssammlung und Definitionsversuch zu „Offenes Unterrichten“

⁴⁹⁹ „Der Begriff des „offenen Unterrichtens“ wird abgeleitet aus dem Bereich der englischen Primarschule („open school“, „open education“), die sich selbst so charakterisiert: „Children learn on their own but not without help“ (Haußer, 1980, S. 238). Jürgens (1995) analogisiert weiter und führt die Begriffe „informal education“, „informal learning“, „open classroom“, „progressiv education“, „open space-school“ und „integrated day plan“ an (S. 41).

Eine Gesamtübersicht zum Begriff „Offener Unterricht“ sowie eine ausführliche Tabelle zu den „empirisch ermittelten förderlichen Merkmalen für offenen Unterricht“ (S. 139) findet sich bei Bohl (2002)

⁵⁰⁰ Aus SchülerInnen-sicht muss gelten: „Man sollte nicht auf Selbstverwirklichung hoffen, sondern Hoffnung selbst verwirklichen“ (G. Uhlenbruck)

Voraussetzung ist eine sichere Einführung in fachliche Grundlagen, für die eine direkte Instruktion grundsätzlich als hilfreich und sinnvoll zu sehen ist. Die mit ihr einhergehende hohe Strukturierung erleichtert die Faktenordnung und die Ausbildung von Übersichts- und Orientierungswissen. Die Aufgaben des Arbeitsgedächtnisses (WM) werden leichter erfüllbar. Anders ist es bei wenig strukturierten und eher offenen Instruktionsverfahren. Hier sind die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis und an die Lernleistungen höher.

Das heißt wiederum, dass sich im ersten Fall die schlechter ausgerüsteten Lernenden leichter tun, im zweiten Fall würde man dem besser ausgerüsteten Lernenden interessante Herausforderungen anbieten (Stenner, 1997; Haim, 2013). Weniger gute SchülerInnen haben unter denselben Bedingungen eine gewisse Aussicht auf Erfolg, wenn sie sich bereits durch ein hohes Maß an Selbststeuerung auszeichnen (Weinert, 1982; Höke et al., 2012; Sander & Ferdinand, 2013, S. 75; Gudjons, 2011) bzw., wenn ihnen von LehrerInnenseite aus einem gewissen Grad an Mitbestimmung eingeräumt wird, sodass sie die Eigenleistung aus eigenem Interesse erbringen können und wollen (Hartinger, 2006).

Eine „unreflektierte Gleichsetzung von ‘offen’ und ‘gut’“, verbunden mit einer generellen Negation frontaler Unterrichtsarrangements“ wäre hier fatal (Haedayet, 1995, S. 320); denn „es gibt ... keine per se gute oder schlechte Unterrichtsmethode“ (Bohl, 2002, S. 140); denn: „Offene Aktivität ist ... nur lernförderlich, wenn sie auch mentale Aktivitäten befördert, ...“ (Renkl, 2011, S. 194).

Als einer der Väter des offenen Unterrichtens gilt der Pädagoge Hugo Gaudig (1860-1923). In einem seiner Vorträge (Dresden, 1911) betont er „Kein Hörsaal, sondern eine Werkstatt soll die Schulstube sein, eine Stätte, wo der Schüler sich Erkenntnis und Fertigkeit arbeitend erwirbt, nicht eine Stätte, wo ihm Wissen eingedrillt wird, wo man an ihm arbeitet, ihn ‘bearbeitet’; eine Stätte, wo er unter Anleitung des Meisters die Arbeitstechniken gewinnt, vor allem die Technik, mit (arbeitendem) Wissen neues Wissen zu erwerben“ (Stumpf, 2007; S. 110). Zu anderen „Ahnen der Reformpädagogik zählen Maria Montessori (1870-1952), Célestin Freinet (1896-1966), Peter Petersen (1884-1952) und Helen Parkhurst⁵⁰¹ (1887-1973). Sie alle trugen dazu bei, durch differenzierte Aufgaben (mit Selbstkontrolle), individuelle Zeiteinteilung, anregende Lernumgebung oder durch das Arbeiten in verschiedenen Sozialformen das Lernen lustvoller, kindgerechter und nachhaltiger zu machen“ (Werbowsky, 2004, S. 10). Viele klassische Vorurteile gegenüber diesen „Reformen“ haben sich in den vergangenen 30 Jahren gewandelt, sodass die guten Ideen auch in die traditionelle Schule Eingang finden.

Nach Boekaerts (1999, zit. aus Spörer & Brunstein, 2006, S. 148) „lässt sich selbstreguliertes Lernen⁵⁰² durch folgende Komponenten charakterisieren:

- a) kognitive Komponenten, die neben konzeptuellem und prozeduralem Wissen auch Wissen über aufgabenspezifische Strategien und deren Anwendungsbedingungen (konditionales Wissen) umfassen;
- b) motivationale Komponenten, die der Initiierung und Aufrechterhaltung von Lernaktivitäten dienen sowie Ergebnisbewertungen und Überzeugungen bezüglich der Wirksamkeit eigenen Lernens einschließen;

⁵⁰¹ H. Parkhurst ist auch Urheberin des „Dalton-Plans“, wonach Freiheit, Zielgerichtetheit, Beachtung der Individualität, Selbstverantwortung, Selbstprüfung und Sachgebundenheit als wesentliche Merkmale einer selbstkontrollierten Arbeitsplanung angeführt werden (Konrad & Traub, 1999, S. 18)

⁵⁰² Andere Bezeichnung: selbstgesteuertes Lernen“ („Segel“). Vgl. hierzu auch das Themenheft „Selbstreguliertes Lernen“ der Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 17 (2003) 3; 4

- c) metakognitive Komponenten, die neben dem Wissen über eigene Fähigkeiten und das individuelle Lernverhalten auch die Planung, Überwachung und Steuerung des eigenen Handelns hinsichtlich der angestrebten Lernziele beinhalten“.

Analoge Voraussetzungen können auch für das „entdeckende Lernen“ benannt werden (Riedel, 1973; Aepkers & Liebig, 2002; Neber, 2006a). Dieser Schritt in die Phase des „offenen Lernens“ gelingt jedoch nicht über die alleinige „Zurücknahme des Lehrers“ als Lerncoach, Lernbegleiter und Moderator, sondern –ganz im Gegenteil– durch Initiierung und -zumindest anfangs- durch sehr gewissenhafte Anleitung zur Denkarbeit, also zur reflexiven Begleitung von Handlungen, etwa bei Schülerübungen; denn „Lerngegenstände müssen in Handlungen übersetzt werden“ (zit. aus: Gudjons, 2008, S. 65). Diese „aktive mentale Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand ist entscheidend“ für die Lernförderung offener Aktivitäten (Beck et al., 1996; Renkl, 2011a). Sie führt unter besten Umständen zu „weniger Angst- und Versagensgefühlen und mehr Wohlbefinden durch selbstgestaltete Erfolgserlebnisse“ (Reindl & Binder, 2000, S. 10).

Reusser (2016) stellt in seiner „Konstruktivistischen Didaktik“ auf überzeugende Weise dar, wie sich die Verhaltensweisen von LehrerInnen und SchülerInnen unterscheiden, je nachdem, ob es sich

- a) um ein Lernen als Leistung des Lehrenden („Lehrperson als Aktivator und Personale Ressource“), die am Objekt vollzogen wird, handelt oder ob

- b) Lernen als Subjektleistung („Lehrperson als Lernbegleiter und Moderator“) verstanden wird.

Im ersten Fall kann von einem „epistemisch-konstruktivistischen“ und eher lernprozessorientierten, im zweiten Fall von einem „methodisch-konstruktivistischen“ und eher ergebnisorientierten Unterrichtsverständnis gesprochen werden, wobei einmal kognitive Höchstleistungen angestrebt werden (Effektstärke der Kognitionseffekte $d = 0.65$), zum anderen Lernfreude und Interessenentwicklung (Effektstärke der Kognitionseffekte $d = 0.14$) (Abb. F9). Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass die Lernfreude sich dann weniger verliert, wenn früh genug mehr fachliches Verständnis entstehen konnte (Höft & Bernholt, 2019).

Hinzu kommt als drittes Kriterium für ein lernwirksames offenes Lernarrangement, dass

- c) die mentale Aktivität auf die zentralen Konzepte und Prinzipien in einem Lernbereich fokussiert wird (Renkl, 2011b). „Aktives Tun“ des Lerners (z.B. Experimentieren) muss von „aktiver Informationsverarbeitung“ und von „fokussierter Informationsverarbeitung“ begleitet werden, wenn es wirklich effizient sein soll.

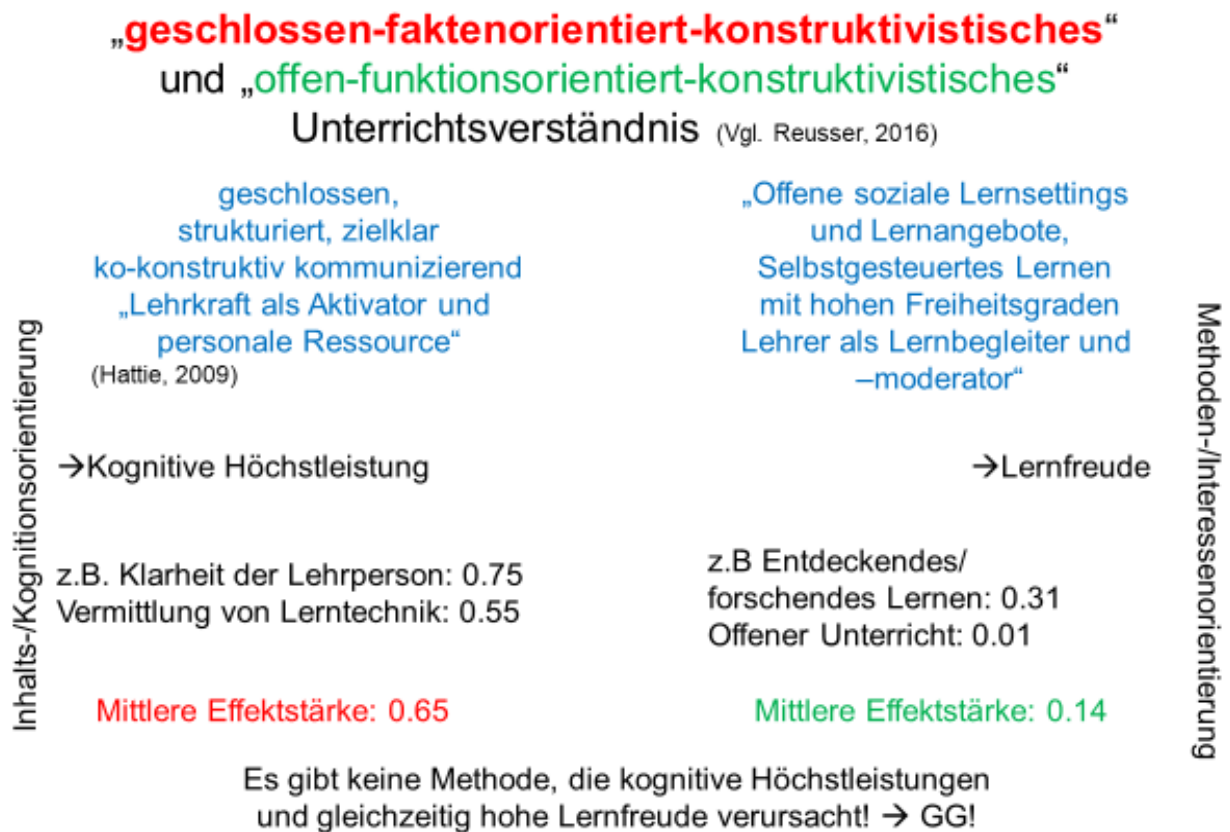


Abb. F9: Gegenüberstellung von zwei konstruktivistischen Lehrernformen (Reusser, 2016) im Zusammenhang mit den Effektstärken nach Hattie (2009). Hieran kann verdeutlicht werden, dass es sich in beiden Fällen nicht um alternative Formen einer Methodenpräferenz des Lehrenden handelt. Vielmehr muss in Abhängigkeit von Inhalt und Lernerinnenpotenzial zwischen den beiden Formen bedarfsgerecht 'elastisch'⁵⁰³ variiert werden (Gleichgewicht: GG).

Gerade die zweite (b) und dritte (c) Setzung erfordert aber von der Lehrperson eine sorgfältige Anleitung und didaktisches wie mathetisches Geschick. Hierzu benötigen besonders in einem Fach (hier: Chemie) noch unerfahrene SchülerInnen eine sehr deutliche und differenzierte Unterweisung, beispielsweise durch „Lernaufgaben“ (Renkl, 2014, Vogt & Meier, 2014 in Ralle et al., 2014). Keineswegs darf er in solchen Arbeitsphasen sich selbst überlassen werden! (Keller, 2000; Ropohl et al., 2015)⁵⁰⁴. „Ein ... Missverständnis besteht darin, ausschließlich selbstbestimmtes und –gesteuertes Lernen als dem Konstruktivismus angemessen zu betrachten. LehrerInnen können sehr wohl äußerst hilfreich anleiten, Richtungen weisen und Angebote machen. Hierbei gilt nach Knöll (2002), „daß der dominante Lehrende bei den Lernenden auf größere Akzeptanz stößt als derjenige Lehrende, der eher einen demokratischen Führungsstil pflegt. Die Einbeziehung der Lernenden erfordert neue Lerntechniken und stellt somit

⁵⁰³ Bei Winnefeld (1971) heißt es: „Eine 'elastische' Steuerung des pädagogischen Kontaktgeschehens setzt beim Lehrer die Fähigkeit zu rascher Reaktion auf alle Anreize voraus, die ihm von den Schülern zuströmen. Außerdem erfordert ein elastisches Reagieren Zusammenstimmen von Anreiz, jeweiliger Anforderung, die sich aus den Zielen des Unterrichts ergibt, und Steuerungsformen, zu denen der Lehrer greift“ (S. 138).

⁵⁰⁴ Eine organisatorische Hilfestellung findet sich bei Emig et al. (2007): Das „Dynamische Rotations-Expertensystem“ (DRES) hilft dabei, das Lernen an Stationen besonders effizient zu gestalten.

eine Herausforderung für den Lehrenden dar. Partizipation ist zudem nur in Grenzen ... möglich. Weil ausgelöste Erwartungen nicht eingehalten werden ... , führt eine falsch verstandene und unzulänglich gehandhabte Partizipation mittel- und langfristig zur Frustration bei den Lernenden. Dies hat zur Folge: Es bleibt nicht nur alles beim Alten, sondern die Lernenden stehen künftigen Partizipationsversuchen, wenn nicht ablehnend, so doch skeptisch gegenüber“ (S. 98). Entscheidend ist die Fähigkeit der Lehrperson zum (methodisch kontrollierten) Fremdverstehen und ihr Repertoire passender Interventionen – passend in Bezug auf die für die Lerner subjektiv verfügbaren Vorstellungsinventare. In diesem Sinne kann von konstruktivistischen Lernangeboten, Lernumgebungen und Lernkulturen gesprochen werden. Aber das bezieht sich weniger auf bestimmte Eigenschaften der Lernumwelt als vielmehr auf die Qualität der Passung“ (Gropengießer, 2003, S. 38). Dennoch muss berücksichtigt werden, dass „keine systematischen Zusammenhänge zwischen konstruktivistischen Überzeugungen über das Lernen von Schülerinnen und Schülern und konstruktivistischen Elementen im Unterricht“ nachweisbar sind (Seidel et al., 2008, S. 273).

„Öffnung in diesem Sinne hat vor allem mit Menschen, d.h. mit personenbezogener Offenheit zu tun. „Öffnung ist also auch von der Lehrperson aus, eine Bedingung für das offene Arbeiten der SchülerInnen. Zu ihr gehören die Offenheit gegenüber den Kindern/Schülern (Wahrnehmung und Berücksichtigung ihrer Lebensumstände und Interessen⁵⁰⁵), den Kolleginnen und Kollegen (insbesondere denjenigen gegenüber, die einen anderen Unterrichtsstil favorisieren) sowie sich selbst gegenüber (Reflexion des eigenen Berufshandelns“ (Haedayet, 1995, S. 318). In Anlehnung an Renkl (2011b) können die folgenden Kriterien für eine erfolgversprechende Hinführung zum offenen Lernen und dessen Optimierung aufgeführt werden:

- Initiierung von Handlungen durch Handlungsanstöße, etwa über sinnstiftende Handlungs- und somit Lernanlässe mit möglichst vielen Optionen für subjektive Erfolgserlebnisse (SST)
- Aktivierung der Informationsaufnahme und –verarbeitung als Gleichgewicht von Herausforderung und Unterstützung (Prüfungswissen vs. Lernangebot)
- Anweisungen zum Entdecken von prinzipiellen Zusammenhängen (Analogien) ausgewählter Fachinhalte
- Feedback zum jeweiligen Erfolgsgrad der Wissensgenese (Erfolgserlebnis und Erhöhung des Fähigkeitsselbstkonzepts: Fsk)

Der Weg in offene Unterrichtsformen ist also durchaus nicht unproblematisch, und zwar für SchülerInnen, die in die Selbstständigkeit ihrer eigenen Lernprozesse geführt werden und damit zunehmend ihre Mitbestimmungschancen wahrnehmen sollen (Morawietz, 1996; Sigel, 1999; Metzke & Steinhausen, 2001; Bohl, 2002) wie auch für die LehrerInnen, die neue Risiken hinsichtlich Improvisation, Ungewissheit des Unterrichtserfolgs und Verlust der Mittelpunktstellung aushalten müssen. Dies kann dann besonders folgenschwere Auswirkungen mit sich bringen, wenn der Perspektivenwechsel „von oben verordnet“ wird und traditionelle soziokulturelle Grundannahmen in Frage gestellt werden, wie es von Markic et al. (2015) in Untersuchungen an israelischen ChemielehrerInnen festgestellt werden konnte. Die Polarität in den Auffassungen zeigt die Tabelle F1.

⁵⁰⁵ „Ziel solcher Ansätze ist es, dem Lehrer einen Kommunikationsstil nahezulegen, der es dem Schüler ermöglicht, eigene Interessen und Gefühle zu äußern und in eine offene, reflektierende Kommunikation mit Mitschülern und Lehrern einzutreten“ (Müller, 1983, S. 148).

	Traditional beliefs		Modern beliefs
Beliefs about classroom organization	The classroom activities are mostly teacher-centred, directed, controlled and dominated by the teacher	↔ -2, -1, 0, 1, 2	Classes are dominated by student activity and students are (at least partially) able to choose and control their activities
Beliefs about teaching objectives	The science teaching more or less exclusively focuses on content learning	↔ -2, -1, 0, 1, 2	Learning of competencies, problem-solving or thinking in relevant contexts are the main focus of teaching
Epistemological beliefs	Learning is passive, overdirected and controlled by dissemination of knowledge	↔ -2, -1, 0, 1, 2	Learning is a constructivist, autonomous and self-directed activity

Tab. F1: „An overview of the scales from the qualitative part“ aus der Untersuchung von Markic & Eilks (2008) sowie Markic et al., (2015, S. 10): Gegenüberstellung von Grundvorstellungen zur Lernprozessessteuerung, zur Inhaltsorientierung und zur LernerInnenaktivität

Klaffke (2016) beschreibt 16 „Aufgaben der Lehrenden im selbstgesteuerten Lernen“ von „Vorbereitete Umgebung schaffen“ über „Lernende zur Reflexion ihres Arbeitsprozesses motivieren (Portfolio, Lerntagebuch, Logbuch)“ bis „Re-Teaching“, d.h., Fehlerhaftes, nur oberflächlich Erarbeitetes und Fehlendes zum Gegenstand des weiterführenden oder vertiefenden Unterrichts machen“ (S. 113). Dies gilt insbesondere auch dann, wenn Experimente als Hausaufgaben gestellt werden (Kratz, 2002) oder direkt als „Heimexperimente“ ausgewiesen werden (de Vries et al, 2006).

Bei Rheinberg und Fries (1998) findet sich eine Reihe von „Quellen positiver und negativer Tätigkeitsanreize beim selbstgesteuerten Lernen“:

„Quellen positiver Tätigkeitsanreize:

- Während des Lernens entsteht eine glatte sinnvolle Struktur aus vorher unverbundenen Einzelementen (‘Zusammenhänge sehen/Verstehen macht Spaß’).
- Der Lerner merkt, wie er eine Sache immer besser beherrscht, Ausführungen immer glatter verlaufen und einfacher werden.
- Die Verbesserungen kommen sehr schnell, sind deutlich erkennbar und ohne Mühe.
- Die Lernsituation paßt zur Motivstruktur des Lerners (z.B. Lernen zusammen mit anderen bei anschlußmotiviertem Lernen).
- Der Lerner ist froh, an einer Sache bzw. mit Gegenständen arbeiten zu können, die er wertschätzt und für wichtig hält (Interessenpassung).
- Der benutzte Lehrtext ist abwechslungsreich, hat viele Beispiele, ist gut strukturiert und leicht lesbar (‘Lesen macht Spaß’).

Quellen negativer Tätigkeitsanreize:

- Einzelemente/Fakten lassen sich nicht aufeinander beziehen und müssen auswendig gelernt werden.
- Man sieht einfach keine Verbesserung.
- Der Lernprozess wird ständig unterbrochen, weil man immer wieder auf unbekannte Begriffe oder Formeln stößt, die woanders nachgeschlagen und zwischendrin gelernt werden müssen.

- Versagens- und Hilflosigkeitsgedanken drängen sich in den Lernprozeß, wenn man etwas nicht verstehen oder behalten kann.
- Inhalte sind langweilig, bieten nichts Neues, haben keine Beziehung zum 'richtigen Leben'.
- Lernmaterial (z.B. Lehrbuch) ist unzusammenhängend, langweilig oder schwer verständlich. (Besondere Probleme bei fremdsprachlichen Lehr- und Sachtexten.)“ (S. 176).

Pieper und Wöhlk (1993) schlagen eine schrittweise Annäherung an offenen Unterricht vor. Sie unterscheiden dabei vier Ebenen (konventionelle, beginnende Öffnung, verstärkte Öffnung und ideale Ebene) und vier „Schienen“ (fächerbezogene, methodische, alltagsbezogene und themenbezogene) (Tab. F2). Im dortigen Anhang finden sich zwei Übersichten zum sukzessiven Übergang von „direkter Unterweisung“ und „offenem Unterrichten“. Dabei ist wichtig, dass keine Form per se die bessere ist sowie, dass die Übergänge in beiden Richtungen erfolgen müssen und die Kunst der Lehrperson darin besteht, die jeweilige Zwischenlage schülerInnen- und inhaltsgerecht einzustellen.

Ebene/Schiene	fächerbezogen	methodisch	alltagsbezogen	themenbezogen
Konventionelle Ebene	<i>Herkömmlicher Unterricht !!!</i>			
Beginnende Öffnung	Einzelne fächerübergreifende Bezüge	Offene Phasen im Rahmen von Einzelstunden	Verstärktes Herstellen von Alltagsbezügen	Einbeziehung von neuen Themen nach SuS-Wünschen
Verstärkte Öffnung	Zusammenarbeit verschiedener Fächer in sinnvollem Rahmen	Über mehrere Tage laufende Phasen selbst-gesteuerten Lernens	Arbeit mit und an Material aus Anwendungsbereichen des täglichen Berufslebens	Breites Themenspektrum über Lehrplan und Schulbuch hinaus
Ideale Ebene	Offener Unterricht			

Tab. F2: Schema der Schritte für die Annäherung an offenen Unterricht nach Piper & Wöhlk, 1993, S. 27, verändert

An anderer Stelle (2 Extraseiten im Anhang) findet sich ein Überblick zu den Beziehungen zwischen der „direkten Unterweisung“ (eher didaktisch, inhaltsbezogene Ausrichtung) und dem „offenen Unterrichten“ (eher mathetische, methodenbezogene Ausrichtung) sowie zwischen lehrerInnen- und schülerInnenzentrierter Methodik.

Für beide, LehrerIn und SchülerIn, geht es darum, „die unterrichtliche Struktur so zu verändern, daß ein zunehmend größeres Ausmaß an Selbständigkeit und Mitbestimmung möglich wird“ (Wagner, 1976, S. 19). „Der Unterricht wird dann zum offenen Unterricht, wenn der Lehrer dem Schüler größeren Freiheitsspielraum einräumt und ihm [*in Form einer entdecken lassend gestalteten Lernumwelt; d. Verf.*] die Gelegenheit gibt, selbständiges und selbstverantwortliches Lernen und Handeln zu üben“ (Neuhaus-Siemon, 1988).

„Offener Unterricht und Projektunterricht sind übrigens nur dann effektiver als herkömmlicher Lehrgangsunterricht, wenn sie gut gemacht werden; wenn sie schlecht gemacht werden und der Lehrer nicht hochengagiert und mit einem völlig anderen Führungsstil von diesen zeitgemäßen Methoden überzeugt ist, sind sie dem frontalen lehrerzentrierten und wissensvermittelnden Stundengeben unterlegen“ (Struck, 1996, S. 182). Zudem bedarf es auch beim Schüler und der Schülerin einer grundlegenden positiven und auch risikobewussten Einstellung gegenüber der Fähigkeit, den eigenen Lernprozess selbst zu steuern, eigenverantwortlich in die Hand zu nehmen (Bauer, 2015)

und die dabei auftretenden emotionalen Lerneffekte zu genießen (Astleitner, 1999; Roeder, 2002). Urban-Woldron (2005) beschreibt hierzu ein Beispiel der reflexiven Tagebuchführung bei der Versuchsnachbereitung im Physikunterricht.

Vielleicht verändert es die kritische Sichtweise etwas, wenn man mehr davon spricht, dass die SchülerInnen zur Zielerreichung des Unterrichts „beitragen“ (*bei-tragen!*) und „teilnehmen“ (*teil-nehmen!*) können (Vgl. Heimlich, 2017, S. 7) und nicht nur irgendwie „selbsttätig“ sein sollen! Mit dem Wort „beitragen“ verdeutlicht sich die Konvergenz des Lehrlernprozesses und damit auch der Begriff der „Co-Konstruktion“ (Reusser, 2016). Die Untersuchungen von Fendt (2018) zeigen eindrucksvoll, unter welchen differenzierten Voraussetzungen (vgl. dort: S. 192), vor allem unter betont konstruktiver Einbeziehung der von LehrerInnen und LernerInnen mitgebrachten Vorvorstellungen, die Eigenleistungen der SchülerInnen beim Verstehen chemischer Sachverhalte sukzessive entwickelt werden müssen und können. Nach Risse (1999) handelt es sich beim offenen Lernen weniger um die Genese als um die `Sicherung von Wissensbeständen`. Nach Ramseger (1977) werden drei Kategorien von „Offenheit“ unterschieden (Vgl. auch Wallrabenstein, 1994; Konrad & Traub, 1999):

- Inhaltlich (Inhalte aus der Erfahrungswelt der SuS, Problembearbeitung mit arbeitsteiligen und mit gleichwertigen Lösungsmöglichkeiten),
- methodisch (unterschiedliche Lern- und Organisationsformen) (Bönsch, 1996) und
- institutionell (Einbezug von außerschulischen Lernangeboten, Personen und Institutionen, L und S mit mehr Eigenverantwortlichkeit) (Haas & Pielmeier, 1999; Anton, 2010a; Puchinger & Anton, 2016).

Häufig wird völlig übersehen, dass der „herkömmliche“ oder „traditionelle“ Unterricht keine Alternative zum offenen Unterrichtsformat ist, welche überwunden werden müsste, um einen innovativen oder modernen Unterricht zu halten. Vielmehr handelt es sich um ein Gleichgewicht, welches am Beginn des Fachunterrichts zunächst auf der Seite des `klassischen Unterrichts` liegt und zunehmend mathetisch orientiert werden muss (Abb. F10). In jedem Fall geht es um eine Verbindung beider Prozesse. Schumacher (2009) zeigt die Gefahr auf: „Der Transfer [vom Lernen zur Wissensanwendung] bleibt aus, weil die Gemeinsamkeiten der Lern- und Anwendungssituation nicht gesehen werden“ (S. 883).



Abb. F10: Für die Planung des ausgewogenen Verhältnisses zwischen geschlossener und offener Unterrichtsform gelten explizit unterschiedliche Denkrichtungen. Einmal geht es um die Planung des Unterrichtsprozesses per se, zum anderen ist das Ziel, einen Rahmen zu schaffen, innerhalb dessen nicht vorplanbare Prozesse zugelassen und gefördert werden können. Die Arbeit der Lehrperson bleibt gleich, verfolgt jedoch eine jeweils andere Risikobeschreibung

Eine empfehlenswerte Übergangsgestaltung besteht beispielsweise in der Durchführung des „wahldifferenzierten Unterrichts“ in einem „Drei-Phasen-Modell“ (Woest, 1996):

- Phase 1 Fundamentum (Themeneinstieg, Übersicht, Schwerpunkte, Wahlphase),
- Phase 2 Freies Arbeiten (Strukturierung, Planung, Produkterstellung),
- Phase 3 Zusammenfassung (Produktvorstellung, Systematisierung, Vertiefung) (S. 28).

Langsam und bedächtig wird hieraus auch(!) eine Anwendung des erworbenen Wissens. Diese Entwicklung entspricht der viel beschworenen Kompetenzorientierung und damit der Realisierung der Kompetenzbereiche der Nationalen Bildungsstandards (NBS). In der folgenden Abb. F11 wird dies schematisch verdeutlicht.

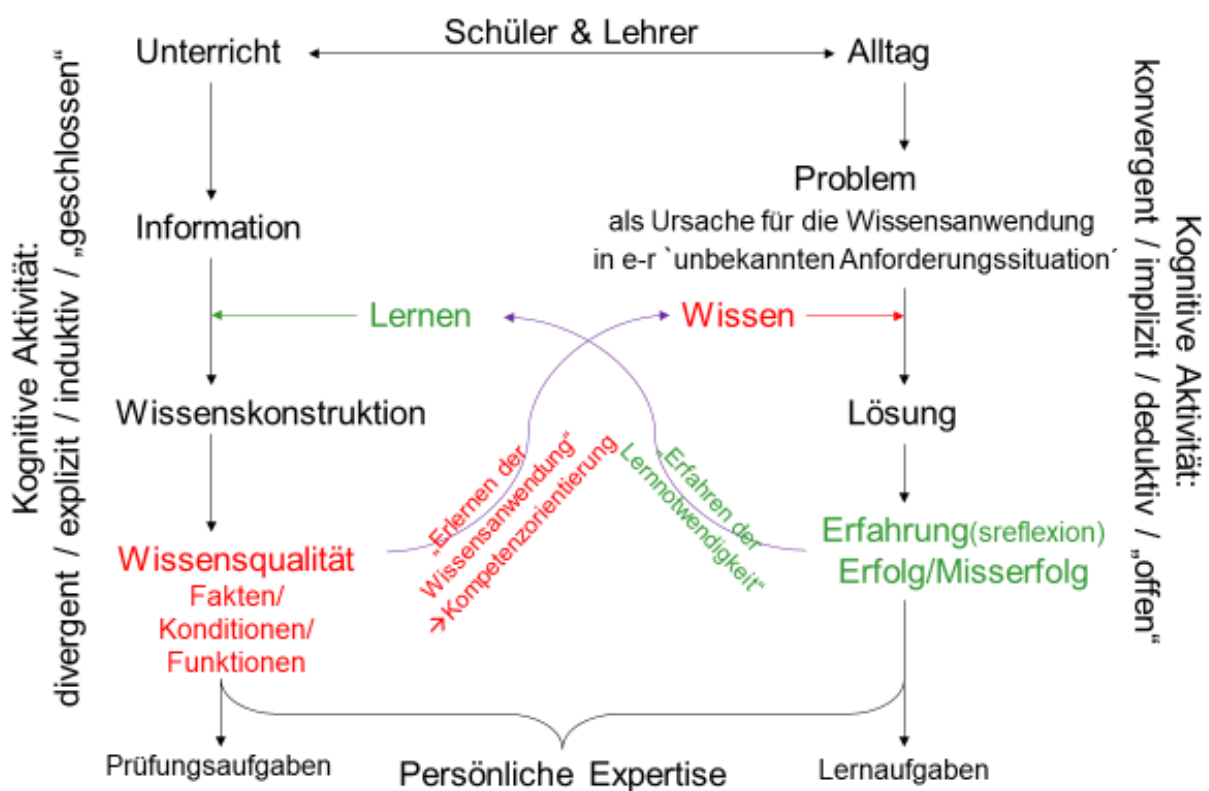


Abb. F11: Schematisierung des *eigentlich entscheidenden* Zusammenspiels von Wissensgenese und Wissensanwendung. Hieraus erwächst eine Art „Achterschlinge“, die sich ergibt, a) aus der Erkenntnis, nicht alles nötige Wissen verfügbar zu haben und es nachträglich erwerben zu müssen (grün, von rechts nach links) und b) den Nutzen des vorhandenen Wissens erfolgreich erleben zu können (rot, von links nach rechts).

Aus diesem wechselseitigen Nutzen, Anwenden und Auffüllen entsteht eine Emanzipation der Lernenden von der schulorganisatorisch vorgegebenen Unterrichtsstruktur, hin zur freien Bildungsarbeit an sich selbst. Die Schule, das Fach Chemie kann dies vorbereiten, indem es diesen Wechsel sukzessive anbahnt und der linken Seite immer mehr die rechte zuordnet. Das bedeutet, dass die didaktische Arbeit der Lehrkraft immer mehr durch die mathetische Eigenleistung der Schülerinnen ersetzt werden kann. Diese Gleichgewichtsverschiebung gipfelt letztlich darin, dass

„Präsenzunterricht“⁵⁰⁶ nicht mehr erforderlich ist, d.h. die Schule nicht mehr aufgesucht werden muss. Das Motto könnte hier lauten: Guter schulischer (Chemie)Unterricht ist dann gegeben, wenn er sich fortschreitend überflüssig macht.

Das obige Schema unterscheidet zunächst den traditionellen Lehr-Lern-Prozess als Informationsangebot und –verarbeitung inklusive einer Überprüfung der Wissensqualitäten⁵⁰⁷ (Vgl. Modell des „vollständigen Wissens“, Neber, 1993) (links) von einer nicht ausschließlich fachbezogenen und daher eher problemorientierten Anwendung des generierten Wissens (rechts). Dabei handelt es sich um eine sehr anspruchsvolle Vitalisierung & Nutzung vernetzter Wissensbestandteile um Problemsituationen zu meistern und über die Lösung auch zu einem Erfolgserlebnis gelangen zu können. Bei ausgeprägter Erfahrung und/oder geringerer Problemschwierigkeit im schulischen Umfeld kann auch von rechts begonnen werden. Das entspräche dann entfernt dem „Flipped Classroom-Effekt“: Zuhause Problemlösung (allein oder in kleiner Gruppe) erarbeiten und diese im Unterricht zur Diskussion stellen. „Offener Unterricht“ manifestiert sich in anspruchsvoller Gruppenarbeit (z. B. auch im „wechselseitigen Lehren und Lernen“: WELL (Hepting, 2008), Expertenpuzzle in Dyaden und größeren Gruppierungen, Lerntempoduett, Strukturierte Kontroverse), in Projekten und projektorientiertem Unterrichten sowie beim problembasierten Lernen in Einzelarbeit.

Davon unterschieden werden muss die sogenannte Delegation von LehrerInnenhandlungen (Lehrakte) an SchülerInnen im Sinne einer zeitlichen Ausschnittbildung, in der SchülerInnen in die Informationsaufbereitung integriert werden. Solche Maßnahmen können relativ spontan eingesetzt werden, lassen sich auch ausführlicher planen, können jedoch jederzeit von der Lehrkraft übernommen werden. Es muss betont werden, dass die Grenze zwischen beiden Phasen fließend ist. Der Weg zwischen direkter Instruktion und „progressiv education“ ist keine Einbahnstraße, vielmehr eine „8er-Schlinge“, die immer wieder angebahnt, geübt und letztlich routinisiert werden muss, damit einerseits Wissensbestände erzeugt, aktualisiert und andererseits gewinnbringend angewendet werden können (Abb. E15). Eine solche „Synthese schüler- und lehrerzentrierter Unterrichtsphasen“ bezeichnet Fournés (1995) als „Komplementäre Didaktik“ (S. 107). Dabei werden drei graduelle Unterscheidungen getroffen: `geschlossen-offen` oder `offen-geschlossen`, dann geschlossen – offen – geschlossen` oder `offen – geschlossen – offen` und `zunehmend offen mit abnehmend geschlossen`. In allen Fällen soll die `Selbsttätigkeit der Kinder zur Selbstständigkeit` führen. Sie sollen also beobachten und verstehen und nicht warten, bis sie beobachtet und verstanden haben! Dass hier die Bedeutung der so genannten „Lernaufgaben“ mit zum Tragen

⁵⁰⁶ Hieraus entsteht auf einem ganz anderen, jedoch nicht minderwichtigen Gebiet, eine wichtige Diskussion bezüglich der Notwendigkeit einer Anwesenheit von Führerscheinanwärtern beim Theorieunterricht in der Fahrschule. Diese Tendenz, wonach der Fahrschüler sich den Theorieteil seiner Prüfung gänzlich selbsttätig aneignen soll (fallweise mit Hilfe des „blended learnings“) wird von den Sachverständigen mit Nachdruck in Frage gestellt: „Es geht in der Fahrausbildung unter erziehungswissenschaftlichem Anspruch um eine am ganzen Menschen orientierte Ausbildung mit der ausdrücklichen Betonung auf Bildung. Mit einer Entpflichtung der FahrschülerInnen von einer persönlichen Präsenz am Theorieunterricht ginge dann eine Entwertung bisheriger bildnerischer Anteile der Fahrausbildung einher, also jener Bestandteile von Bildung, für die eine verantwortungsbewusste Mitwirkung am Straßenverkehr erforderlich ist: Die Befähigung zum Perspektivenwechsel und zur Selbstkritik. Zudem würde dies aus Sicht der Autoren auch zu einer Entpersonalisierung des Theorieunterrichts führen und damit einer pädagogischen Ausdünnung von LehrLernverhältnissen Vorschub leisten können“ (Fell & Weißmann, 2015), S. 147).

⁵⁰⁷ Zum Thema „Qualität von Prüfungs- und Lernaufgaben“ vgl. Stäudel, 2004 und Bambach et al., 1996: Themenhaft des Friedrich-Verlags „Prüfen und Beurteilen“ sowie Graf, 2000

kommt, ist ein wichtiger Begleiteffekt dieser Übersicht. Hierzu liefert Müller (2014) eine Reihe von acht Qualitätsmerkmalen⁵⁰⁸.

Ein unverzichtbares Begleitinstrument für die Anleitung der SchülerInnen zum offenen Lernen ist das „Beobachten“, auch oft als „Das Lesen-Können des Schülers“ bezeichnet. Im Zuge der Förderdiagnostik unterscheidet Mathes (2000) zwei Beobachtungsrichtungen. „Zunächst kann die motivational-emotionale, bedürfnisabhängige Seite von der Realisierungs- oder Ausführungsseite unterschieden werden“ (S. 18). Damit lassen sich Veränderungen von Handlungszielen (Abb. F13 links) von der Regelung der Zielrealisierung (Abb. F12 rechts) trennen.

Wirkfaktoren beim (offenen) Lernen

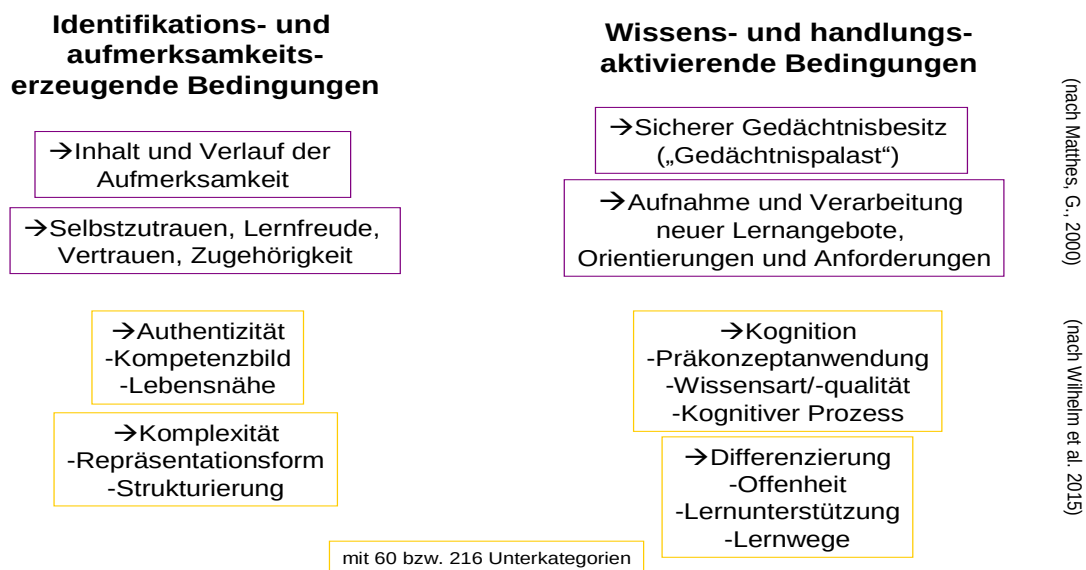


Abb. F12: Gegenüberstellung der Wirkfaktoren, wie sie sich aus den Beobachtungsrichtungen der Förderdiagnostik ergeben (vgl. Mathes, 2000) und wie sie aus dem Kategoriensystem von Wilhelm et al. (2015) herleitbar sind

Auf diese Weise (Beobachtungsrichtungen) wird der Förderer zum Interaktionspartner und die Förderung gelingt nicht ausschließlich durch „Therapie“ auf der Basis von Orientierungen an den Defiziten der Lernenden; vielmehr wird sie ökosystemisch und hypothesengeleitet in ein ganzheitliches, also auch potenzialorientiertes Förderprogramm integriert (Werning & Lies, 2000). Ein sehr überzeugendes Beispiel für eine methodische Realisierung solcher theoretischen

⁵⁰⁸ „Gute Lernaufgaben

- thematisieren das Wesentliche eines Fachbereichs und ermöglichen den Aufbau von fachspezifischem Wissen
- sind in sinnstiftende Kontexte eingebunden, haben einen hohen Alltagsbezug und wecken die Neugier
- ermöglichen und fördern die selbstständige Konstruktion und Anwendung von Wissen
- motivieren dazu, sich auf einen Lerninhalt einzulassen und laden ein, vertieft zu verstehen
- erlauben Problemlöse- und Lernstrategien zu trainieren
- lassen sich auf unterschiedlichen Niveaus lösen und eignen sich daher für schwächere und starke Schüler
- erlauben vielfältige Zugänge, Denk- und Lernwege
- schaffen die Voraussetzung, Lernerfolg durch erfolgreiches Bearbeiten zu erleben“ (S. 122).

Konsequenzen liefern Schanze und Busse (2015). Mit der „Peer-Interaction“ zeigen sie sehr pragmatisch auf, wie man die Umsetzung des offenen Lernens in der Praxis leisten kann: „Kollaboratives Peer-Interaction Setting“:

- Jeder S. löst eine Aufgabe (multiple-select-Aufgabe mit x Distraktoren und konkretem Begründungsauftrag). Die L. sieht diese Lösung nicht ein.
- In Kleingruppen (2-4 S.) stellt jeder S. seine Lösung vor, begründet sie. Gruppe einigt sich auf eine gemeinsam getragene Lösung und stellt diese allen vor (im Gegensatz zu: Think-Pair-Share).

Eine interessante Form, das Können und Verstehen der SuS hinsichtlich des Generierens von Überblick und Orientierung vertiefend anwenden zu lassen, stellt das „Dictogloss“ dar (Pietsch, 2017). Darunter versteht man die Rekonstruktion eines vorgelesenen Textes, eines Textes im Schulbuch oder aber auch das Erinnern ähnlicher, vergleichbarer Phänomene oder Beschreibungen (von Experimenten) etc. Die dabei gemachten Notizen (Einzel- oder Gruppenarbeit) werden diskutiert und anschließend etwa in Form von Strukturdiagrammen o.ä. dargestellt. Bei Pietsch wird als Beispiel ein Text zu den Bindungstypen anhand eines Strukturdiagramms übersichtlich gemacht (S. 12)⁵⁰⁹.

Bezogen auf die Überprüfbarkeit der Effekte des offenen Lernens mit dem Ziel einer differenzierten Bewertung, lassen sich nach Risse (1999) die folgenden Maßnahmen einsetzen:

- Hervorhebung sichtbarer und „fassbarer“ Produkte unterschiedlichster Art (Reaktionsprodukte bzw. deren Dokumentation)
- Berichte über Beobachtetes, Erarbeitetes und Gelerntes
- Referat zu bestimmten Themengebieten
- Die „Verteidigung“ eines Arbeitsergebnisses vor einem offiziellen Gremium
- Streitgespräche zwischen Partnern eines Teams
- Vortrag bei Gremien oder außerhalb der Schule (auch im Rahmen von LFB!)
- Auseinandersetzungen mit außerschulischen Partnern (Vertreter chemischer Betriebe etc.) (Vgl. Risse, 1999, S. 19).

Um die stufenweise qualitative Kennzeichnung von SchülerInnenleistungen, wie sie aus offenen Lernsituationen generiert werden, kümmert sich Hotarek (2011). In den tabellarisch gegliederten Bereichen `Teamarbeit, Selbständigkeit, Ausdauer & Belastbarkeit sowie Problemlösekompetenzen` werden jeweils vier Qualitäten unterschieden und mit 3, 2, 1 und 0 Punkten belegt.

In der Summe muss auf folgende Kriterien geachtet werden: Offenes Lernen ...

- ... setzt geschlossene und strukturierte Instruktion voraus,
- ... spielt sich auf Theorie- und Praxisebene unterschiedlich ab,
- ... muss kleinschrittig und binnendifferenziert vorbereitet werden,
- ... muss von ehrlichem emphatischem Feedback begleitet werden,
- ... fördert die sich entwickelnde Selbständigkeit und
- ... überfordert die eher noch unselbständigen SuS (!!!),

⁵⁰⁹ Eigentlich handelt es sich um eine Methode aus dem Fremdsprachenerwerb, mit der grammatikalische Besonderheiten vermittelt werden sollen: „Bei der Dictogloss-Methode rekonstruieren Lernende in Kleingruppen einen Text, den sie zuvor gehört haben. Dieser Text enthält eine hohe Anzahl an Formen einer bestimmten grammatischen Struktur, die mit dieser Übung wiederholt werden soll. Die Idee dabei ist, dass die Lernenden sich intensiv und im Kontext des Textes mit der Struktur befassen, sie zunächst häufig gehört haben, nun selbst rekonstruieren und im Idealfall auch gemeinsam über sie sprechen werden. Dictogloss-Aktivitäten sind Formen des sogenannten Kollaborativen Dialogs, folgen also der Idee, dass Lernende gemeinsam und problemlösungsorientiert über sprachlichen Output sprechen und reflektieren“ (Stollhans, 2014).

- ... erfordert 'Raum & Zeit' und eine explizite Lernsituation

Bezogen auf den Unterricht im Fach Chemie, sei hervorgehoben, dass dieses Fach gerade hierzu, also für den „OU“ umfassende Optionen auf der argumentativen Verstehensebene wie auch auf der, Fertigkeiten entwickelnden Praxisebene zur Verfügung stellt. Dennoch zeigt eine Untersuchung an über 400 Lehrkräften aus Bayern mit je zwei MINT-Fächern, dass die primäre Akzeptanz und Bereitschaft zur Verwirklichung offener Unterrichtsformen bei nur ca. zwei Drittel ausgeprägt ist (Mammes, 2008). Beim verbleibenden Drittel herrschen zudem konstruktivistische Lernvorstellungen nicht vor (Seidel et al., 2008; Markic & Eilks, 2008)! Mit vielen oben ausgeführten Belegen kann beispielhaft gezeigt werden, dass OU auch inklusives Potenzial besitzt und es Kindern, die der deutschen Sprache nicht mächtig sind, problemlos gelingt, in Gruppensituationen praktisches Experimentieren zu erlernen, und zwar einfach durch Imitieren der Handlungen, welche sie an den Gruppenmitgliedern oder von routinierten Erwachsenen (vgl. „cognitive apprenticeship“) sehen. Gerade damit ergeben sich die so notwendigen Möglichkeiten des Erfolgserlebnisses, etwa als wichtige Voraussetzung für das Erlernen-wollen der Sprache um sich an der Kommunikation der anderen Partner beteiligen, also mitreden zu können (Vgl. F1).

F 3 Inklusiver Chemieunterricht

Inklusion beschreibt die schon immer bestehende Herausforderung an Lehrernde aller Schularten und Fächer, alle Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene ihren Anlagen und Fähigkeiten gemäß fachlich zu unterrichten und sie in ihrer sehr individuellen Persönlichkeitsentwicklung zu unterstützen. Auslöser für die neuerliche Betonung inklusiver Vorgehensweisen ist die mittlerweile zunehmende und ausgeprägte Heterogenität der Schülerschaft. Trautmann und Wischer (2011) sprechen vom „heterogenitätssensiblen Unterricht“ (S. 122). Mit der Migration und den sehr stark streuenden Lernvoraussetzungen wird dieses Faktum augenscheinlich und erfordert dezidierte bildungspolitische, jedoch noch viel mehr didaktische wie mathetische Maßnahmen. „Das, was ausgeschlossen wurde, wird nun einbezogen. Die Schule bewegt sich damit von einem System der Selektion hin zu einem System der Inklusion“ (Rumpold, 2015, S. 271; Anton, 2018)⁵¹⁰.

Im Zuge einer solchen inneren Differenzierung muss nach Bönsch (2009) unterschieden werden zwischen der „negativen“ und der „positiven“ inneren Differenzierung.

Bei der negativen inneren Differenzierung erfolgt die „Begegnung mit der Realität durch sogenannte Minderungsstrategien:

- Reduktion der Ansprüche
- Vereinfachung der Inhalte
- Verlangsamung der Behandlung der Inhalte“.

Die Folge ist die „Absenkung des Leistungsniveaus“.

Bei der positiven inneren Differenzierung erfolgt die „Begegnung mit der Realität durch variable didaktische Gestaltung:

- Variable Er- und Bearbeitungswege
- Temporäre Selbstlernphasen
- Individuelle Förderprogramme
- Zieldifferenzierte Differenzierung“ (vgl. hierzu Tab. 6.1-6.4)

Als Folge gilt „Optimale Förderung bei gleichbleibendem Leistungsniveau“. Vgl. auch Groß (2017).

Zugleich kann Inklusion mit Arndt und Werning (2015) als „ein (aktueller) Anlass zur Unterrichtsentwicklung gefasst werden“ (S. 511). Es zeigt sich nämlich, dass die Bemühungen um die Erstellung inklusionsunterrichtlicher Formate keinesfalls ein Additum der bisherigen LehrerInnenarbeit darstellen, sondern eher als Verbesserung der Verstehbarkeit chemischer Lerninhalte für ALLE SchülerInnen zu sehen ist⁵¹¹. Die

⁵¹⁰ Die Uni Koblenz-Landau bietet einen nebenberuflichen Master-Studiengang „Inklusion und Schule“ an: www.zfuw.org

⁵¹¹ Die Bedeutung einer Hinwendung zu diesem wesentlichen Faktor für Unterrichtsqualität findet allerdings nicht uneingeschränkten Zuspruch. So zeigt sich an Untersuchungen an Lehrkräften in England und Nordirland (Vgl. Avramidis et al., 2000), „dass unter denjenigen, die naturwissenschaftliche Fächer studieren, eine größere Skepsis gegenüber Inklusion besteht als unter denen, die kein naturwissenschaftliches Fach studieren“ (Stroh, 2015, S. 111). Stroh diskutiert hierzu die Polarisierung einer Fachdidaktik, die sich einmal eher am Fach und eine solche, die sich mehr am Individuum orientiert. Dieses Missverständnis von Fachdidaktik rührt her von der traditionellen Namensgebung. Besser und eindeutiger ist sicher die Subsummierung von Didaktik (Inhaltsorientierung) und Mathetik (Individuumsorientierung) unter „Lehrlern- oder Vermittlungswissenschaft“. Sie hat die Aufgabe, aus den „Polen“ (Materiale Bildung vs. Formale Bildung; Wissensvermittlung vs. eigenes Forschen; Sachorientierung vs. Subjektorientierung; Fachsystematik vs. freies Forschen) eine jeweils angemessene Gleichgewichtseinstellung abzuleiten. Diese zwingt dann eben nicht zu einer Entscheidung, sondern

Verfügbarkeit von Materialien ist die eine Sache, die Gestaltung des Rede- und Kommunikationsprozesses die andere. Der Unterricht muss sich noch expliziter um die sprachliche Kompetenz beim Schüler kümmern, damit fachliche Kommunikation (vgl. Kompetenzbereich der NBS) gefördert werden kann (Pietsch, 2017; Tolsdorf & Markic, 2019). Das wiederum bedarf des Vorbilds durch die jeweilige Lehrperson, die insbesondere beim „Verwörtlichen“ der Modellebene entsprechende Muster („patterns of variation“) anbieten muss und diese anhaltend einübt (Abb. E20): „The teacher ... gave examples of qualitative differences between macroscopic and sub-microscopic ways of describing a solution as well as the difference between everyday language⁵¹² and scientific language. In that way, the teacher created patterns of variation that made it possible for students to discern what it meant to answer at a molecular level“ (Vikström et al., 2013, S. 36) (Abb. F13).

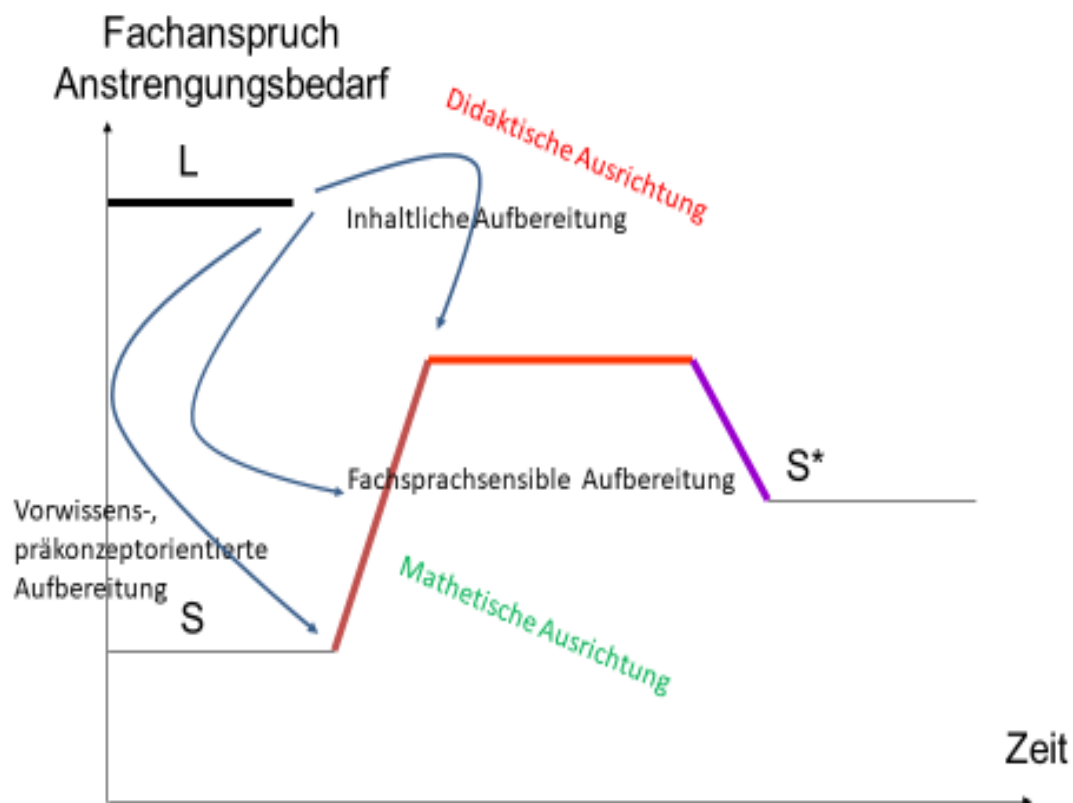


Abb. F13: Am Aktivierungsmodell des Unterrichts lassen sich die wichtigen Ergänzungen bezüglich der Vorbereitungsfaktoren darstellen

Aber die Berücksichtigung von Sprachhindernissen beginnt schon früher. Achtet man auf die Wörter in der Abb. E22, linke Skizze, so erkennt man, dass es sich mehrheitlich um zusammengesetzte Substantive, sogenannte Komposita handelt. In den Sprachen osteuropäischer Länder gibt es dergleichen nicht oder nur ausnahmsweise. Kinder aus

vielmehr zu einer jeweils anspruchsgerechten Aufeinanderabstimmung von inhaltlichen Ansprüchen und methodischen Leistbarkeiten bis hin zu individuellen Lehrplänen für SchülerInnen (Vgl. EVONIK-Magazin 3/2016: Die Zukunft der Arbeit, S. 43).

⁵¹² „When something is dissolved, it is so small that we can't see it anymore, and nothing is left on the bottom or at the surface of the beaker“ (S. 34)

entsprechenden Migrantenfamilien könnten demnach bereits hier am Verstehensprozess scheitern. Aus Glas und Trichter folgt eben nicht automatisch das Gerät, welches hier erforderlich ist. Wäre dies der Fall, etwa bei „Fischmesser“, dann spricht man von „Kompostionalität“. Diese fehlt bei den meisten hier gemeinten Komposita. Das gilt auch für den Alltag. Man nehme nur das Beispiel „Parkscheinautomat“ oder „Fußgängerquerungshilfe“ (Das längste Wort im Deutschen lautet: *Donaudampfschiffahrtselektrizitätenhauptbetriebswerkbauunterbeamtengesellschaft!*)

Da man diese grammatikalische Qualität der deutschen Sprache nicht ändern kann und auch nicht soll, muss nach hilfreichen Vorgehensweisen gesucht werden. Im Zuge der Einführung der sogenannten „leichten Sprache“ mit einem eigenen Wörterbuch (www.hurraki.de und www.sr.de; Suchbegriff „leichte Sprache“) gibt es für die besondere Berücksichtigung der angeführten Komposita beispielsweise die Verwendung des „Medio-Punkts“ als kleines Kreuz auf der Zeile ∴ Wasser·Stoff·Brücken·Bindung! (Amberg, 2017). Am folgenden *Beispiel* aus dem Chemieanfangsunterricht (schon ab der Grundschule: Schmidt-Hönig, 2015) soll ein Perspektivenwechsel beschrieben werden, der einer Art Paradigmenwechsel in der Instruktionsform entsprechen könnte. Abb. E21 zeigt links die durchaus übliche Form einer Versuchsanleitung, welche sich für AnfängerInnen als eine sichere und geradlinig zum Erfolg führende „Rezeptologie“ erweist. Das Trennen von Gemischen gelingt auf diese Weise sehr fachmännisch und arbeitstechnisch wie auch zeitlich gut kalkulierbar. Als Hürde erweist sich die Begrifflichkeit. Cummins (1979) unterscheidet hierzu die alltagsorientierten „Basic Interpersonal Communicative Skills“ (BICS) von der „Cognitive Academic Language Proficiency“ (CALP), die einer höheren fachsprachlichen Kompetenz entspricht. Die Fachbegriffe besitzen keine Alltagsrelevanz, ebenso die Gerätschaften. Allein die Protokollierung wird hierdurch schon erschwert. Zudem sind die Geräte vorgegeben, was sich auf kreatives Hypothesenbilden nicht gerade stimulierend auswirkt.

Anders ist das bei der Vorgehensweise, wie sie auf der rechten Seite von Abb. E22 beschrieben wird. Hier spielt die Nomenklatur eine untergeordnete Rolle und die kreativen Varianten ersetzen eine Musterlösung. Damit spielt die Fachsprache nicht mehr die Hauptrolle, ebenso die Benennung von chemiespezifischen Gefäßen und Arbeitsmittel. Für die Lehrkraft bedeutet das eine umfangreichere Vorarbeit hinsichtlich der Bereitstellung von möglichen Arbeitsutensilien. Allerdings ermöglicht diese Form der Problemlösung fast automatisch das entdeckende Lernen und letztlich die wissenschaftspropädeutische Hinführung zur empirischen Erkenntnisgewinnung. Abb. F14. pointiert diese Gegenüberstellung.

Unterrichtsziele

Reagenzglas mit Suspension

Faltenfilter

Rückstand

Glastrichter

Erlenmeyerkolben

Filtrat

Baue die Geräte nach Vorschrift zusammen und führe die Trennung durch!
Beschreibe Deine Beobachtungen und deute sie!

Glas mit schmutzigem Wasser



In einem Glasgefäß findest Du Wasser mit Verschmutzungen.
Denke Dir ein Verfahren zur Trennung der einzelnen Bestandteile aus und suche nach passenden Geräten für die Durchführung.
Fertige ein Protokoll an, das Deine Überlegungen und Handlungen so darstellt, dass sie andere nachmachen können.

Abb. F14: Gegenüberstellung zweier Versuchsvarianten zur Stofftrennung. Links: Anleitung mit allen Details; rechts: Aufgabenstellung mit variantenreichen Lösungsmöglichkeiten, auch hinsichtlich des Geräteeinsatzes.

Sehr deutlich lässt sich mit diesem Wechsel in der Vorgehensweise zeigen, dass inklusive Maßnahmen eben nicht nur die SchülerInnen unterstützen, welche sich mit den sprachlichen Bedingungen des Fachunterrichts besonders auseinandersetzen müssen, sondern für alle Schülerinnen und Schüler einen Lern- und Verstehensvorteil mit sich bringen, sie also keine unbillige Zusatzaufgabe für den Lehrer darstellen, sondern eine grundsätzliche Minimierung von (traditionellen) Schwierigkeiten.

„Inklusive Momente im Bildungsprozess entstehen in solchen Lehr-Lern-Situationen, in denen teilhaben und beitragen für alle Schülerinnen und Schüler erfahrbar werden“ (Heimlich, 2017, S. 7). Das ist mit der in Abb. F15 rechts beschriebenen Fassung eher möglich als in der linksstehenden.

Zwei Strategien

• Begriffe stehen im Mittelpunkt • Problematiken stehen im Hintergrund • Fehlerfreiheit ist programmiert • Eigenleistung durch praktisches Tun • Differenzierter Wortschatz bei der Beschreibung und Deutung	• Phänomen/Problem steht im Mittelpunkt (PBL) • Vorwissensaktivierung und Kreativität sind gefragt • Begriffe und Gerätschaften (inkl. Fachausdrücke) sind zweitrangig • Reproduzierbarkeit durch anschauliche Beschreibungen als Text und/oder Skizze ist wichtig

Abb. F15: Schwerpunkte im Vergleich: Einmal die direkte Instruktion und zum anderen die offene Problemlösung.

Diese Unterscheidung zwischen unspezifischem, aber zielorientiertem Handeln einerseits und der anschließenden begrifflichen Ausstattung aller Gegenstände und Stoffe lässt sich gut analogisieren mit dem DICE-Ansatz (Disaggregate Instruction in Chemistry Education) aus dem angloamerikanischen Raum (Gieske et al., 2024). Dort findet sich auch die hierzu hilfreiche Erläuterung: „Sobald die Lehrkraft auf Seiten der Schüler:innen ein grundlegendes Konzeptverständnis feststellt, führt sie die neuen Termini ein, die dann im Unterrichtsgespräch gemeinsam mit den Schüler:innen sachgerecht mit den jeweiligen Fachkonzepten verknüpft werden“ (S. 162).

Als weiteres Beispiel für die Auseinandersetzung mit Problemstellungen, welche sich auf Inklusion beziehen, jedoch grundlegend für ein verbessertes chemisches Verständnis sein können, stellt die chemische Fachsprache dar. Hier werden traditionell nicht alle Schwierigkeiten in ihrer vollen Tiefe erkannt. Allein die fachsprachliche Analyse des folgenden Textbeispiels zeigt, wie stark die chemische Fachsprache von der Alltagssprache abweichen kann:

Chemisches Experiment zur Verdeutlichung einer „exothermen Reaktion“, vermeintlich ohne Aktivierungsenergie!

Versuchsanleitung und Protokolltext:

Bei Zusammengabe von drei gehäuften Spatelspitzen grauen Zinkpulvers (Element) und gleichviel türkisblauem feinkristallinen Kupfer(II)-chlorids findet eine spontane einfache Umsetzung statt.

Dabei wird chemische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Die Temperatur steigt von ca. 20°C auf über 120°C. Es handelt sich um eine exotherme Reaktion.

Zeitgleich beschlägt die Innenwand des Becherglases deutlich sichtbar mit Kondenswasser. Es stammt aus den Kupferchlorid-Kristallen. Dort liegt es als so genanntes `Kristallwasser` vor.

Nach Ablauf der Stoffartumwandlung erkennt man im Stoffgemisch einen rötlichbraunen Feststoff. Dabei handelt es sich um elementares Kupfer (Element). Die türkise Farbe des Kupferchlorids ist verschwunden.

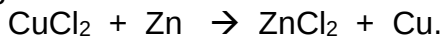
Das Wortreaktionsschema für diese Umsetzung lautet:

Kupferchlorid + Zink → Zinkchlorid + Kupfer.

Übersetzt man diese Formulierungen ins Chemische, sodass jedem Substanznamen die richtige Symbolformel zugeordnet wird, dann steht Folgendes da:



Will man hieraus wieder ein vollständiges Reaktionsschema machen, so muss es wie folgt heißen:



Mit dieser Formulierung wird ausgedrückt, dass während der Reaktion nichts verloren geht und nichts dazu kommt. Das zugrundeliegende Prinzip heißt „Massenerhalt“!

Markieren Sie im Text mit vier unterschiedlichen Farben:

- Chemische Fachausdrücke
- Zusammengesetzte Substantive
- Seltene Adjektive
- Artikel

Versuchen Sie anschließend, den Text in eine einfachere, leichter verständliche Form zu überführen

Das weltweite Screening der Bildungsqualitäten von Pflichtschulabsolventen (TIMSS, PISA) hat u.a. die Erkenntnis gebracht, dass sich mit nur geringen fachlichen Qualifikationen überfachliche Problemstellungen sehr unbefriedigend bearbeiten lassen! Ein dennoch verbindendes fachunabhängiges Element stellt nach Klieme et al. (2007) das „schlussfolgernde Denken“ dar, in welchem sich auch Intelligenz manifestiert. Um dennoch schulrelevante Fachinhalte für die alltägliche Anwendung leichter verfügbar zu machen, was speziell im Fall der NAWI-Fächer nötig ist, müssen wenige fachspezifische Lehrplaninhalte, die durch Herstellen von Beziehungen gut verstanden sind, in der Schulphase in ihrer alltagstauglichen Anwendbarkeit für alle SchülerInnen erfolgreich erlebbar gemacht werden (Vgl. auch Pawlak & Groß, 2021).

Unter Berücksichtigung von Lern-, Sprachentwicklungs- und sozial-emotionalen Entwicklungsstörungen soll dieser Problemstellung insbesondere fachdidaktisch, hier chemiedidaktisch vermehrte Aufmerksamkeit zuteilwerden. Hierzu sind wiederum diagnostische Fähigkeiten erforderlich, welche auch in die LehrerInnenaus- und LehrerInnenfortbildung Eingang finden müssen. Grundsätzlich reichen aber Beobachtung und explizite Vorgehensweisen aus um beispielsweise bei der Entwicklung von kognitiven Konflikten nicht nur den Suchreflex nach einer Problemlösung im Auge zu haben, sondern um auch damit rechnen zu können (Abb. F16),

- dass bei Schülern mit Lernstörungen die „Kompetenz des Nichtwissens“ eingeschränkt und dieses Erkennen Unsicherheit und letztlich auch Stress auslöst⁵¹³,
- dass bei Kindern mit Sprachentwicklungsstörung eine Fragehaltung weniger leicht ausgelöst werden kann und
- bei emotionalen Entwicklungsstörungen kausale Zusammenhänge nicht ohne weiteres entdeckt werden.

⁵¹³ „Lernen geht in einer Situation vor sich, in der wir etwas nicht wissen oder noch nicht können. Daher beinhaltet es immer ein gewisses Maß an Unsicherheit, Frustration und Enttäuschung. Diese Erfahrung ist schmerzhaft, und wenn sie unerträglich wird, kann es sein, daß man ihr ...zu entkommen versucht oder daß man sie ...mit Allmachtsgefühlen zu bewältigen versucht oder in Zorn ausbricht“ (Salzberger-Wittenberg et al., 1997, S. 77)

In Aussicht gestelltes Neues verursacht also nicht grundsätzlich Freude, insbesondere, wenn Strukturierungen, also Sicherheiten fehlen, die es immer auch von Lehrkraft zu vermitteln gilt!

LVSD*-Modell nach C. Weber (2016)



Lern-Verhalten-Sprach-Defizit-Modell

Abb. F16: Mit der Problembearbeitung gehen kognitive Konflikte einher. Unter den „normalen“ Bedingungen stehen Strategien zur Verfügung, auf die im Einzelfall zurückgegriffen werden kann. Unter erschwerten Bedingungen, d.h. ohne Routinen, muss mit expliziten Hilfen versucht werden, das Problem zu portionieren und über Hinterfragung und Erprobung möglicher Antworten das Problem sukzessive zu lösen.

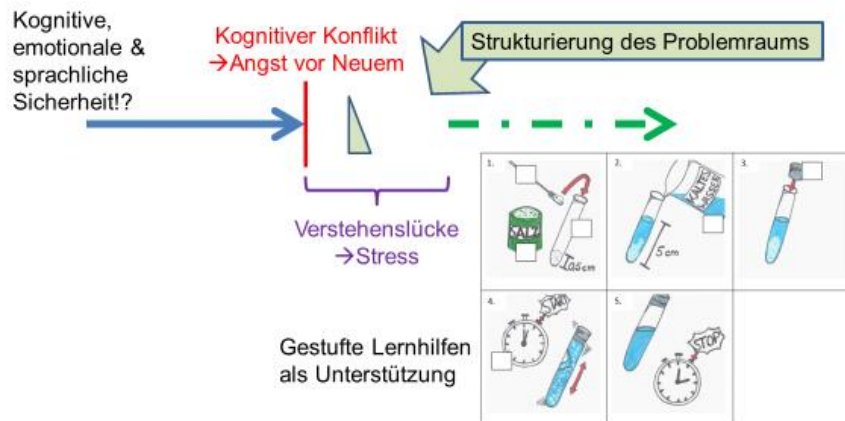
Diese sehr plakative Zuordnung verlangt nach Einzelfalldifferenzierung. Auf der Basis einer engen Verknüpfung von Lernen, Verhalten und Sprache (Lernen induziert Verhaltensänderungen und Denken strukturiert sich über Sprache), ist es eine pädagogisch-didaktische Aufgabe bzw. eher Herausforderung, den entstandenen „Problemraum“ zu strukturieren (Abb. E25). Hiermit kann es gelingen, den SchülerInnen

- Orientierung in Raum und Zeit (Verortung in der Realität versus phantasierte Gefahr) zu vermitteln,
- ihnen die Anforderungen explizit zu verdeutlichen und
- ihnen die eigenen Möglichkeiten zum Erreichen eigener Ziele bewusst und attraktiv zu machen.

Durch diese Orientierung entsteht subjektiv das Gefühl von Sicherheit, der Anteil des Nichtwissens wird subjektiv überschaubarer, die innere Bereitschaft für das Aushalten des Zustands des Nichtwissens wird gesteigert und die Bewältigung der "Lücke" kommt mental in den Bereich des Erreichbaren, was die Anstrengungsbereitschaft deutlich erhöht. Es ist also wichtig, den Neugierimpuls als Triebfeder für die Überwindung der Lücke wieder zugänglich zu machen. Das ist wiederum eine besondere Chance, die der Chemieunterricht bietet und die auch genutzt werden sollte. Mit der so zunehmenden Sicherheit ließe sich die mentale Hinwendung des Schülers in Richtung Problemlösung unterstützen und ein Meideverhalten verringern (C. Weber, Sonderpädagogik, LMU: Persönliche Mitteilung, 23.2.2016).

Eine der Möglichkeiten, von Beginn an Hemmschwellen zu erniedrigen, ist das sukzessive Vereinfachen und sodann zunehmend anspruchsvoller Werden Lassen der sprachlichen Formulierungen, z.B. beim experimentellen Arbeiten. Hierzu liefert Rolletschek (2012) sehr konkrete Vorschläge, die sich im Grundschulbereich genauso einsetzen lassen wie in den weiterführenden Schulen⁵¹⁴ (Abb. F17).

LVSD-Modell (Weber, 2016)



LVSD-Modell (Weber, 2016)

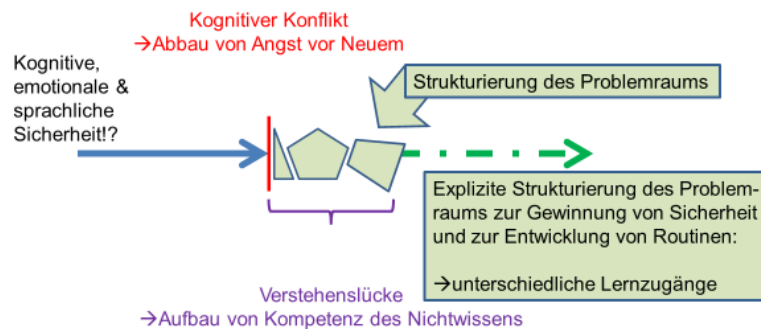


Abb. F17.: Um Lern-, Verhaltens- und Sprachunsicherheiten zu nehmen bzw. gar nicht erst entstehen zu lassen, müssen Problemräume gegliedert und in einzelnen Stationen bearbeitet werden. Dies muss auf emphatischem Wege und explizit geschehen.

⁵¹⁴ Für die Sekundarstufe 1 findet sich ein sehr konkretes Beispiel für den sprachlichen Umgang mit dem Prozess des „Lösens“, wobei es darum geht, die Formulierungen in Form von Sätzen anleitend zu erleichtern (Pietsch, 2021)

Selbstverständlich ergibt sich aus dem bisher Ausgeführten eine Reihe von Aufgaben für die Lehrkräfte, die sich für die Entwicklung von Unterricht unter inklusiven Bedingungen bereiterklären und die folgenden Kriterien dabei im Auge haben:

1. Adaptivität in der Abstimmung von Lernleistung, Inhalt und Methode
2. Individualisierung mit Blick auf das Spannungsfeld zwischen Einzel- und Gemeinschaftslernen
3. Diagnostik
4. kooperative Lernformen auf der Basis von fünf Kriterien: `Individuelle Verantwortlichkeit, positive Interdependenz⁵¹⁵ („Angewiesen-sein auf andere bei gemeinsamen Aufgaben“), direkte Interaktion, Training sozialer Kompetenzen, Gruppenreflexion (Vgl. Greutmann et al., 2021, S. 81-94)
5. Individuelle Feedbacks´ (Vgl. Arndt & Werning, 2015).

Bezüglich der Kooperationen zwischen Lehrkräften, die sich in der Unterrichtsführung gegenseitig unterstützen wollen, werden von Friend et al. (2010; zit. nach Arndt & Werning, 2015, S. 519-520; Schemata bei Lütje-Klose, 2014, S. 28-29) folgende Varianten angeführt:

1. „one teach, one assist“: 1 Lehrkraft unterrichtet, die andere hilft einzelnen SuS
2. „one teach, one observe“: 1 Lehrkraft unterrichtet, die andere beobachtet und zeichnet auf
3. „alternative teaching“: (2 Gruppen einer Klasse werden auf unterschiedlichem Niveau zeitgleich unterrichtet)
4. „Parallel teaching“: (2 Gruppen einer Klasse werden zum gleichen Inhalt zeitgleich unterrichtet)
5. „station teaching“: (mehrere Gruppen werden an Stationen von einzelnen Lehrkräften betreut)
6. Teaming“ („team teaching“): 2 Lehrkräfte unterrichten einen Inhalt unter verschiedenen Aspekten (Experimentdarstellung, Theorieausarbeitung).

In dieser Gegenüberstellung zeigt sich u.a., dass Kooperation auf LehrerInnen- und auf SchülerInnenebene sowohl Voraussetzung als auch Folge einer Entwicklung zum inklusiven Unterricht darstellt. In einem Fach wie Chemie lässt sich dies besonders deutlich umsetzen, da im Theorie-, Praxis- und Reflexionsfeld sehr unterschiedliche Kooperationsformen erprobt und eingesetzt werden können.

Aus diesen Überlegungen lassen sich zudem weitere klare Schlussfolgerungen für den Unterricht im Fach Chemie ziehen:

- Frühe, anfangs spielerische Auseinandersetzung mit Chemikalien und Gerätschaften,
- einfaches Ausprobieren dieser Erfahrungen zum Finden und Beantworten von Fragen (Forschungspropädeutik),
- Erfüllen von Versuchsanleitungen, Variation derselben,
- Selbstentwurf von Experimentieranleitungen,
- Protokollierung der eigenen Tätigkeiten, der Begründungen und der Effekte (Datenerhebung),
- Ordnung der Fakten unter Verwendung von Lehr- und Lernmaterialien,
- Fragen, Vermuten (Hypothesenbildung), Prüfen und

⁵¹⁵ Das Begriffspaar (Antonyme) „independent“ und „interdependent“ findet sich auch beim Kulturenvergleich, wobei ersterer mit `analytisch und sich eher persönlich abgrenzend´ verbunden wird, letzterer mit einer mehr holistischen und auf gemeinschaftliches Aufgabenlösen ausgerichteten Weltsicht bzw. einem solchen Selbstkonzept (Weigmann, 2016).

- kritisch mit den Ergebnissen umgehen,
- Grenzen der empirischen Erkenntnisgewinnung spüren und reflektieren,
- den eigenen Wissenszuwachs erleben, genießen und daran selbstbewusst und bescheiden werden
- nach praktischen Anwendungen Ausschau halten.

Insbesondere für die Ansprüche von minder- und normalbegabten SchülerInnen kann hier der Begriff des „remedialen Lernens“ angeführt werden. Remediales (lat. remedium = Heilmittel) Lehren und Lernen basiert auf den interindividuellen Unterschieden von LernerInnen, insbesondere bei normbezogenen Abweichungen nach unten. Durch remediales („heilendes“) Lehren und Lernen sollen defizitäre Lernvoraussetzungen, zu verstehen als Defizite in der Informationsverarbeitung, ausgeglichen und Leistungsdefizite vermieden werden⁵¹⁶. „ReLe“ hat hohe inklusive Relevanz und ist als Lehrstrategie Teil des „adaptiven Unterrichts“, der sich durch die folgenden Kriterien beschreiben lässt (Wang & Lindvall, 1984):

„1. Instruktion erfolgt in Abhängigkeit von vorher festgestellten Voraussetzungen des Lernenden

2. Alle Lernenden können ihren Voraussetzungen entsprechend mit Hilfe der Lernmaterialien und –

verfahren die Lernziele erreichen

3. Durch kontinuierliche Diagnosen werden Lernende über ihren Lernfortschritt informiert

4. Lernende übernehmen Verantwortung beim Diagnostizieren und Planen der Lernaktivitäten

5. Alternative Lernaktivitäten werden ermöglicht und alternative Materialien zur Verfügung gestellt

6. Die Lernenden wählen Lernziele, Lernergebnisse und Lernaktivitäten selbst aus

7. Die Lernenden helfen sich gegenseitig beim Erreichen der Lernziele“ (zit. aus Neber, 1996, S. 404).

Von 1 bis 7 entwickelt sich im Idealfall die Kompetenz zum selbständigen Lernen, und zwar auf jedem Ziel- oder Begabungsniveau.

Nach dem Lehr-Lern-Modell des moderaten Konstruktivismus beziehen sich lern- und leistungsfördernde Lehrstrategien auf die

- Berücksichtigung der Piagetschen Entwicklungsstadien,
- Beachtung der Verarbeitungskapazität des Arbeitsgedächtnisses,
- Automatisierung von Lernstrategien, bevor eine jeweils komplexere eingeübt wird, sowie
- Ausübung von metakognitiven und attribuierenden Strategien.

Solche Strategien, die sich erst nach dem 3. bis 5. Lebensjahr einstellen, können durch eine explizite Strukturierung von Instruktionsverläufen und Unterrichtsinhalten in ihrer Genese und Anwendungsroutine sowie in ihrer Weiterentwicklung unterstützt werden. Dabei spielen neben Lern- und Gedächtnistechniken auch Denkqualität und Intelligenz eine Rolle. Ihr Zusammenspiel wird besonders durch die direkte Vermittlung und Einübung von Strategien der Problemlösung gefördert. Untersuchungen (Neber, 1996, S. 409-412) zeigen, dass diese Strategien bereichsspezifisch, also auf der Basis

⁵¹⁶ Nach Gold (2015) „bezeichnet man es als **Lernschwäche**, wenn es bei einer Intelligenz im Normalbereich zu erheblichen schulischen Minderleistungen kommt und als **Lernstörung**, wenn „wider Erwarten“ die Diskrepanz zwischen den (normalen) Intelligenztestwerten und den schulischen Minderleistungen besonders groß ist. Bei Schülerinnen und Schülern mit einer **Lernbehinderung** liegt eine intellektuelle Beeinträchtigung vor. „Erwartungsgemäß“ korrespondiert ihr schulisches Leistungsveragen mit ihren unterdurchschnittlichen Intelligenztestwerten“ (S. 123)

von möglichst umfangreichem und gut vernetztem Fachwissen erlernt und hierbei angeleitet angewendet werden müssen. Sie werden also nicht allgemeingültig auf unterschiedliche Aufgabenstellungen und schon gar nicht spontan transferiert. Jede strategische Kompetenz bedarf einer fortgesetzten Einübung, über die zusätzlich „Selbststeuerungskompetenzen“ ausgebildet werden. Diese metakognitive Regulierung der eigenen kognitiven Prozesse stellt eine notwendige Bedingung für autonomes Problemlöseverhalten dar. Sie steuert die Aufmerksamkeit, fördert das selektive Aktivieren von Vorwissen und fokussiert auf die Auswahl geeigneter fachspezifischer Regeln, Prinzipien und Lösungsoptionen.

Der Erwerb von `Selbststeuerung` bedingt ein „informierendes Training“: Strategien werden geübt, über ihren Nutzen wird informiert und Steuerungstechniken werden erworben. Nach Wong (1991) ist die `Selbststeuerungstechnik` Teil des „Selbst-Systems“, in welches auch das Fähigkeitsselbstkonzept (Fsk), die beliefs und Kausalattributionen involviert sind. So spielt die pessimistische vs. optimistische Ursachenzuschreibung von Misserfolgen bzw. Erfolgen auf das Selbstbild für die Verwendung von Lernstrategien und damit für die eigene Lernleistungsbereitschaft eine nicht zu unterschätzende Rolle (Haenisch, 1991). Analoges gilt für die unterschiedlichen Bewältigungsstrategien. Im Unterricht müssen Attributionsstile und Leistungspotenziale zur Übereinstimmung gebracht werden. Hierzu existieren Trainingsprogramme (Reid & Borkowski, 1987; Ziegler & Schober, 1998). Bereichsspezifisches Faktenwissen inklusive Heuristiken und Regeln, vielfältige Lernstrategien, metakognitive Kontrolle des Strategieeinsatzes, explizites Erfolgserleben und optimistische Attributionsmuster sind Voraussetzungen für das Zusammenwirken von selbstgesteuertem Lernen und problemlösendem Denken (Vgl. Abb. E15). Für die Weiterentwicklung einer fachlichen Expertise gilt, dass ursprünglich angewendete Lernstrategien und kontrollierte Informationsverarbeitung durch besonders strukturiertes und automatisiert einsetzbares Wissen abgelöst werden. Ein solches „konditionalisiertes Wissen“ (Wissen, das bereits Anwendungsbezüge enthält) wird dann erzeugt, wenn die Wissensgenese mit geeigneten Anwendungsmöglichkeiten einhergeht („sinnstiftendes Lernen“ durch „expertiseorientierte Instruktion“, zit. nach Neber, 1996, S. 420). Um diese erfolgreich wirksam werden zu lassen, müssen ursprünglich vorhandene Konzepte (Präkonzepte, vorunterrichtliche Erfahrungen) auf Passgenauigkeit mit den neuen Informationen geprüft werden. Fehlkonzepte (misconceptions) sind dann zu `remedieren`.

Auf der Basis der oben aufgeführten instruktionalen Bedingungen lässt sich der Weg von der direkten Instruktion zum selbstgesteuerten Lernen (Tab. F3) ebnen, etwa durch Lernaufgaben! Lernaufgaben unterscheiden sich im Grad der Vorgaben von Problemaufriss, notwendigen Bearbeitungsschritten und im Umfang der Lösungsbeschreibungen. Ihre Bewältigung wird sowohl durch individualisiertes Lernen als auch durch differenzierendes Lehren beeinflusst. Dabei werden die für die Bewältigung einer Lernaufgabe notwendigen Prozesse und Wissensstrukturen in unterschiedlichen Ausmaßen unterstützt.

Lernaufgabe→ Freiheitsgrade	Problemaufriss	Bearbeitungs- schritte	Lösungs- beschreibung	Kennzeichnung
Expositorisches Lehren lehrergeleitet & schülerorientiert	+	+	+	Direkte Instruktion "mastery approach" DISTAR: Direct Instruction Systems for Teaching and Remediation
	Verbalisierung			
		Kommunikative Gruppenarbeit		
			Entdeckendes Lernen	
Ungelenktes entdeckendes Lernen schülergeleitet	-	-	-	Indirekte Instruktion „discovery approach“

Tab. F3: Gegenüberstellung der beiden Extrema in der Bewältigung des Lernprozesses als ein Merkmal menschlichen Lebens und der Übergänge (Vgl. Neber, 1996, schematisiert)

Die Beschreibung der beiden instruktionalen Extrema bedarf der Ergänzung durch eine konkrete Beschreibung eines unterrichtstauglichen Weges, um von der direkten Instruktion zum selbstgesteuerten eigenverantwortlichen bildungswirksamen Lernen zu gelangen (Gasser, .2002). Hierzu zählt als erster Schritt die Verbalisierung des strategischen Vorgehens sowohl von der Lehrperson als auch von den SchülerInnen. Dieses Explizitmachen internalisierter Denk- und Argumentationsschritte⁵¹⁷ wird sukzessive ergänzt durch explizite Informationen über deren Anwendungsbedingungen und weiterführende Bedeutung. So entsteht Faktenwissen in Chemie. Ausgangspunkt kann beispielsweise die Beobachtung sein, wenn beim Einbringen von einem Stück Magnesiumband (Mg) in verdünnte Salzsäure (HCl) spontan ein farb- und geruchloses wasserunlösliches Gas entsteht, welches sich mit Hilfe einer charakteristischen Nachweisreaktion („Knallgasprobe“) als Wasserstoff (H₂) identifizieren lässt. Gleichzeitig verschwindet das Metall vollständig. Es ist der Schluss möglich: Salzsäure löst elementares Magnesium unter Wasserstoffentwicklung auf! Verwendet man analog unterschiedliche Säuren und andere unedle Metalle, etwa Zink (Zn), so kann gefolgert werden: „Unedle Metalle werden unter H-Entwicklung in verdünnten Säuren aufgelöst!“

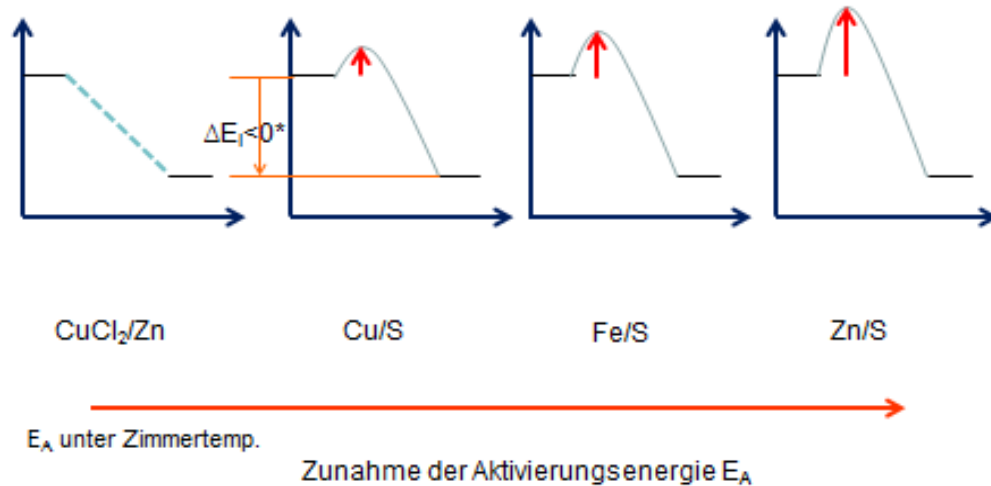
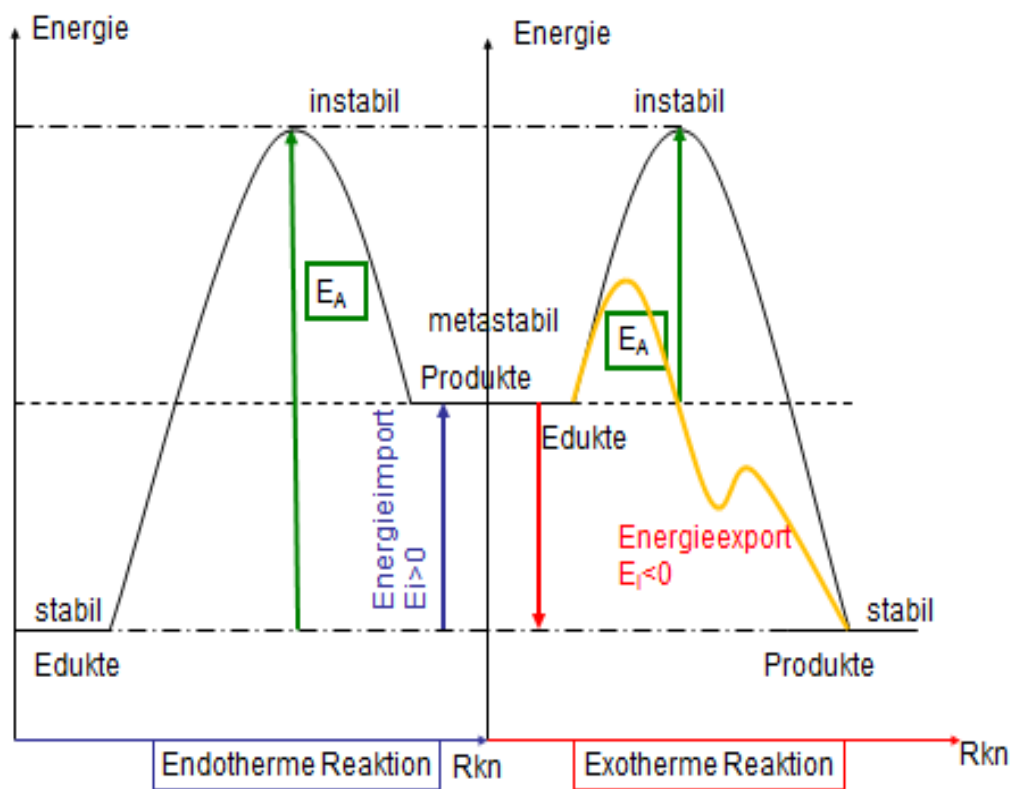
Solches Faktenwissen besteht zum einen aus deklarativen Anteilen (Mg, HCl, Gas, Geräte ...) und zum anderen aus proceduralen Komponenten (folgerichtiger Ablauf der Arbeitsschritte und Reihenfolge der Beobachtungen). Weitere Informationen zur Anwendbarkeit dieses Faktenwissens erzeugen einen Mehrwert: Im KIPPschen Apparat kann dieses Reaktionsprinzip zur labortechnischen Bereitstellung von Wasserstoff eingesetzt werden. Jetzt ist aus dem Faktenwissen Konditionswissen geworden. Es kann innerfachlich(!) problemlösend und damit gewinnbringend eingesetzt werden. Führt man weitere Informationen zu, etwa die Möglichkeit, Sauerstoff (O₂) aus der Thermolyse (trockenes Erhitzen) von Kaliumpermanganat (KMnO₄) oder aus der Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure (Wasser!) zu gewinnen und die beiden Gase im stöchiometrischen Verhältnis von 1:2 im Zuge einer katalytisch verlangsamten

⁵¹⁷ In der seit einem Jahr eingerichteten Gemeinschaftsschule in Wenigenjena wird das Prinzip des „Verständnisintensiven Lernens“ (ViL) praktiziert. Damit ist nach Bleher (2015) gemeint: „Herausfinden, wie ein Schüler oder eine Schülerin denken. Um ihm, um ihr helfen zu können, sich etwas Neues anzueignen, etwas Fremdes. Vielleicht auf einem ganz eigenen Weg. „Verstehen zweiter Ordnung“ nennt sich dieser konstruktivistische Ansatz“ (S. 29).

Knallgasreaktion zur Gewinnung von elektrischer Energie (Brennstoffzelle) zu nutzen, so verlässt man das Fach und generiert Funktionswissen.

Analog lässt sich ein weiteres Beispiel anführen. Hier ist die Besprechung einerseits von Reaktionstypen und andererseits von energetischen Gesetzmäßigkeiten die Basis. Die hier zusammengetragenen Fakten werden dann konditioniert und funktional erweitert (Abb. F18):

1. Versuch zur Analyse von Kupferacetat („Grünspan“), wobei es beim Erhitzen einer Stoffprobe zur Bildung von Essigsäure (Geruch) und elementarem Kupfer („Kupferspiegel“) kommt
2. Versuch zur Synthese von Kupferacetat aus Cu-Pulver und Essigessenz, wobei die Zugabe von wenig H_2O_2 beschleunigend und energieliefernd, deutlich erwärmend wirkt
3. Versuch zur doppelten Umsetzung beim Nachweis von Chlorid-Ionen aus dem Kochsalz mit Hilfe von Silbernitrat in wässriger Lösung, wobei unlösliches Silberchlorid als weißer käsiger Niederschlag ausfällt, der in konzentriertem Ammoniak über die kurzzeitige Bildung von braunem wasserunlöslichem Silberhydroxid als Silberdiaminkomplex löslich ist
4. Versuch zur Exothermie mit Kupferchlorid und Zinkpulver, wobei spontan Kupfer und Zinkchlorid gebildet werden, das Kristallwasser verdampft und die Temperatur von Zimmertemperatur um ca. 150 K ansteigt
5. Versuch zur Exothermie mit phänomenologisch erkennbarer Aktivierungsenergie: Kupfer- und Schwefelpulver werden vermischt und dann in einer Reibschale unter deutlichem Druck des Pistills zur Reaktion unter Flammenerscheinung gebracht. Es entsteht blauschwarzes Kupfer(I)-sulfid
6. Versuch zur Exothermie mit phänomenologisch erkennbarer Aktivierungsenergie: Eisen- und Schwefelpulver werden vermischt und dann auf einem Porzellannetz mit rauschender Bunsenbrennerflamme von der Seite erhitzt. Es bildet sich eine Glühfront, die auch nach demonstrativer Wegnahme des Brenners das gesamte Gemisch durchläuft und Eisen(II)-sulfid ergibt.
7. Versuch zur Exothermie mit phänomenologisch erkennbarer Aktivierungsenergie: Zink- und Schwefelpulver werden vermischt und dann auf einem Porzellannetz mit rauschender Bunsenbrennerflamme von unten her erhitzt. Nach einiger Zeit reagiert das Gemisch explosiv zu gelbem Zinksulfid.
8. Versuch zur Endothermie mit Saccharose. Mehrere Proben werden jeweils erhitzt bis sich zunächst eine gelbe, dann braune und dann fast schwarze Färbung ergeben. Nach dem Stoppen der Wärmezufuhr bleibt das System im jeweiligen Zustand erhalten
9. Versuch zur Endothermie mit Diiodpentaoxid (I_2O_5). Sehr wenig Substanz wird in einem Rggl. mit Kohlefilteraufsatz vorsichtig erhitzt bis erste Ioddämpfe aufsteigen. Nach Unterbrechung der Wärmezufuhr bleibt dieser Zustand erhalten. Erneutes heftigeres Erhitzen führt zu einer weiteren Intensivierung der Ioddämpfe, die anschließend resublimieren.
10. Versuche zur Endothermie mit Kaliumpermanganat (Erhitzen von $KMnO_4$ und Sauerstoffnachweis) sowie Silberoxid (Erhitzen von Ag_2O und Sauerstoffnachweis, der feste Rückstand nimmt nach einem vorsichtigen Glätten mittels eines Hammers auf fester Unterlage silbrigen Glanz an)



* Die Differenzen der E_i von Edukt und Produkt der jeweiligen Reaktion variieren ebenfalls

Abb. F18: Bildhafte Darstellung der Beziehungen zwischen exotherm und endotherm und Katalyse sowie den unterschiedlichen Formen von Aktivierungsenergie

Im Zuge einer schülerorientierten Gruppenarbeitsphase, in der aus den Fakten Zusammenhänge, also Verstehen generiert wird, erfüllt das Ergebnis (Abb. „Vernetzung“ als Strukturdiagramm; s.u.) die Bedingungen des „Dictogloss“ als Rekonstruktion wesentlicher Beziehungen aus einem Text oder Erfahrungszusammenhang (Pietsch, 2017). Nach und neben dieser Externalisierung führt das kommunikative Lernen in Gruppen (Dyaden und größer) weiter zum offenen Lernen. Insbesondere wenn die Dyade leistungsheterogen zusammengesetzt ist, darf erwartet werden, dass vom leistungstärkeren Partner Unterstützung erfolgt. Nach Vygotsky (1969) befindet sich dieser in einer „Zone der nächsten Entwicklung“ und ist somit in der Lage, fördernd auf den Leistungsschwächeren einzuwirken. Zudem beginnt die Internalisierung von neuem Wissen und erworbenen Strategien.

Zwischen den folgenden Schritten kann diskriminiert werden:

1. „Vollständige Externalisierung der für die Lösung der jeweiligen Aufgabe erforderlichen Strategien und Wissensstrukturen
2. Reduktion der Aufgabenkomplexität (Tutor führt einzelne Lösungsschritte selbst durch oder weist auf erforderliches Wissen explizit hin) (→Leitkarten)
3. Steuerung und Kontrolle werden zunehmend vom Lernenden selbst durchgeführt“ (Day et al., 1989; zit. nach Neber, 1996, S. 427).

Dies ist wiederum die Basis für `interaktive Instruktion´ bzw. `reziprokes Lehren´. Zuletzt ist es möglich, die Elemente der Problemlösung eher offen zu halten, was dem „entdeckenden Lernen“ nach Neber (1988) entspricht. Strategien, Wissensstrukturen und Selbststeuerungsmechanismen, werden etwa durch Problembeschreibungen über „anchored instruction“ (Bransford et al., 1990) vom Lerner selbst konstruiert. Auf der Basis kognitiver Konflikte wird Vorwissen aktiviert, werden Fragen gestellt, Hypothesen entworfen und im Bereich der Naturwissenschaften empirische Verfahren zur Hypothesenprüfung entwickelt, durchgeführt und anhand der Ergebnisse kritisiert (→Forschungszyklus). Die Organisation dieser Schrittfolge (vgl. Tab. E3) stellt eine didaktische Herausforderung dar und hat wenig zu tun mit einem nur durch Abwechslung begründeten Methodenwechsel hin zu offenerem Unterricht! Hepting (2008) beschreibt schematische Zusammenhänge zwischen lehrerorientierten, schülerorientierten und adaptiven Lernumgebungen und einem möglichen Wechsel der unterschiedlichen Lern- und Lehrphasen sowohl auf Lehrer- als auch auf Schülerseite (Abb. E19). Auf der Basis dieser didaktisch wie auch mathetisch ausdifferenzierten Vorgehensweisen lassen sich konkret die zahlreichen Bedingungen für erfolgreiches inklusives Unterrichten effizient erfüllen.

F 4 Intersektionalität und Gendering

Vor mehr als 60 Jahren (1948) hat der amerikanische Psychologe Robert J. Havighurst (1900-1991) sein Werk über „Entwicklungsaufgaben“ veröffentlicht. Er beschreibt dort elementare Ansprüche, die von allen Menschen einer bestimmten Altersgruppe unbedingt erfüllt werden müssen, damit sie ihre individuelle Lebenstüchtigkeit entwickeln können. Hierzu zählen für die Gruppe der Pubertierenden die folgenden:

- Position in der peer-group einnehmen
- Geschlechterrolle entwickeln
- Geistige Fähigkeiten entwickeln
- Berufliche Orientierung
- *Einstellungen finden gegenüber sozialen Gruppierungen und Einrichtungen*
- Vom Elternhaus loslösen
- Moralisches Urteilsvermögen entwickeln
- Wertvorstellungen entwickeln

Wenige Jahre später (1954) erschien vom Gründervater der Humanistischen Psychologie Abraham H. Maslow (1908-1970) die Bedürfnispyramide. In ihr finden sich die menschlichen Grundbedürfnisse, welche innerhalb des Individuallebens erfüllt werden müssen und die keinesfalls wegrainiert oder wegargumentiert werden können. An prominenter Stelle findet sich dort das Bedürfnis nach Anerkennung, Selbstverwirklichung und sozialer Eingebundenheit:

- Überleben: Ernährung, Gesundheit, Kleidung, Wohnung, Hygiene
- Sicherheit: Lebensmittel, Luft, Wasser, Boden
- Soziale Zugehörigkeit: Kommunikation, Kultur, Mobilität
- *Anerkennung und Selbstverwirklichung: Arbeit, Konsum, Freizeit, Mitbestimmung, Verantwortung*

Es zählt für eine Lehrer und eine Lehrerin und erst recht für jemanden, der in der LehrerInnenbildung Verantwortung trägt, zu den wichtigen Fragen, inwieweit Schularten, Fächer und Lehrpläne genau diesen Entwicklungsaufgaben und Grundbedürfnissen von Schülern und Schülerinnen Rechnung tragen. Begriffe wie Binnendifferenzierung, Individualisierung und Inklusion finden hier rasch ihre Anwendung. Beim genauen Hinsehen erweisen sie sich oftmals nicht als praxistauglich. Dies jedoch nicht, weil sich das, was sie meinen, für den Schulalltag nicht eignet, sondern vielmehr, weil der tägliche traditionelle Unterricht andere Prioritäten aufweist⁵¹⁸.

Noch immer gehen viele Lehrkräfte von der Vorstellung homogener Lerngruppen aus, als ob die sich als „Achtklässler eines Gymnasiums“, als „M-Zügler der Mittelschule“ oder als „Realschul-Absolventen“ befriedigend kategorisieren ließen. Dass es das nicht gibt, nie gegeben hat, zeigen zahlreiche Untersuchungen, die sich mit der vornehmlich in den 70er-Jahren in den USA verbreiteten und mittlerweile widerlegten Idee von Bloom (1976) auseinandersetzen, wonach jedem alles gelehrt werden könne, wenn nur die geeigneten Lernbedingungen geschaffen und die erforderlichen Lernzeiten geboten werden. „Die Ergebnisse dieses Unterrichtsmodells sind eher enttäuschend, weil sich gezeigt hat, daß

⁵¹⁸ Wie groß die Diskrepanzen weltweit sind, aber auch wie sehr an der Realisierung gleichwertiger Bildungschancen gearbeitet wird, zeigt der UNESCO-Weltbildungsbericht 2020 (Global Education Monitoring Report 2020). In Österreich gibt es hierzu das Konzept „LehrerInnenbildung NEU“ zur Ausbildung von Lehrkräften in „Inklusiver Pädagogik“, was allerdings nicht vollständig umgesetzt ist! In Bayern bietet die LMU München das Projekt „Inklusionsdidaktische Lehrbausteine“ -!DL“ an zur „inkluisiven Lehrerbildung“ (<https://www.idl.lehrerbildung-at-lmu-mzl.uni-muenchen.de/index.html>)

bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen der Schüler große Unterschiede in der benötigten Lernzeit bestehen, wenn man gleiche Lernleistungen erstrebt; oder es treten erhebliche Differenzen in den Lernleistungen auf, wenn man gleiche Lernzeiten gewährt“ (Weinert, 1994, S. 280).

Die Intelligenzforschung hat mittlerweile Ergebnisse gezeigt, wonach ererbte geistige Potenziale etwa zu 50% die Lern- und Verstehensleistung beeinflussen, ein Viertel besorgen familiäre und soziale Umwelten und ein weiteres Viertel beruht auf der individuellen und teilweise selbst geschaffenen Umwelt (Weinert, 1990, 1999). Und es ist heute keine ernste Frage mehr, dass die Scheren zwischen den Interessen, den Anstrengungsbereitschaften und Fähigkeits- wie Fertigkeitsentwicklungen der Schüler und Schülerinnen in deren Freizeit, in den besonders langen (Sommer-)Ferien aufgehen und eben nicht in der Schule⁵¹⁹. In ihr entstehen im Verlaufe der Unterrichtszeit Konvergenzen und ein Lernkontinuum. Beides spricht für die Notwendigkeit, angemessene und interessel fördernde Freizeitangebote außerhalb der vom Stundenplan diktierten Fachunterrichtszeit anzubieten. Dennoch ist die Heterogenität innerhalb von Lerngruppen, wie Schulklassen es eben sind, eine natürliche Lehrbedingung. Die Vielfalt an individuellen Lernbedürfnissen ist ebenso umfangreich wie die der jeweiligen Lernfähigkeiten. Eine mittlerweile schon wieder klassische Reaktion auf diese Einsicht ist die Ausweitung der unterrichtlichen Methodenvielfalt in Verbindung mit der Unterstützung von Eigenaktivität und der Reflexion angewendeter Lernstrategien (Meyer, 1987, Weinert, 1997; Hepting, 2008).

Auch wenn es sich hier um das Aufgreifen reformpädagogischer Errungenschaften handelt, gelingt es nicht immer, dieser Zielsetzung gerade heute entwicklungspsychologisch gerecht zu werden. Die „moderierende“ Lehrperson, die sich beobachtend den sich etwas erarbeitenden SchülerInnen als fallweiser Ansprechpartner zur Verfügung stellt und sich –wie es oftmals heißt– „zurücknimmt“, muss sich zuerst einmal „eingebracht“ haben. Um den SchülerInnen deren mathematische Holpflicht erfüllbar werden zu lassen, muss die Lehrperson ihre didaktische Bringpflicht erfüllt haben (Anton, 2008, S. 45).

Man weiß heute, dass Freiarbeit, projektorientierter Unterricht oder anspruchsvolle Projekte nur die SchülerInnen weiterbringen, die bereits gut und sicher selbst organisiert arbeiten können. Alle anderen sind damit überfordert, d. h. sie haben keine Erfolgserlebnisse und verlieren Lust und Interesse am Fach, schlimmstenfalls an der Schule (Weinert, 1997c). Es gibt „viele Belege dafür, dass Durchhaltevermögen und Selbstvertrauen die Leistungsunterschiede zwischen verschiedenen Personen weit besser erklären als Intelligenz“ (Nazlic & Frey, 2009).

Es ist also nur konsequent, wenn die SchülerInnen langsam, sozusagen `flach`, in kleinen Schritten (`Small-Step-Teaching`) an anspruchsvolles selbstgesteuertes Lernen

⁵¹⁹ „Wir Ökonomen haben `Kindheit` viel zu lange als einen einzigen Lebensabschnitt betrachtet. Inzwischen denke ich, dass das ein Fehler war. Denn sonst gäbe es nicht so gravierende Unterschiede: Wenn man benachteiligte Kinder sehr früh fördert, sind die ökonomischen Effekte enorm; wenn man sie erst im Jugendalter unterstützt, sind die Effekte minimal. Manchmal erzielen solche Programme sogar negative Renditen!“ (Träger des Nobelpreises 2000 für Wirtschaftswissenschaften James J. Heckman, 2009; vgl. hierzu auch Jäger, 2013).

Hier bewahrheitet sich auch ein Ergebnis aktueller neurobiologischer Untersuchungen, wonach „Die Lehrperson und der Mitschüler ... dem S. als Modell für die Spiegelung und Übernahme von Handlungsstrategien im Rahmen einer *zwischenmenschlichen Beziehung*“ (dient) (Bauer, 2006) sowie, dass Unterricht ... von SuS dann als `gut` empfunden (wird), „wenn die Arbeitshaltung der umgebenden Klasse, also der unmittelbar mitarbeitenden Mitschüler, als aufmerksam empfunden wird“ (Anton, 1998).

„Kein Geld ist sinnvoller angelegt als das, was in die Verbesserung der frühkindlichen, psychosozialen – und damit auch ökonomischen- Verhältnisse investiert wird“ (Roth, 2013; S. 70)

herangeführt werden, sich dabei bewähren und sukzessive Routinen entwickeln, um jeweils größere Hürden zu nehmen. Im Zuge einer derartigen Unterrichtskonzeption gewinnen all jene Qualitäten eines Lehrers und einer Lehrerin an Bedeutung, welche die Individualisierung des Lehrlernprozesses unterstützen. Nach Fischer (2015) muss zwischen Fördern und Fordern deutlich unterschieden werden: „Im *Förderunterricht* werden individuelle Lerndefizite gezielt angegangen. ... Zentral ist in diesem Konzept die Lehrperson, die aktiv eine Beseitigung der Lerndefizite anstrebt. Im Kontrast dazu steht der *Forderunterricht*, der sich an den individuellen Potenzialen der Schülerinnen und Schüler orientiert. Die angebotenen Aufgaben weisen über das normale schulische Anforderungsniveau hinaus“ (S. 34). Nach Wagner & Neber (2007) handelt es sich hierbei um „die Dauer der Beschäftigung mit dem Gegenstand, die Intensität des Arbeitseinsatzes und die Komplexität bzw. das Schwierigkeitsniveau der Aufgabenstellung“ (S. 74). Gefordert ist dabei Beobachtungsgabe, Aufmerksamkeit, Empathie, Reaktionsbereitschaft und intensive Auseinandersetzung mit der ganzen Person des Lernalters und der Lernerin, wobei auch hier jede Lehrkraft ihre Entwicklungsaufgaben zu lösen hat (Hepting, 2008).

Was bedeutet aber jetzt „Auseinandersetzung“ in diesem Zusammenhang? Sie kommt zunächst ganz trivial daher, etwa indem der Lehrkraft die Namen seiner SchülerInnen möglichst früh geläufig sind, fallweise auch deren Bedeutung im jeweiligen Kulturkreis. Hinzu kommt das Wissen um Eigenheiten wie Schrift, Schreibgeschwindigkeit, Freude am Gestalten oder nur Verspieltsein, hohes oder fehlendes Kommunikationsbedürfnis, ob Erzähler oder Zuhörer, ob Interesse vorliegt an einzelnen Optionen des Fachs, in Chemie und anderen Naturwissenschaften etwa am handwerklichen Experimentieren, am wortreichen Beschreiben von Phänomenen oder schon am Hinterfragen von Ursache und Beziehung. Hierfür ist es unabdingbar, dass eine Lehrkraft ihre Fächer besonders gut beherrschen und die Schwierigkeiten und die Motivationsdefizite aber auch die Lern- und Merkhilfen kennen, welche mit bestimmten Inhalten verbunden sind. Damit geht einher, dass eine Lehrperson auch genderspezifische Lernangebote ihres Fachs kennt und diese gezielt auch an die jeweils andere Gruppierung adressiert und sowohl handlungs- als auch performanzorientiert methodisch ausformt (Kreienbaum & Urbaniak, 2006; Vetrovsky, 2006), wobei hier der Streit, ob monoedukative Klassen etwa im Bereich der naturwissenschaftlichen Fächer den koedukativen vorzuziehen sind, nicht ausgeführt werden soll (Weber, 2011). Dennoch sei darauf hingewiesen, dass „die besseren Noten von Mädchen durch ihre höheren überfachlichen Kompetenzen, im Besonderen ihre bessere Selbstorganisation eigener Lernprozesse und ihr an schulische Anforderungen besser angepasstes Sozialverhalten erklärt werden können“ (Hannover & Kessels, 2011), wohingegen wiederum bei Buben ein eher weniger schulangepasstes Verhalten festgestellt werden kann, wie etwa „Experimentierfreude, Risikobereitschaft, unter Coolness suggerierendem Understatement verborgene Anstrengungsbereitschaft in Schule und Beruf“ (Möller, 2012, S. 46), was sich in einem erhöhten Bewegungsdrang und in einer eher explorativ und weniger sprachlich ausgerichteten Aktionspräferenz äußert (Baier, 2013). Bezüglich des Fachs Chemie stellten Ziegler et al. (2000) an einer SchülerInnenpopulation zum Beginn der Jgst. 8 fest, „daß bereits zu diesem frühen Zeitpunkt, zu dem noch keine Unterrichtserfahrungen verfügbar waren, Mädchen in der Chemie über deutlich weniger Selbstvertrauen als Jungen verfügen“ (S. 66). Es wurden hier vier Erklärungsvariablen zugrunde gelegt: Chemische Vorerfahrungen, Chemisches Vorwissen, Einschätzung der Chemie als Jungenfach und Veränderbarkeit der eigenen Begabung für Chemie. Aus den Ergebnissen wird geschlussfolgert: „*Eine fachlich fundierte Beschäftigung mit der Chemie bereits vor dem erstmaligen Chemieunterricht ist*

also für eine Stärkung des Selbstvertrauens der Mädchen günstig“ (S. 74, kursiv im Original).

Eine fachspezifische Interessenentwicklung wird jedoch nicht nur über die Inhalte gesteuert, sondern auch –und nicht unerheblich- über die „sozial geteilte Bedeutung“, also über das Image, das ein Fach besitzt bzw. das denjenigen anhaftet, die dieses Fach in seiner beruflichen Manifestation vertreten. Dabei handelt es sich um die „Prototypen eines Faches“ (Kessels & Hannover, 2006). Dieses Schema wird automatisch dann aktiviert, wenn Begegnungen mit Physik oder Chemie erfolgen. Das bedeutet in der Konsequenz, dass der Chemieunterricht auch dazu beitragen muss, dieses Prototypenbild positiv zu beeinflussen, sodass das sich entwickelnde Fachinteresse mit einer für Jugendliche attraktiven Darstellung der Fachvertreter einhergehen kann. Sonst empfindet sich ein Mädchen, das sich für Chemie interessieren würde, in den eigenen Augen (Selbstdefinition) für die Männerwelt als uninteressant, da es sich nicht für die von männlicher Seite aus eher weiblichen Attribuierungen entschieden hat. Genau dies kann zur Abkehr vom Fach Chemie beitragen.

Darüber hinaus ist es wichtig, dass LehrerInnen eines bestimmten Fachs sowohl die Leistungen ihrer SchülerInnen innerhalb des Fachs sowie deren Peer-Positionierung innerhalb des Klassenverbandes wie auch Leistungen in anderen Fachbereichen und innerhalb des Schullebens wahrnehmen. Hierzu zählen dann Engagements in der Schülermitverantwortung, im Schulchor- und -orchester, in der Schulmannschaft, als KlassensprecherIn oder MediatorIn oder als SchulsanitäterIn. Es ist auch sehr von Nutzen, wenn man von den sehr guten oder sehr schlechten Leistungen in anderen Fächern weiß und alle SchülerInnen darauf hin auch ansprechen kann⁵²⁰.

LehrerInnen sollten sich auch kontinuierlich über Trends informieren, die in der Gesellschaft die Aufmerksamkeit und das Engagement der Jugendlichen besonders beeinflussen und deren Kräfte beanspruchen. Dabei geht es nicht um das Mitmachen, sondern um eine kritische Reflexion u. U. zusammen mit den SchülerInnen, was heute im Rahmen der Medienpädagogik ein vorrangiges Aufgabengebiet darstellt.

Es geht also nicht um das fraglose Beibehalten von optischen Ersteindrücken wie „dunkler Teint“, „Kopftuch“ oder biologisches Geschlecht, wodurch der Sexualdimorphismus zur Ursache der Gender-Gap wird, sondern vielmehr um ein darüber hinausgehen. Um schulisches Lernen für alle Schüler attraktiv, leistbar, erfolgversprechend und persönlichkeitsbildend zu gestalten, müssen genau die Merkmale eines Menschen bewusst wahrgenommen werden, welche keinerlei Korrelation zum biologischen Geschlecht aufweisen und äußerlich nicht sichtbar sind.

Das Gender-Problem entsteht und erhält sich auch dadurch, dass die rasch erkennbaren Eigenschaften eines Menschen, die in der Regel keine direkte Kontaktaufnahme und Nachfrage nötig machen, also Geschlecht, ethnische Erscheinung und rituelle Bekleidung bereits eine Klassifizierung und Kategorisierung festschreiben, die dann als „Vorurteil“ so stabil sind, dass es zu einem „Nachurteil“ im Sinne einer Verfeinerung, Relativierung und Korrektur scheinbar nicht zu kommen braucht. Dies ist im öffentlichen Leben schon äußerst problematisch, weil irreführend und zu gänzlich unrealistischen Schlussfolgerungen verleitend. In der Schule potenziert sich diese Fehlhaltung, da Kinder und Jugendliche die hinter den „Vorurteilen“ liegenden

⁵²⁰ Auch Lehrerinnen und Lehrer müssen Entwicklungsaufgaben lösen (vgl. Hericks, 2009):

- Rollenfindung: Lehrstil
- Vermittlung: Didaktische & mathetische Aufbereitung
- Anerkennung: SchülerInnenwahrnehmung
- Kooperation: Nutzung institutioneller Rahmenbedingungen

Persönlichkeitsmerkmale erst stabilisierend ausbilden müssen und die von ihnen ausgehenden Reize keinesfalls bewusst steuern.

Von Seiten der SchülerInnen werden die Entwicklungsaufgaben und Grundbedürfnisse nach Anerkennung, nach Erfolg, nach Identifizierung und Förderung der eigenen Stärken, der Wunsch sich auszuprobieren und dabei individuelle Interessenmuster und das eigene Fähigkeitsselbstkonzept zu entwickeln als herausragend bedeutsam erlebt. Alexander Sutherland Neill, der Gründer der Summerhill-School (1921) unterstreicht dies: „Kinder brauchen Liebe und Verständnis nötiger als Unterricht“ (Neill, 1969, S. 127). Das entspricht ganz den Motivationskriterien der Self-Determination Theory (SDT) nach Deci & Ryan (2008; Ryan & Deci, 2000).

- Kompetenz (Anwendungskönnen)
- Autonomie (Kontrollüberzeugung, Vitalität)
- Soziale Eingebundenheit (Akzeptanz, Anerkennung)

Auch wenn die Anerkennung per se ein unverzichtbarer Antrieb für Interesse und Leistung ist, so wirkt sie sich für die Geschlechter nicht automatisch in allen Fachbereichen gleichermaßen aus. So gelten für die Naturwissenschaften, vornehmlich für die Chemie eher männliche Attribute „hart“, „technisch“, „sachlich“, „materialistisch“ usw. als typisch. „Für Mädchen ist es daher insbesondere in der Pubertät schwierig, gleichzeitig als weiblich und als naturwissenschaftlich interessierte oder begabte Person wahrgenommen zu werden. Allzu oft werden Interessen und Begabungen im naturwissenschaftlichen Bereich verdrängt, um in der Selbst- und Fremdwahrnehmung als weiblich und attraktiv wahrgenommen zu werden“ (Lembens, 2012, S. 42). Hieraus erwachsen vermutlich auch die immer wieder festgestellten unterschiedlichen Attributionen von Leistungsergebnissen bei Buben und Mädchen. Schulisches Lernen muss hier begleitend Einfluss nehmen und liefert dabei über jedes einzelne Fach und dessen Inhalte wie Methodiken angemessene und herausfordernde Gelegenheit für Erfolgserlebnisse aber auch für Niederlagen und Neuanfänge (Blaes et al., 2012). Auch die Lehrkräfte selbst entwickeln ein geschlechtsbezogenes „Professionsempfinden“ (Lengauer, 2023).

Der Titelbegriff „Intersektionalität“ (*engl. Intersection = Kreuzung, Schnittpunkt*) beschreibt diese gleichzeitige Vielfältigkeit von Nachfrage, Angebot, Wettbewerb, Erfolg und Misserfolg, Korrektur, Umkehr, Neubeginn, wie sie sich für jeden einzelnen Schüler und jede einzelne Schülerin darstellen und „als überschneidende Systeme“ (Schneider, 2014) zu oftmals sehr schwierig abzusichernden Entscheidungen herausfordern.

Gendersensibler inklusiver Unterricht zeichnet sich dadurch aus, dass das biologische Geschlecht, die ethnische Erscheinung und die rituelle Bekleidung sowie Analoges primär ignoriert werden können. Er geht eben `nur` einige Schritte weiter und berücksichtigt die dahinter liegenden Besonderheiten, die die jungen Menschen in der Schule wieder einander ähnlich werden lassen. In dieser Konvergenz lässt sich auch besser fordern und fördern (Wischer, 2014). Schon mit Kleinigkeiten können Erfolge in der bildungswirksamen Erziehung erzielt werden. So ist der Effekt des Lobes „Du bist ein guter Experimentator!“ langfristig und wirksamer als die Bemerkung „Du hast gut experimentiert!“, was mehr auf Einmaligkeit⁵²¹ und nicht auf ein Persönlichkeitsmerkmal hindeutet (Bernard & Zeibig, 2014; Bartens, 2017). Analog ist die fragende Aufforderung „Kann ich das schaffen?“-„Ja, das kann ich schaffen!“ motivierender als die selbstsuggestive Behauptung „Ich werde das schaffen!“ (Disalvo, 2014). In dieser

⁵²¹ Besonders in jungen Jahren (Vorschule, Grundschule) erscheint es nach Kohn (2005) wiederum sinnvoll, primär die Einzelleistung zu honorieren und nicht ein (sich noch ausbildendes) Persönlichkeitsmerkmal, um den sich hierzu entwickelnden Stolz als `authentisch` und nicht als `anmaßend`, arrogant erscheinen zu lassen

Konvergenz werden die Entwicklungsaufgaben in Gemeinschaft leichter lösbar und die Grundbedürfnisse leichter erfüllbar. Indem sich frustrationstolerante Persönlichkeiten ausformen, werden Misserfolge konstruktiv verarbeitet, indem Anerkennung und Freundschaft erlebt werden, werden enge Beziehungen möglich, indem Hilfe erfahren wird, entsteht Hilfsbereitschaft, im Eingespantsein in Wettbewerbe lernt man das eigene Durchsetzungsvermögen, in der Atmosphäre des Angenommenseins kann sich Toleranz entwickeln und im Interessewecken für sich selbst, bleibt man neugierig und vielseitig interessiert. Dann erst werden die persönlichkeitsimmanente Geschlechterrolle, das gesicherte ethnische Heimatbewusstsein und die provokationsfreie Demonstration von Haltungen durch überzeugte Rituale herausgebildet. Es entsteht damit nicht Gleichheit, sondern Gleichwertigkeit und das ist ein erklärtes Bildungsziel! So sind Schulleistungen „also stets Leistungen der Schüler, die durch die Schule begünstigt oder erschwert werden“ (Weinert, 2001, S. 15).

Zudem spielen die Bezugsnormen (normativ, sozial, individuell) eine nicht unwesentliche Rolle für die Entwicklung des Selbstbewusstseins und des Fähigkeitsselbstkonzept. Dies wird durch eine Untersuchung von Pekrun erneut bestätigt (Meldung vom 18.11.2015):

(http://www.uni-muenchen.de/informationen_fuer/presse/presseinformationen/2015/pekrun_lernen.html und [Lernen mit Gefühl - Ein Interview mit dem LMU-Psychologen Reinhard Pekrun über den Zusammenhang von Emotionen und Lernerfolg](#))

F 5 Digitalisierung

Der Begriff „Digitalisierung“ wird seit Mitte der 1980er Jahre in Deutschland verwendet. Er leitet sich her aus dem englischen Wort „digit“, das mit „Ziffer“ übersetzt wird und somit gut mit der Datenumwandlung von kontinuierlichen analogen Formen zu digitalen, hier binären (0 und 1) Signalen in Bezug gebracht werden kann.

Ein anderer etymologischer Zugang gelingt über das lateinische Wort „digitus“ für Finger. Die Philosophin Sybille Krämer (FU Berlin) entwickelt hieraus eine sehr anschauliche und zugleich überraschend folgerichtige Herleitung: „Die Finger einer Hand bilden eine abgegrenzte Menge klar unterscheidbarer Einheiten ... Und doch ist dies ein noch allzu statisches Bild. Erst Finger in ihrem Zusammenspiel bergen das performative Potenzial der Hand, das verkörperte Tätigwerden als Option. Das Digitale ist somit prozessual zu verstehen: Digitalisierung ist ein Vorgang, der auf der Zerlegung eines Kontinuums beruht, die Codierbarkeit dieser Elemente einschließt und auf deren (Re-)Kombinierbarkeit zielt. `Digitalisierung´ meint also jene Transformation, bei der etwas, das als kontinuierlich und also `analog´ gelten kann, in Einzelelemente beziehungsweise Einzelschritte aufgespalten wird, die ihrerseits eindeutig chiffrierbar sind und zu variablen Strukturen zusammengefügt werden können“ (2022, S. 10). Vor diesem Vorstellungshintergrund kann nach Krämer das Alphabet schon als Prototyp einer Digitalisierung angesehen werden, mit dem „das Kontinuum des Sprechflusses“ zerlegt werden kann. Spinnt man den Faden weiter, dann handelt es sich auch beim PSE um ein digitales System. Mit einem solchen „effizienten Ordnungsregister“ können beliebige Verbindungen und Reaktionsverläufe formuliert und auch wieder zerlegt werden! Auch die Bauteile eines Atoms oder die unterschiedlichen Definitionen eines chemischen Fachbegriffs wie etwa „Oxidation“ lassen sich so in diesen Gedankengang einfügen.

Nach Krämer bedeuten neben der Aneinanderreihung von Zeichen, etwa die Angabe der Summenformel von Schwefelsäure H_2SO_4 , auch die Anordnung von x- und y-Werten in einem flächigen Diagramm bereits eine systematische Handlungsweise, die zu unendlich vielen Variationen führen kann. Es scheint kein großes Hindernis zu sein, auch die Dreidimensionalität mit ihrem unten-oben, links-rechts und vorne-hinten als beliebig ausfüllbares System der Veranschaulichung von Beziehungen zu verstehen.

Digitalisierung ist also keine Erfindung der Neuzeit, sondern ein Prinzip, mit dessen Hilfe es gelingt, komplexe, analoge Systeme in Untereinheiten zu zerlegen, die sich als Bausteine für beliebig viele andere analoge Darstellungen erweisen. Diese faszinierende Analyse erleichtert es, die Digitalisierung selbst in ein historisches Kontinuum einzubetten.

Mittlerweile beschreibt „Digitalisierung“ aber auch die Tendenz, alle Lebensbereiche mit Produkten der Digitalisierung auszustatten um sie dadurch besser ausgestalten und bewältigen zu können. Die Schule, der Unterricht und die diesbezüglichen Rahmenbedingungen wie Familie, Freizeit usw. sind davon nicht mehr abzutrennen. Die Pandemie hat beispielsweise Chancen und Gefahren in nahezu allen Facetten aufgezeigt.

E 5.1 Eine kurze Geschichte der Unterrichtsmedien

Über viele Jahrzehnte hinweg waren neben der Lehrkraft die grüne Wandtafel mit weißer, selten bunter Kreide und Schwamm, die schwarze Schiefertafel mit angehängtem Tafellappen und Griffel, das Heft mit Tintenfeder und Bleistift, auch mit Farbstiften und das bebilderte Schulbuch standardisierte, obligatorische und verlässliche Medien im Schulunterricht aller Schularten und Fächer. Die Interaktionen während des Unterrichtens waren ebenfalls mustertreu. SchülerInnen und LehrerInnen waren wechselseitig berechenbar. Die Ziele unterlagen keiner wesentlichen Diskussion und dies galt auch für Lehrpläne und Zeugnisse mit ihren Bemerkungen über Fleiß und Betragen.

Zu den fortschreitenden äußerlich gut erkennbaren Veränderungen zählten die jeweils neuen Hilfsmittel, mit deren Hilfe im Unterricht neben der Erhöhung des Lehrlern-Tempos mindestens zwei Dinge verbessert werden sollten: Die Veranschaulichung ausgewählter Unterrichtsgegenstände und die Konservierung dessen, was gemeinsam erarbeitet worden war. Stenografie war in der Schule nie richtig etabliert. Neben den von Frühbeginn an eingesetzten Originalobjekten wie Tiere und Tierpräparate, Pflanzen aus dem Garten und getrocknet aus dem Herbar, Lebensmittel und Materialproben wie unterschiedliche Gesteine aus der Mineraliensammlung, traten aber auch technische Gerätschaften wie etwa die Lupe und das Sezierbesteck. Wandkarten sowie Fotografien und kunstvoll gezeichnete Karten exotischer Fauna und Flora standen ebenfalls zu Diensten. Sehr früh war es auch schon –und das gilt bis heute- üblich, mit Modellen, etwa zum Blütendiagramm oder zum Aufbau von Kristallen bis zum Atommodell, das kaum oder eben nicht Sichtbare vertretungsweise „sichtbar“ und dreidimensional auch haptisch erfahrbar zu machen. Es war dies unabdingbar, um sich Bilder zu machen und darüber reden zu können. Eine weitere, allerdings nicht überall realisierbare Form des medialen Erlebens, war neben dem Schulgarten die Arbeit im schuleigenen Fotolabor. Hier konnten interessierte Schüler ihre eigenen Schwarzweißaufnahmen entwickeln und vergrößern sowie unterschiedlichen Verfremdungseffekten unterziehen. Bald kamen Diaprojektoren, 16- und 8 mm-Projektoren, das Epi diaskop (mit sehr teuren Lampen), Videorecorder mit „kastrierten“ Fernsehern als Monitore dazu und machten das Medienangebot für Lehrer und Schüler attraktiver. Mikroskop und Binokular ergänzten diese Wirkung vornehmlich in den auch experimentell ausgerichteten naturwissenschaftlichen Fächern. Diese Technik hatte einen ausgesprochen hohen Belohnungswert, speziell für „brave“ Klassen, auch weil man beim Betrachten von Dias und Filmen verdunkeln musste! Tonbandgeräte fanden besonders im Rahmen der Sprachlabore intensive Nutzung. Schon eher revolutionär war die Erfindung des Tageslicht- oder Overhead-Projektors. Mit ihm war es möglich, hochindividuelle Gestaltungen des Unterrichtsmaterials vorzunehmen. Die professionelle Anfertigung von Folien war Bestandteil von Lehrerfortbildung. Zur Standardausrüstung aller Lehrer gehörten wasserlösliche und permanente Filzstifte sowie Zeigestäbe aller Art, mit denen sich Wichtiges unkompliziert, aber aufmerksamkeitsfördernd hervorheben ließ. Das sehr Besondere am OH-Projektor wirkte sich in der Tatsache aus, dass der Lehrer während der Nutzung des OHP der Klasse zugewandt war, sie also im Auge behielt! Diese disziplinierende Eigenschaft blieb auch durch den heute viel häufigeren Einsatz von Schwanenhals- und Dokumentenkamera sowie Visualizer erhalten.

F 5.2 Mediensystematik

Fast alle der bisher beschriebenen Unterrichtsmedien waren von den LehrerInnen aus zu bedienen und ihr Einsatz lag vollständig in seiner Entscheidungsgewalt, was bereits sehr früh die Einführung eines „Medienführerscheins“ für Lehramtsstudierende rechtfertigte (Abb. F19).

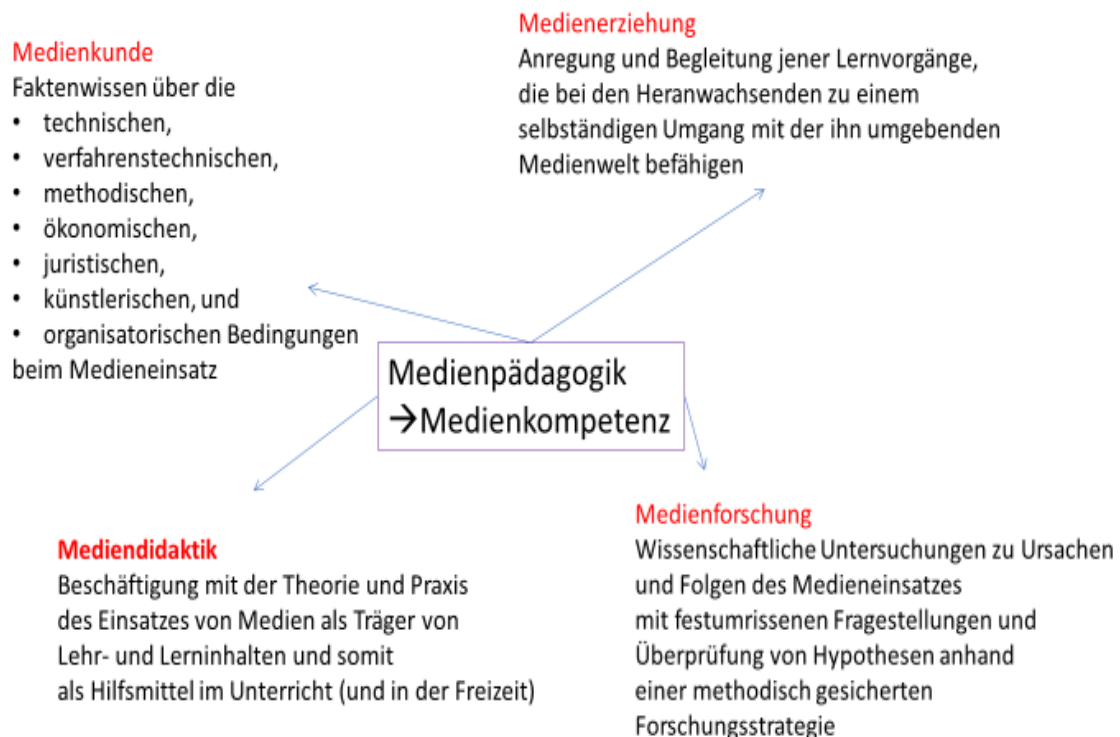


Abb. F19: Übersicht zu den Teilbereichen der Medienpädagogik, die sich auch als Beschreibung einer modernen Medienkompetenz verstehen lassen.

Die alleinige Medienwahl durch die Lehrkraft änderte sich bereits im Kleinen durch die Erfindung des Taschenrechners. LehrerIn und vereinzelt SchülerIn nutzten dieses faszinierende Arbeitsmittel primär privat, außerunterrichtlich. Abakus (Rechenhilfe mit verschiebbaren Holzkugeln) in der GS und Rechenschieber sowie Logarithmentafel verloren rasch ihre Bedeutung, ohne Trauer zu verursachen! Im Unterricht war der Taschenrechner zunächst verboten. Seine Weiterentwicklung und die zunehmend preisgünstige Verfügbarkeit zwangen die Schulleitungen, das ISB (München) und letztlich das Kultusministerium zum Einlenken und zur Festsetzung von Gerätetyp und Anwendungserlaubnis, etwa bei Prüfungen. Daran erinnert sich heute kaum mehr jemand!

Im Hintergrund dieser Entwicklungen von OHP und TR veränderte eine weitere Erfindung das Verhalten und die Chancen zur Arbeitserleichterung bei LehrerInnen und bald auch von SchülerInnen. So wurde der spiritusbetriebene Umdrucker zur Vervielfältigung von Schulaufgaben und anderen Vorlagen auf Matrizen, welche von Schreibmaschine und Korrekturlack, in Chemie auch von Schablonen, abhängig machten, bald durch den Fotokopierer ersetzt. Jetzt war es möglich, ergänzend oder alternativ zum offiziellen Schulbuch und gedrucktem Arbeitsbuch eigene Entwürfe von

Arbeitsblättern zu kreieren und rasch zu vervielfältigen. Neben Buch und Schulheft wurde bald der Leitz-Ordner ein wichtiges Sammlungsgerät für diese zum Schuljahresende hin oft ausufernden Unterlagen. Das Kultusministerium bemühte sich `verzweifelt`, die davon tangierten Urheberrechte der Verlage in den Griff zu bekommen. Die Entwicklung des technischen Equipments für Schüler und Lehrer nahm jetzt Fahrt auf. Der PC (Personal Computer), am Anfang noch eine kostenbedingt „exotische“ Anschaffung im privaten Bereich bei LehrerInnen und SchülerInneneltern, erwies sich nicht nur als eine weitere Ergänzung auf dem Medienmarkt, sondern mit ihm eröffnete sich eine neue Dimension von Veranschaulichung, Speicherung und Reproduktion, wobei Exaktheit, Geschwindigkeit und Weitergabe von Informationen von Diskette bis Memory-Stick die bisherigen Medien in den Schatten zu stellen begann.

Zugleich wird intensiv an der „Digitalen Kompetenz“ von `Lehramtlern` gearbeitet. Das IPN (Kiel) zeigt, dass das jugendliche Umgehen-Können mit dem PC bei weitem keine deckungsgleichen Effekte auf dem Gebiet der „Computer- und Internetanwendungen“ (ICT-Literacy) zeitigt. Deshalb wird über ein Projekt „Computer- und Informationsbezogene Basiskompetenzen bei Studierenden und angehenden Studierenden“ (CiBaS) versucht, die einschlägigen Defizite hinsichtlich `digitaler Souveränität` zu diagnostizieren (IPN-Journal 2 (2018) 4, 38-43).

Merke auch: Nicht nur Lehrpläne und Stundentafeln sind politische Instrumentarien, auch der jeweilige Sachaufwandsträger, der u.a. für die apparative Ausstattung der Schulen verantwortlich ist, unterliegt politischen Rahmenbedingungen!

F 5.3 Die Schule im Sog der Medien

Allerdings machte diese Entwicklung einen gravierenden Unterschied zu den etablierten schulrelevanten medialen Techniken! Der PC begann seinen Siegeszug außerhalb und völlig unabhängig von Schule. Vom PC mit seinen unterschiedlichen und sich rasch voneinander ablösenden Speichermedien und –kapazitäten sowie Projektionsmöglichkeiten jenseits des Monitors erfolgte rasch eine Vernetzung mit anderen PCs und auch mit den mittlerweile üblich gewordenen „Wischphones“ (Smartphones). Orts- und über WLAN-Kabelunabhängigkeit sowie das Ignorieren-Können von tageszeitlichen Limits waren mittlerweile üblich geworden. Die Verbote für die Handy-Nutzung in der Schule sind weitgehend schon wieder Makulatur. Mit einem Mal wurde es möglich, auch die alte Schultafel, die immer noch ein Alleinstellungsmerkmal von Klassenzimmern war, durch White- und Smartboards zu ergänzen, schlimmstenfalls -wie es zurzeit leider schon im GS-Bereich gehandhabt wird- zu ersetzen. Es soll an dieser Stelle nicht auch noch auf die Hochgeschwindigkeitsentwicklung von Software, von APPs (auch „LearningApps“) uvam. eingegangen werden. Das ist ein eigenes Kapitel, ebenso wie die Netzwerk-Diskussion mit Blick auf „Social Media“ etwa und nicht zuletzt die präventiven wie therapeutischen Bemühungen bei „Medienabhängigkeit“.

Es gibt jedoch auch das Bild vom „Lehrer im Sog der Medien“. Am 11.11.19 ging eine APP „Lernsieg“ ins Netz, mit deren Hilfe SchülerInnen ihre LehrerInnen anhand einer 5stufigen Likert-Skala bewerten können. Sie ist bereits wieder offline, aber nur wegen „notwendiger“ Optimierungen (Gauss, 2019).

Exkurs: Die schon seit längerer Zeit geäußerte Besorgnis, wonach im „World Wide Web“ Unverschämtheiten, Verrohungen, Diskriminierungen und Absurditäten, Mobbing in allen Schattierungen und Drohungen bis hin zum Mord in extremer Form zunehmen, gleichzeitig aber die Appelle nach Rücksichtnahme, Offenheit, Fairness ebenso verhallen wie sie mit Nachdruck eingefordert werden, lässt durchaus vermuten, dass wir es mit dem „www“ mit einem neuen weltweit wirksamen Selektionsfaktor zu tun haben. Daran angepasst sind diejenigen Zeitgenossen, die nur über die Anonymität ihrer bisher versteckten, aggressiven Dummheit, ihrer Erfahrungs- und Phantasieleere sowie der egozentrischen Rücksichtslosigkeit gegenüber Anderen und sich selbst, nachgeben können und wollen. Die anderen Menschen, die vermeintliche, doch eher tatsächliche Minderheit, behält und bewahrt ihre menschenwürdige Haltung, ist jedoch hierin zunehmend hilfloser, weil sie ihren Vorbildcharakter verliert. Zudem befördert ein Zuviel an Informationen („information overflow“) die Bildung von Vorurteilen. Das Gehirn sucht primär nach Zusammenhängen der neuen Informationen mit schon vorhandenen Erfahrungen. Bei einem Überangebot an Neuem verringert sich die Offenheit für neue Erfahrungen und vorhandene Stereotype ersetzen die eigentlich notwendigen Auseinandersetzungen, wie sie einer kritischen Wissensgenese zugrunde liegen müssten (Korte, 2017). *„Das ist der Jammer: Die Dummen sind so sicher, die Gescheiten so voller Zweifel“* (B. Russell, 1872-1970, Vertreter der analytischen Philosophie, 1950 Nobelpreis für Literatur). Und: „Die Mutter der Dummen ist immer schwanger“.

Nach den Erkenntnissen aus dem, was der „technische Fortschritt“ mittlerweile aus unser aller Leben gemacht hat und noch machen kann, sind alle diejenigen Entscheidungsträger, die trotz erzwungener und nicht mehr umkehrbarer Passivität und Re-Aktivitätsnot dennoch mehr Ordnung und System in die schulische Nutzung moderner Medien und Netzwerke (hier ist z.B. die „moodle“-Plattform zu nennen) bringen müssen, nicht zu beneiden.

Waren es bisher typische schulrelevante Medien, welche den Lehrkräften und ihren SchülerInnen Hilfe leisten sollten und die sich auch außerhalb von Schule etwa bei Vorträgen als sehr nützlich erwiesen, so handelt es sich in der Jetztzeit um Medien, die primär gar nichts mit schultypischen Bedingungen zu tun haben. Allein ihre uneingeschränkte Alltagspräsenz zwingt die Verantwortlichen dazu, sie einer schultypischen Nutzung zuzuführen. Dabei ist die Mitwirkung sogenannter „Systembetreuer“, nicht nur hilfreich, sondern –wie es mittlerweile auch die Lehrerverbände fordern- unverzichtbar. Ist dieses Angebot defizitär, bleibt es einzelnen Lehrkräften überlassen, sich in Eigenregie und unter Einsatz privater Finanzen dem Medienangebot zu stellen. Sie sind es dann, die im Kollegium auffallen, weil sie nicht nur aktuelle Hard- und Software anwenden, sondern auch deren flächendeckenden Einsatz in Verwaltung und Organisation berechtigterweise einfordern. Das gilt natürlich auch für die Implementation von Fischer- und LEGO-Elektronik, von Robotik bis hin zu den Vorstufen dessen, was wir heute als KI, als „Künstliche Intelligenz“ ansprechen. Dabei wird sicher das ChatGPT (Generative Pre-trained Transformer) zu einer besonderen Herausforderung werden, deren Folgen vorläufig nicht vorherzusehen sind; denn um Leistungsfähigkeiten von Lernenden individuell als Leistungen des Originalhirns abzutesten, müssen zukünftig komplexere Fragen (Beziehungen, Vergleiche, Strukturen etc.) gestellt werden, welche dann auch mehr der Wissensqualität „Funktionen“ entsprechen! Das bedeutet, dass die Urteilskraft und das Bewusstsein über die Relativität des vorhandenen Wissens immer wichtiger werden (Krainer, 2024). Vergleichbares gilt für die AR (Augmented Reality). „Sie soll helfen, Physik, die von [SuS] oft als abstrakt und wenig verständlich betrachtet wird, mittels Visualisierung besser erfahrbar zu machen“ (J. Kuhn, Physikdidaktik LMU Mchn, 2023). Und es geht noch weiter mit „Eye-Tracking“, mit dessen Hilfe erkannt wird, wo beim Lesen einer Online-Buchseite der Blick verweilt. Sodann werden Unterrichtseinheiten (Erklärvideos, Graphen) eingeblendet. Die Lehrkraft verfolgt dies auf dem Bildschirm, bewertet und unterstützt, etwa mittels „Rapid Assessment Tests“ (RAT). Hier sucht die KI personalisierte Aufgaben aus, indem sie Stärken und Schwächen der SuS identifiziert. Dadurch können Unterrichtseinheiten verfestigt werden. In der Summe ergibt sich schlimmstenfalls das folgende Szenario:

L verwendet Eye-Tracking zum Aufspüren von Problemzonen der SuS um dann mittels RAT die Leistungsfähigkeit der SuS beurteilen zu lassen und mit AR gezielt Lernvideos einzublenden



F 5.4 Reflexionen über den Medieneinsatz

Hierzu ein Zitat einer Lehrerin mit den Fächern Chemie und Biologie, die auf viele Jahre Erfahrung im gymnasialen Chemieunterricht und in der universitären Lehrerbildung aufbaut und die sich von Beginn an mit dem arbeitserleichternden Einsatz moderner medialer Hilfsmittel im Lehrberuf auseinandersetzt:

„Die hohe Geschwindigkeit durch die Digitalisierung hat aus meiner Sicht große Vorteile, wenn es um kooperatives Arbeiten im Kollegium geht. Meetings können mitunter ersetzt werden, weil in Echtzeit vom eigenen Rechner aus gemeinsam an Dokumenten gearbeitet werden kann (erfolgreich praktiziert beim Erstellen des Mediencurriculums, da alle Fachschaften Ihre Inhalte in die gleiche Datei eingepflegt haben und nur drei Treffen erforderlich waren für Absprachen). Außerdem z.B. der Austausch von Unterrichtsmaterialien im Sinne das Rad nicht zweimal erfinden, dafür die Erfindung laufend zu verbessern. Diese Arbeitersparnis macht für mich vor allem Sinn, damit besseres Übungsmaterial für die SuS erstellt wird, um den unterschiedlichen Lernfähigkeiten besser gerecht zu werden (Stichwort Differenzierung)“.

„Derzeit ist der größte Vorteil wohl bei den Lehrern, weil das Angebot an Unterrichtsmaterial riesig ist und, weil sie Ihre Vorbereitungen digital jederzeit leichter verändern können. Zeitverzögert kommt der daraus entstehende Vorteil aber wie ich denke auch bei den SuS an, weil bei der Unterrichtsvorbereitung aus der Fülle das gelöscht werden kann, was zu der Klasse in der Unterrichtssituation nicht passt. Nur muss sich dieses Eindampfen (der Rest bleibt ja schön digitalisiert!) der Unterrichtsmöglichkeiten erst bei den Lehrern einspielen“.

„Smartphones oder Tablets nutze ich und zwar zum Einsatz in der Mikromethodik. Ich kann z.B. für 5-10 Minuten völlig unkompliziert das Smartphone für Lernzielkontrollen einsetzen oder für die Erfassung von Schülervorstellungen durch Schülerbefragung (über einen Code bekommen die SuS direkt die Frage auf ihr Smartphone und am Beamer sehen alle die Anzahl der Meldungen/Meinungen der SuS ohne Namen zu erkennen). Dadurch aktiviere ich alle Schüler und nicht nur die acht, die sich immer melden. Auch für kurze Internetrecherchen oder Übungseinheiten (z.B. Lerningapps.org) nutze ich die digitalen Schülergeräte“.

„Von Laptopklassen halte ich persönlich deshalb nichts, weil ich nicht meinen Unterricht so gestalten möchte, dass er zum Medium passt“.

Nicht erst heute suchen solche „Laptop-Klassen“ nicht immer erfolgreich nach geeigneten Lehrplaninhalten, mit denen die Nutzung der PCs vorangetrieben werden kann. Ob dieses Problem bei den „Tablet-Klassen“ behoben ist, bleibt fraglich. Interessante und attraktive Anwendungen manifestieren sich in sinnvoller Weise in Physik und Chemie im Zuge der Messwerterfassung und der Moleküldarstellung im R3-Format. Als ebenfalls interessant und spielerisch faszinierend erweisen sich Unterrichtsprojekte zum Geocaching. In der Summe geht es nicht allein um die Frage nach einer Verbesserung des Unterrichtsergebnisses, sondern mit der jetzt proklamierten Digitalisierung um eine vernünftige! Nutzung des Mediums als solchem und vor allem außerhalb und nach der Schule. Hierzu zählen auch die Anstrengungen zur Erstellung eines „Medienkompetenz-Navigators“ als „Werkzeug zur Erstellung, dynamischen Weiterentwicklung und Publikation ihres schuleigenen Mediencurriculums“ (ISB-Newsletter 01/2019) für alle Schularten oder die Einrichtung des Wahlpflichtfachs „Informatik und digitales Gestalten“ in der Mittelschule (Bayern). Auch die „SchulKinoWochen“ leisten einen Beitrag zur Entwicklung eines kritisch konstruktiven Medienkonsums. Wenn der Bildungswert von Lehrplaninhalten gesteigert und die „Unbildung“ (Lissmann, 2006) zurückgedrängt werden soll, dann sind die Medien als

Vermittlungsdienstleister zu verstehen und die Inhalte dürfen nicht zu einer willkürlichen Anwendungschance der Medien per se degradiert werden. Um den Zweckcharakter von Medien zu verdeutlichen, veranstaltet eine bayerische Realschule eine „Install-Party“ unter dem Motto „Bring your own device“. `Medienkompetenz´ heißt das zuständige Schlagwort, welches mit dem Begriff „Sozialkompetenz“ nicht immer so ohne weiteres in Einklang zu bringen ist. Das wird dann besonders aktuell, wenn man zwar das autonome oder Selbst-Lernen („Eigenverantwortliches Arbeiten“ = EVA, „Schülerorientiertes Lernen“ = SOL) als zwei von vielen Bezeichnungen) als Ziel setzt und dabei vergisst, dass Lernen ein sozialer Akt ist, weil man sich, einander wahrnehmend, austauschen und gegenseitig unterstützen will, Feedback und vor allem Anerkennung braucht, unbedingt. „Schule als Lebensraum“ mit den ihr eigenen und eben nicht alltäglichen, ganz besonderen Optionen scheint sich zu verlieren.

F 5.5 Medien und Unterrichtserfolg

Der Nutzen gerade von den „modernsten Medien“ für den Unterricht per se, insbesondere mit Blick auf die SchülerInnen wird im Augenblick nur mehr erhofft, kaum empirisch belegt. Hier stellt sich die Frage, inwiefern die Digitalisierung, also die primäre medientechnische Nach- und Aufrüstung in den Schulen, insbesondere mit Tablets und iPads tatsächlich eine signifikant positiv gerichtete Weiterentwicklung von Unterricht sicherzustellen vermag? Werden Kompetenzen leichter und nachhaltiger erworben, wird Merkleistung unterstützt, kann Wissen besser und vernetzter generiert werden, lässt sich auf Verstandenem sicherer aufbauen, sind die problemlösenden Anwendbarkeiten fachlicher Inhalte mit größeren Chancen verbunden, werden Bildungsziele leichter erreichbar und lässt sich Dummheit wirksamer bekämpfen, gelingt die Talentförderung in verbesserter Ausprägung, wird letztendlich die Lernfreude gesteigert und werden kognitive Höchstleistungen in einem größeren Ausmaß optimiert, als es die PISA-Tests bislang zu messen hatten? Hinsichtlich der Antworten üben sich Insider in Zurückhaltung! Hierzu ein weiteres Zitat der Lehrerin (s.o.):

„Ich befürworte aber absolut den handschriftlichen Hefteintrag. Mit der digitalen Dokumentation sind Lernende überfordert (auch Erwachsene)“.

„Ich möchte Tablet, Beamer und Smartphones nicht im Unterricht missen, konzentriere mich aber mittlerweile sehr stark auf die situationsangepasste Auswahl meines digitalen Angebots bei der Veranschaulichung und das Mehrangebot für SuS in den Festigungsphasen des Gelernten“.

Bis heute lässt sich vornehmlich nur festhalten: Die früheren schulischen Anspruchsniveaus in MS, RS und GY werden heute in der Regel nicht mehr im selben Ausmaß erreicht, die Lernfreude hat nicht überzufällig zugenommen, die Arbeit der Lehrer ist nicht leichter geworden und nicht erfolgreicher, eher noch vielschichtiger und anspruchsvoller. Besser geworden ist allerdings das Abschneiden der Schüler bei jüngeren PISA-Tests. Das liegt aber eher an der veränderten Fragestellung bei schulischen Tests als Folge der Einführung der Nationalen Bildungsstandards (NBS) 2004. Die dortigen neuen Definitionen der vier Kompetenzbereiche und Basiskonzepte hat schon mittelfristig zu `modernen` (PISAähnlichen) Fragenformulierungen in Prüfungen (Oberstufenklausuren, Abitur) geführt. Auf einen Mehrgebrauch modernster Medien lässt sich das also nicht ohne weiteres zurückführen. Der Einsatz von zeitgemäßen Medien, etwa des „E-Books“ als Schulbuchersatz oder der „Googelei“ ist wichtig, z. T. unverzichtbar. Das gilt auch für den zunehmenden Markt für „Außerschulische Lernangebote“ (ASLA), inklusive professionell gestalteter Animationen oder chemischer Experimentiersets. Dass damit automatisch die Verbesserung eines bildungsrelevanten Outputs verbunden ist, erscheint mehr als fraglich (Zierer, 2019). Bis heute kommt es mit und ohne Ergebnisse der Hattie-Studie auf die Lehrperson an (s.u.), die altbewährte wie modernste Medien vorbildhaft sinnvoll, also bildungsförderlich, demnach gezielt lernerInnenorientiert einsetzt und zugleich Kriterien bereitstellt, diesen Einsatz kritisch zu hinterfragen um ihn auch fallweise begründet ablehnen zu können. Hierzu müssen möglichst viele unterschiedliche Medien mit möglichst hohem Bedienkomfort zur Verfügung stehen und nicht nur *ein* modernes! (Tab. F4); denn (nach Johann Nestroy): *„Der Fortschritt hat die Eigenschaft, sich als viel größer einzuschätzen als er es in Wirklichkeit ist“.*

Faktor	Effektstärke d
Interaktive Lernvideos	0,54
Smartphone	0,37
Einsatz von Powerpoint	0,26
Laptop-Einzelnutzung	0,16
Flipped Classroom	0,29
Digitalisierung in Mathematik	0,33
Digitalisierung in den Naturwissenschaften	0,23

Tab.F4, aus der PPP von Prof. Dr. Klaus Zierer, Universität Augsburg zum Vortrag „Wie können die Ergebnisse der Hattie-Studie den MINDT-Unterricht verbessern?“ am IMST-Tag 2019, Haus der Industrie, Wien. (Vgl. auch Zeitungsartikel „Herzen und Hirne“ von K. Zierer in SZ vom 23.10.19)

F 5.6 Medienkompetenz

Mit der LehrerInnenbildung wird deutlich; dass die natürliche! Intelligenz vor der künstlichen kommt. `Die Gefahr sind nicht die menschenähnlicher werdenden Maschinen, sondern die maschinenähnlicher werdenden Menschen´. `Natürliche Bildung´ beruht auf Erziehung und diese ist gekennzeichnet durch Beobachtung und sichere Diagnose sowie durch von Empathie getragenen didaktischen (lehr- oder inhaltsorientierte) und mathetischen (lern- oder schülerorientierte) Unterrichtsleistungen im Zusammenhang mit dem Lernen-Können am Vorbild. Der Münchner Schulpädagoge Helmut Zöpfl spricht zu Recht davon, dass die medialen Herausforderungen „pädagogisch abgefedert“ werden müssen (Zöpfl, 2019). Hierzu mag es nur scheinbar verwundern, dass „gerade in Kalifornien, also dort, wo die Digitalindustrie boomt, Kinder auf gänzlich analoge Schulen geschickt werden“ (Beck, 2020, S. 220). Man spricht auch von einer sehr teuren „analogen Premiumbildung“.

Wenn die Digitalisierungseuphorie bis hin zum Faszinosum „Künstliche Intelligenz“ in Form des „Digitalisierungspakts“ (BRD, 2019) auch hierzu Wirksamkeiten bereitstellt, sollte man sich ihr durchaus kritisch-konstruktiv öffnen, wenn sie das nicht leistet, wenn nur Geräte angeschafft werden, geraten sie bzw. er zu einer endlos aus dem Steuerfundus sprudelnden Geldquelle für einige wenige Hard- und Software-Hersteller! Ernstzunehmen ist auch die Befürchtung des Pädagogen Andreas Gruschka: „Didaktik schlägt um in entgrenzte Didaktisierung und die Ersetzung der Vermittlung von etwas durch die Vermittlung von Techniken der Vermittlung“ (2011, S. 29).

Wehret also dem scheinbar harmonischen Dreiklang aus „Entscheiden→ Nachdenken→ Erschrecken!“, auf dass wir, wie Norbert Wiener (Erfinder der Kybernetik) es 1948 ausdrückt „nicht die Peitsche küssen, die auf uns einschlägt“. Doch nicht erst heute wird, insbesondere von Wirtschaft und Industrie sowie auch auf politischer Ebene die Forderung erhoben, die junge Generation zu einer kritischen Offenheit gegenüber Innovationen und technologischen Weiterentwicklungen zu erziehen. Das Stichwort hierzu heißt „Digitale Grundbildung“, die ohne die bewusste und unverzichtbare kritische Distanz nicht vollständig wäre (vgl. Precht, 2020). Gerade der Umgang mit der KI (AI), etwa zur schnellen und umfassenden Klärung von Begriffen und Aufgaben erfordert deutlich mehr Wissen, Vernunft und Kritikfähigkeit als bisher gefragt war, da es immer schwieriger wird, vordergründig in sich logische Texte sachlich zu bewerten. Das vorhandene Wissen relativiert sich. Man erkennt, dass die eigene Urteilsfähigkeit, etwa ob etwas richtig oder falsch ist, wiederum auf einem begrenzten Wissensstand beruht. Damit wird jede/r von uns auf die Absicherung des eigenen Wissens zurückgeworfen. Dies wiederum führt dazu, sich erneut am Konkreten zu versichern. In Chemie ist das das experimentelle Phänomen.

Vereinzelte geschieht diese Wegbereitung durch die von der Wirtschaft zur Verfügung gestellten Experimentiersets für den Chemieunterricht (Abb. F20). Mit ihnen soll es ermöglicht werden, aktuelle Entwicklungen (hier: Produktinnovationen) schnell in den schulischen Chemieunterricht zu implementieren.



Abb. F20: Der aktuelle Experimentierkoffer „CHEM2DO“ der Fa. WACKER Chemie, der in Zusammenarbeit von Chemiedidaktik (Uni Wuppertal, Uni München (LMU) und Wirtschaft für die Schulen konzipiert wurde. Zu mittlerweile zehn Versuchen werden hier die Materialien und die theoretischen Grundlagen zur Verfügung gestellt. Über eine Internetadresse können hierzu (bis 2025) die chemischen Vorgänge als Film und als Animation auf Teilchenebene ergänzend im Unterricht verwendet werden.

Die Europäisierung und Globalisierung, aber auch schon die fallweise durchaus überlegenswerte Überwindung des heimischen Föderalismus erfordern eine grundsätzliche Weltoffenheit. Zukunft muss gewollt werden, damit sie visionär auf der Ebene von ethischen Verpflichtungen proaktiv gestaltbar ist, sie darf nicht fatalistisch reaktiv erlitten werden! Der Wirtschaftswissenschaftler J. Maynard Keynes formuliert es aktiv: „The difficulty lies, not in the new ideas, but in escaping from the old ones“⁵²².

Ein solches, proaktives Vorgehen hinsichtlich des Einsatzes moderner Medien bietet sich im Fach Chemie an verschiedenen Stellen an. Dazu gehören eBooks anstelle der Schulbücher, die zusätzlich mittelbare und bedarfsgerechte Kontaktierung der SuS mit der Lehrkraft über Plattformen, die ad hoc-Internetrecherche im Unterricht etc. Da der Unterricht im Fach Chemie weiterhin steht und fällt mit dem Phänomen, dem Experiment zur Stoffartumwandlung in LehrerInnen- und SchülerInnenhand, kommt der Didaktik auch die Aufgabe zu, einen gangbaren und modernen Weg zu finden, zu erproben und zu evaluieren, der die Rolle des Experiments im Zusammenhang mit dem medialen Einsatz etwa von PC, Dokumentenkamera, Videotechnik und `Youtube´-Fertigware neu zu bestimmen. Dabei sollte die Prämisse gelten, dass die mediale Vielfalt ein Mittel zur Ergänzung und Verbesserung des Umgangs mit dem Experiment sein muss, keinesfalls darf sie das phänomenelle Erleben beim SuS ersetzen. Als Ziel muss gelten, dass das unmittelbare Dabeisein, die mehrschichtige sinnliche Registrierung des Geschehens mit medialer Hilfe verstärkt, konserviert wird um dann zielorientiert in bedeutsamen Details unkompliziert abgerufen zu werden.

Ein durch Animationen besonders hilfreicher Aspekt für die unterrichtliche Arbeit stellt die Visualisierung chemischer Prozesse auf der Modellebene dar. Eine Kombination von Realexperiment, seiner wiederholbaren filmischen Darstellung und der parallelen Animation des Geschehens auf Teilchenebene ist gerade im Anfangsunterricht eine langfristig wirksame Hilfe bei der Entwicklung des „Zwiedenkens“ (Christen, 1990), also des raschen Wechsels zwischen aktueller Anschauung und abstrakter Deutung auf der

⁵²²Nach Victor Maria Hugo: „Die Zukunft hat viele Namen: Für Schwache ist sie das Unerreichbare, für die Furchtsamen das Unbekannte, für die Mutigen die Chance“

Teilchenebene. Dabei muss durch eine überlegte Gestaltung des Tempos auf die Vermeidung einer Überforderung seitens der Lernenden geachtet werden (Meßinger-Koppelt et al., 2017). Es sei wiederholt betont, dass es stets um eine Kombination aus Realprozess und Modellebene, also um Ergänzung bzw. um eine Erweiterung der Möglichkeiten geht, sich mit einem Phänomen konstruktiv auseinanderzusetzen und keinesfalls um einen Ersatz des Erlebbareren durch eine Bilderfolge. Mittlerweile liegt eine Reihe sehr professioneller Beispiele für Lernsoftware vor, kurze Clips, die ausgewählte Aspekte aus dem Bereich der lehrplanrelevanten chemischen Lerninhalte behandeln (<https://t3n.de/tag/augmented-reality/>).

Allerdings reicht es nicht aus, derartige Clips zur Verfügung zu haben, vielmehr muss auch nach Kriterien für die Beurteilung deren fachlicher und didaktischer Qualität gesucht werden. Hierzu gibt es laufende Arbeiten im 'Institut für Didaktik der Chemie' an der Uni Wien. Auch an der Uni Salzburg arbeitet man in der 'AG Didaktik der Chemie' an qualitätsbestimmenden Kriterien digitaler Lernmedien (<https://www.uni-salzburg.at/index.php?id=208532>). An der LMU in München wird in der dortigen Chemiedidaktik ebenfalls an den Einsatzmöglichkeiten moderner digitaler Werkzeuge aus der Fachwissenschaft im Chemieunterricht an Schulen geforscht (<http://www.chemie.uni-muenchen.de/didaktik/forschung/>). In Zukunft gilt es, weitere sinnvolle Kombinationsmöglichkeiten aus Realexperimenten, modernen chemiespezifischen Untersuchungswerkzeugen sowie den digitalen Repräsentationen sowohl von Experiment wie auch von Teilchen- bzw. Modellebene zu erschließen, diese umzusetzen und im Chemieunterricht der Mittelstufe zu erproben und zu evaluieren. Steinbruch für die Suche nach den praxisrelevanten Themen, ist der Lehrplan wie auch alltagsrelevante Innovationen. Entwurf und Durchführung der Fallbeispiele obliegen der Chemiedidaktik in Zusammenarbeit mit interessierten und engagierten Lehrkräften, gemäß den Prinzipien einer „partizipativen Aktionsforschung“ (Eilks & Ralle, 2002). In Wien bietet sich hierzu idealerweise die 'ARGE AHS-ChemielehrerInnen von Wien' an (Leitung und Ansprechpartner: edwin.scheiber@bildung.gv.at). Zudem sei auch auf die Website der 'niederösterreichischen Chemielehrer-AG' verwiesen: <http://www.agchemie-noe.at/index.php/seminare-wien/>). Wissenschaftliche fachdidaktische Arbeiten haben hier einen dankbaren und praxisnahen Betätigungsbereich, wenn nicht sogar ein zukunftsträchtiges Aufgabenfeld. Dabei sollte es in erster Linie um unterrichts- und praxisrelevante Forschungsanliegen gehen. Hierzu lassen sich sechs Schwerpunkte beschreiben.

1. Sichtung des Bestandes an Lehr- und Lernvideos zu Lehrplaninhalten für das Fach Chemie.
2. Differenzieren zwischen Darstellungen konkreter Experimentalverläufe (Phänomene) und der modellhaften Animation der Vorgänge im submikroskopischen Bereich (Abstraktionen).
3. Trennen zwischen unterrichtsspezifischen und allgemeinen, nicht schulorientierten Fachthemen.
4. Ermittlung eines didaktischen und mathetischen Katalogs von Kriterien für die Beurteilung der unterrichtstauglichen Nutzbarkeit von Lehr- und Lernvideos aus den vier Darstellungsbereichen (vgl. 2. Und 3.).
5. Bewertung ausgesuchter Lehr- und Lernvideos in Abhängigkeit vom Adressatenalter (Schulart, Jahrgangsstufe) und den fachdidaktischen sowie mathetischen Zielsetzungen.
6. Erstellen von zielführenden Lehr- und Lernvideos.

F 5.7 „Distance Learning“

Das Jahr 2019 hat die Unterrichtsbedingungen national und international deutlich verändert. Für die naturwissenschaftlichen Fächer gilt das in dramatischer Weise. Dabei sind die eingeschränkten direkten Kontakte zwischen LehrerInnen und SchülerInnen insbesondere für die pubertierenden und weniger gut strukturierten Jugendlichen allein deshalb folgenswer, weil die Hinführung zu den Inhalten des Fachs Chemie sowohl experimentelle, also handlungsorientierte wie auch abstrakte Ansprüche stellt, was gerade bei verpflichtenden „Homeschooling“-Verhältnissen zu Defiziten führen musste. Solche Einschränkungen stehen den vermeintlichen Vorteilen der digitalen Lösungen in gravierender Weise entgegen und befördern die Bedenken hinsichtlich eines wenig beeinflussten Unterrichtserfolges! Diese nicht bagatellisierbaren Unterschiede zwischen der traditionellen und der asynchronen Unterrichtsgestaltung lassen sich stichpunktartig wie folgt verdeutlichen (Übersichts-Abb. E25):

Asynchrones Unterrichten: positive Effekte→

- + Nutzung von Schulbuch, Arbeitsblatt und digitalen Medien
- + Arbeitsaufträge sind eindeutig, verschriftlicht, mit Verweis auf weitere Info-Quellen!
- + Experimentieranleitungen mit klaren Vorgehens- & Ergebnisbeschreibungen
- + Dokumentationsaufträge (Protokoll, Video, Foto)
- + Aufgabenlösungen werden ausformuliert und geben die Arbeitsziele wider
- + Der Weg zum Eigenverantwortlichen Arbeiten (EVA) kann gut unterstützt werden!

Asynchrones Unterrichten: negative Aspekte→

- Vermeintliche! subjektive Erfolgserlebnisse sind nicht abgesichert
- Wann hat man fertiggelernt? Dies ist individuell nicht entscheidbar.
- War alles richtig und vollständig? Viele „Musterlösungen“ lassen diese Frage offen.
- Bestätigungsfragen finden keinen Adressaten! („Wenn das stimmt, dann müsste doch?“)
- Wissenssicherheit (Gründlichkeit: *profoundness*) kann nicht erreicht werden!
- Kompetentes Lob kann nicht erlangt werden! Es fehlt Diagnosekompetenz.
- Frustrationsintoleranz und Motiviertheitsverlust entwickeln sich langfristig!

Hieraus ergeben sich klare Forderungen an die für die jeweilige Unterrichtsführung verantwortlichen Lehrkräfte, aber auch SchülerInnen und weitere Bezugspersonen (Eltern, etc.):

→Advance Organizer

→Partner- bis Gruppenarbeit („Kollaboration beim Fernlernen“: www.mint-zirkel.de/2021/09)

→Flipped Classroom („reziprokes Lernen“)

→Individualisiertes Feedback, möglichst „vierkanalig“!

→Digitale Kompetenz (hard-, soft-ware, Mediendidaktik, Qualitätsselektionskriterien)

Zusätzlich für gut strukturierte SuS:

→Portfolio mit Feedback und Feedforward

→Projektorientierter Unterricht (EVA)

→Projektunterricht (+Dokumentation) (EVA)

→Hybrid-Unterricht

Grundsätzlich zeigen sich folgende Problemlagen: Für die in der Regel im Alter von 14-16 Jahre alten SchülerInnen noch unvollständig ausgebildete Strukturierungsfähigkeit des eigenverantwortlichen Arbeitens und demnach auch Lernens fehlt im Distanzunterricht die Unmittelbarkeit einer individuellen Rückmeldung, dass die Lern- wie auch eine Prüfungsleistung tatsächlich vollständig erbracht ist, dass der Arbeitsaufwand

erfolgreich und ausreichend bzw. nicht ausreichend war. Differenziertes Loben und damit Anerkennen als Motiviertheitsförderung fehlen ebenso wie eine klare Aufdeckung von Defiziten und Fehlleistungen mit der Entwicklung von Frustrationstoleranz und richtiger Selbsteinschätzung. All dies lässt sich nicht einfach durch die Tätigkeit von Eltern, anderen Verwandten und Peers erledigen.

Es sind diese Auswirkungen, welche wir einerseits als persönlichkeitsfördernde Entwicklungsstufen kennen, die jedoch andererseits keinesfalls durch den Einsatz weder von traditionellen noch von modernen Medien ersatzweise erreicht werden können.

Was -ganz im Gegenteil- bleibt, sind noch gewissenhaftere, noch direktere, noch individuellere Einflussnahmen und Freiheitsdosierungen im Unterricht, gleich in welchem Fach! Da es aber in der Jetztzeit nicht darum gehen kann, sich als Lehrkraft auf eine der beiden Seiten zu schlagen, sondern aus allen Angeboten das Beste zu machen, muss den Zielen des „Hybrid-Unterrichts“ offen gegenübergetreten werden. Damit werden die Entscheidungen nicht leichter, jedoch die denkbaren Lehr- und Lernunterstützungen vielfältiger und somit vielleicht auch inklusiver! Vgl. hierzu Abb. F21.

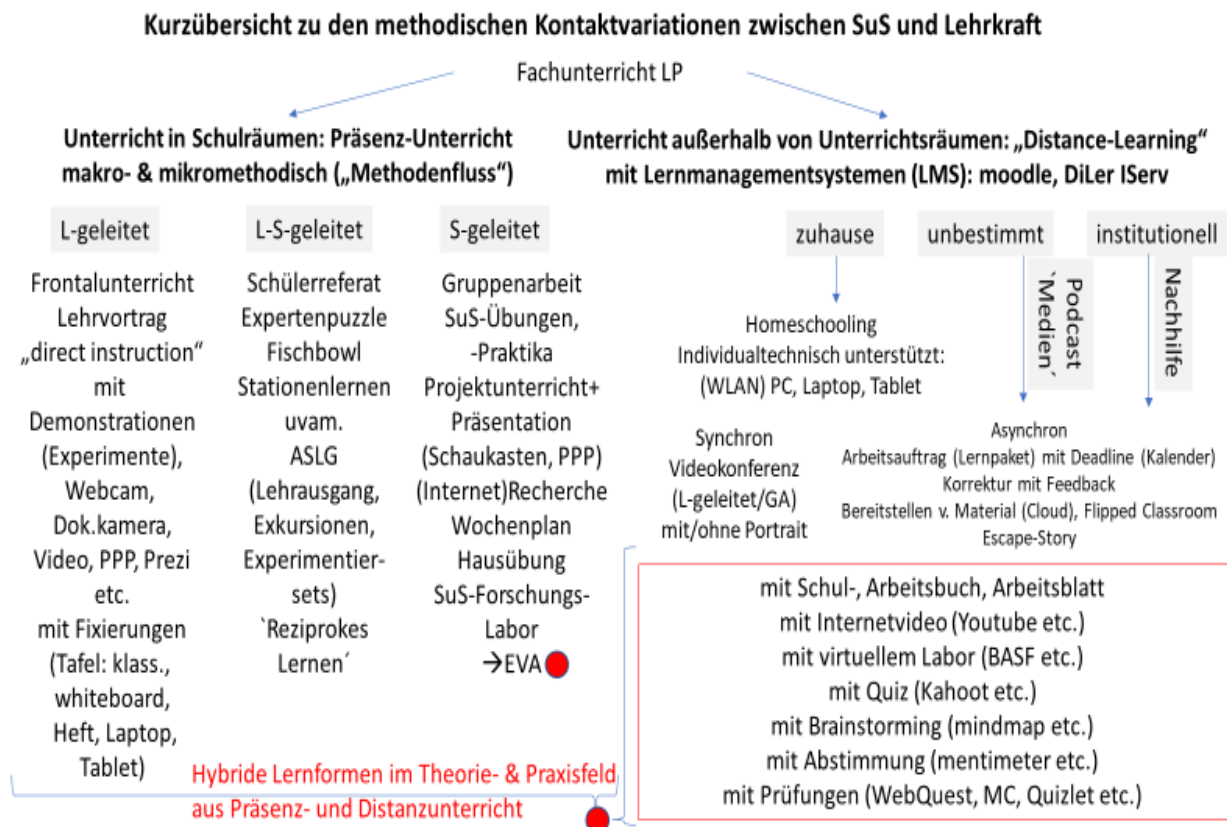


Abb. F21: Schema zu den Möglichkeiten, die traditionellen Präsenzbedingungen (links) mit den Bedingungen des Distance-Learning zu kombinieren. Hieraus entstehen neue Voraussetzungen für den „Hybrid-Unterricht“ als Verbindung des Präsenz- mit dem Distanzunterricht. Hieraus lassen sich neue Lernräume erschließen (Alpoguz und Linz, 2021).

Abschließend sei noch auf einen Trend eingegangen, der die Qualifikationen der Lehrenden ausführlicher und modernisierter umschreibt, als es seinerzeit Shulman (1986) mit der Kurzform PCK (Pedagogical Content Knowledge) gelungen ist, nämlich mit „Technological Pedagogical and Content Knowledge“ (TPaCK, auch TPACK) (Mishra & Köhler, 2006). Es stellt die Zusammenfassung dar von einer Reihe von Einzelqualitäten, mit der sich die moderne Lehrkraft auszustatten hat:

- Digital Knowledge (DK) bzw. Technologiewissen (TK)
- Digital Content Knowledge (DC⁵²³K) bzw. Inhaltswissen (CK)
- Digital Pedagogical Knowledge (DPK) bzw. Pädagogisches Wissen (PK)
- Technological Content Knowledge (TCK)
- Technological Pedagogical Knowledge (TPK).

⁵²³ Inhaltswissen meint hier nicht Fachinhalte, sondern das Wissen darüber, wie Informationen technisch vermittelt und Wissen adressatenspezifisch generiert werden kann:
https://de.wikipedia.org/wiki/Technological_Pedagogical_Content_Knowledge (21.1.22)

F 6 Das pädagogische Potenzial des Chemieunterrichts

Lehr- und Lernleistungen sind einmal dafür verantwortlich, dass fachlich orientiertes Wissen generiert wird; mit ihnen soll aber auch ein Erziehungsauftrag erfüllt werden. Dabei spielen so aktuelle Erziehungsziele wie Drogen- und Gewaltprävention sowie mittlerweile auch eine „Medienprävention“ eine vorrangige Rolle. Entgegen vielen Bemühungen seit 1979, als man in den Schulen Bayerns den „Drogenkontaktlehrer“ (heute „Beauftragte/r für Suchtprävention“) eingeführt hatte, für Prävention ein eigenes Fach einzurichten, weiß man es besser und verpflichtet jedes Fach, sich um den ganzen Menschen zu bemühen und grundsätzlich der Prävention im Sinne von „Drogenerziehung und Suchtprävention“ den erforderlichen Raum zu geben.

Jedes Fach kann mit gutem Unterricht präventiv wirksam sein, indem es die SchülerInnen individuell fördert, erfüllte Forderungen anerkennt und fallweise hilft, um möglichst oft Erfolgserlebnisse möglich zu machen. Letztlich kann auch eine etwas plakativ formulierte Schlussfolgerung für den guten Unterricht formuliert werden: `Guter Chemieunterricht ist, wenn die SchülerInnen durchgängig zahlreiche und unterschiedliche Gelegenheiten für Erfolgserlebnisse erhalten!´ Hierdurch werden kognitive Erfolgsleistungen mit emotional positiv gefärbten Erlebnissen unmittelbar gekoppelt. „Diese simultane Aktivierung emotionaler und kognitiver Netzwerke führt dazu, dass die betreffenden Netzwerkstrukturen aneinandergeschaltet, miteinander verbunden werden“ (Hüther, 2012, S. 12). Da Erfahrungen immer kognitiv und emotionale „Erfahrungsintegrale“ darstellen, sind sie als solche die neurophysiologische Grundlage und Bedingung für die Erzeugung und Festigung von „Haltungen“, „inneren Überzeugungen“ und „Gesinnungen“. Dieser Zusammenhang macht auch deutlich, dass kognitive Leistungen ohne metareflexiv empfundene positive Gefühle auch zu negativ orientierten Haltungen führen können, was dann auch einen Erklärungsansatz für die folgenschwere Abnahme von Lernfreude und langfristig für die Ablehnung eines Schulfachs, etwa des Fachs Chemie darstellt. Es muss also darauf geachtet werden, dass durch die Unterrichtsgestaltung die anstrengungsbasierte Bildung von „Erfahrungsintegralen“ aus Erfolgserlebnissen und guten Empfindungen ermöglicht wird. Dies wiederum erfordert bei der Lehrperson eine entsprechende Haltung, denn kognitive Höchstleistungen einerseits und Lernfreude, emotionales Interesse sowie kreative Begeisterung für das Fach andererseits werden nicht durch eine und dieselbe Unterrichtskonzeption gefördert. In dem Maße wie diese Kriterien nicht erfüllt werden oder sich nicht einstellen lassen, ist der heranwachsende Mensch anfällig für selbstgefährdendes Verhalten. Nach Untersuchungen von Hagenauer und Hascher (2011) ist es der Lernfreude zuträglich, „wenn Lernsituationen als *kontrollierbar* (z.B. durch die Gestaltung des Unterrichts nach dem Prinzip der Inneren Differenzierung) und als *sinnvoll* (z. B. durch das Angebot von alltagsnahen Aufgaben, ...; oder durch den Einsatz von Reflexionsmethoden wie Tagebuch oder Portfolio, ...) erlebt werden“. Es kommen hinzu „hohe Klarheit der Instruktion“, „positive Lehrperson-Schüler-Beziehung“ und „hohe Autonomie im Klassenzimmer“ (S. 76). Natürlich spielt in der letzten Konsequenz eine Fülle weiterer Faktoren eine gravierende Rolle für den jeweiligen individuellen Lebensweg. Aber im Gegensatz zu den vielen Unwägbarkeiten lassen sich die oben genannten Bedingungen im täglichen Zusammenleben besonders bewusst und gezielt beeinflussen und ausgestalten. Die Frage nach dem Startpunkt entsprechender Handlungen und Interventionen erübrigt sich, da er stets mit dem Lebensbeginn zusammenfällt.

F 6.1 Kleinkindphase

Die Schutzbedürftigkeit des Neugeborenen ist evident und muss nicht eigens thematisiert werden. Im Verlauf der ersten Wochen und Monate entwickelt sich diesbezüglich ein relativ festes Verhaltensmuster, durch das diese Bedürftigkeit konsequent befriedigt wird. Unbewusst beobachten Eltern aber auch Verhaltensweisen des Kindes, die diese Bemühungen um sicheren Schutz in Frage stellen. Und es treten zwiespältige Gefühle zutage. Das Wegkrabbeln, das Sich-Aufrichten und Umfallen und Wiederaufstehen, die Erkundungen im Kinderzimmer, dann in der Wohnung, im Garten und auf dem Spielplatz, die Gehversuche, das sich Hinwenden zu anderen Personen als den Eltern und bekannten Bezugspersonen usw. sind sehr erfreuliche und beruhigende Feststellungen. Obwohl diese Phasen Zeichen sind für eine gesunde Entwicklung, reagieren Eltern mit zunehmender Aufmerksamkeit, Wachheit, oft auch mit Argwohn und latenter Eifersucht, die selbstverständlich zu den gut gehüteten Geheimnissen gehört. Ungeachtet derartiger Empfindungen geht diese Entwicklung unaufhaltsam weiter, forciert durch den Kindergarten, den Freundeskreis, die Spielorte, auch im Urlaub, durch die Schule u.v.a.m. Immer deutlicher werden die selbständigen Aktionen und Entscheidungen. Individualitäten entfalten sich und beanspruchen Freiräume. Freiräume bedeuten aber nicht Grenzenlosigkeiten; sie bleiben Räume, begrenzt und weitestgehend überschaubar. Auch wenn sie im Verlaufe unübersichtlicher werden, benötigen die in ihnen Agierenden doch aufmerksam beobachtende Instanzen. So äußert sich elterlicher Schutz etwa innerhalb der Pubertät in Wachheit, Berechenbarkeit, Gesprächsbereitschaft und konsequentem Reagieren. Der oft gehörte Satz „Lass mich das selber machen!“ oder „Geh´ weg, ich kann das allein!“ oder „Ich will selbst!“ gerät zu einem strengen Appell an die Eltern und an andere Erwachsene aber auch an die Geschwister. Das hierin geforderte Loslassen ist zwar vordergründig ein ungutes Gefühl, sollte aber durch Vertrauen und Stolz aufgefangen werden können. Die Akzeptanz von Eigenständigkeit der Persönlichkeit des Kindes und der Schülerpersönlichkeit begünstigt das erforderliche Abstandhalten. Dabei ist zu bedenken, dass es sich bei einem solchen notwendigen Wandel nicht um ein Aus- und Einschalten handelt, sondern vielmehr um eine Gleichgewichtsverschiebung zugunsten einer sich durchsetzenden Selbsttätigkeit. Ihr Ziel ist es letztlich, in der nächsten Generation selbst die Entwicklung der eigenen Kinder sicher begleiten zu können.

So gewünscht dieser Prozess abläuft, so störungsanfällig ist er auch. Es ist für die Erziehenden nicht einfach, die graduellen Gleichgewichtslagen jeweils richtig, also kindbezogen einzuschätzen und einer evtl. sich anbahnenden „erlernten Hilflosigkeit“ durch Einfordern von Eigenverantwortlichkeit gegenzusteuern (Abb. E25). Das Freigeben birgt ja eine Reihe von nicht so leicht kalkulierbaren Risiken in sich. Nur, manchmal erscheint es so, als wäre ein Zuviel an Risikozugeständnis besser als ein Zuwenig. Verstärktes passives Interesse –nicht Spitzeltum– wirkt hierbei ausreichend kompensatorisch. Insgesamt laufen alle erzieherischen Mühen darauf hinaus, Entwicklungsschwerpunkte sanft miteinander zu verbinden und zwischen ihnen flache Übergänge (Transitionen⁵²⁴) zu schaffen. Die Übernahme von Aufgaben, welche vom Kind längst selbst erledigt werden können, ein vorauseilender Tätigkeitsdrang, um die Verantwortlichkeiten zu übernehmen, die das Kind, der Jugendliche schon längst selbst schultern muss, sind Grundauslöser für „erlernte Hilflosigkeit“. Sie wird unterstützt durch

⁵²⁴ Transitionen sind „kritische Lebensereignisse, deren Bewältigung die persönliche Entwicklung voranbringen, aber auch erschweren können, die Freude und Neugier auf das Neue ebenso hervorbringen können wie Verunsicherung und Angst“ (Griebel & Niesel, 2004)

das Entdecken der Bequemlichkeit, wenn man alle täglichen, meist unangenehmen Arbeiten (Zimmer aufräumen, Besorgungen, Behördengänge, Entschuldigungen für falsches Verhalten usw.) nicht nur von den „Älteren“ machen lässt, sondern auch noch zunehmend unverschämter einfordert.

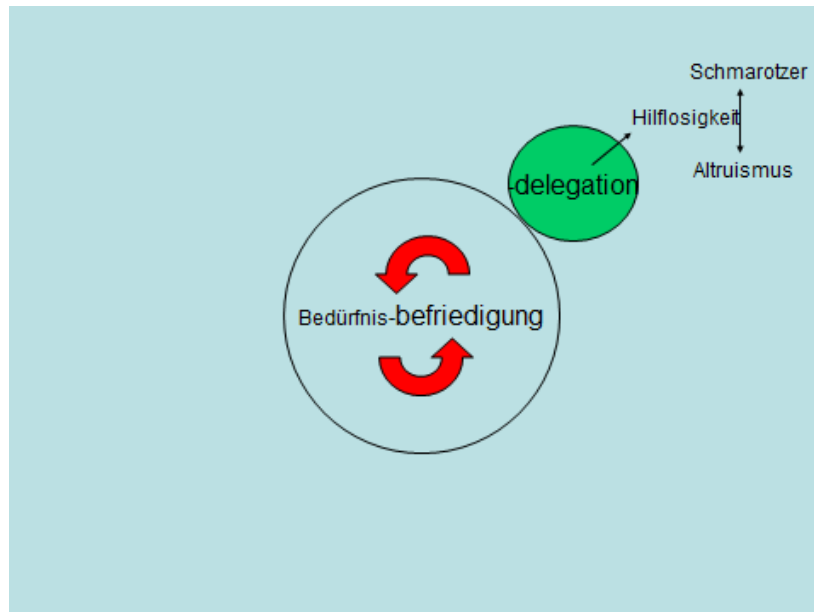


Abb. F22: Alternative „Delegation der eigenen Bedürfnisbefriedigung“

Die eigenen Aufgaben werden delegiert und eben nicht selbst erledigt, wie es einer normalen Bedürfnisbefriedigung entspräche (Abb. F22). Das hat wiederum nichts zu tun mit dem natürlichen Erfüllen von Wünschen des Anderen zu den einschlägigen Anlässen wie Geburtstag und offiziellen Festtagen. So besteht eine wichtige Erziehungsaufgabe in Elternhaus und Schule, die Gleichgewichtseinstellung zwischen gesundem Altruismus und reinem Schnorrertum sukzessive zu unterstützen.

F 6.2 Pubertät und die Suche nach dem Glück

Aus der Hilflosigkeit und der unbedingten Abhängigkeit in der Säuglingsphase über die vornehmlich geschützte Welterforschung im Kindergarten- und Grundschulalter hin zur selbstbeeinflussten Erlebniswelt des Pubertierenden und Adoleszenten wird die Bedürfnisbefriedigung immer mehr in die eigenen Hände genommen. Dabei steht immer und grundsätzlich die Anstrengung am Beginn der Konzentration auf die Erfüllung von Wünschen bzw. der Befriedigung von Bedürfnissen. Die Bereitschaft, sich anzustrengen als eine „Persönlichkeitseigenschaft, langfristige Ziele mit Enthusiasmus zu verfolgen und dabei Rückschläge und Herausforderungen erfolgreich zu bewältigen“ (Schmidt, 2018, S. 16) wird mittlerweile in der „Positiven Psychologie“ als **Grit**⁵²⁵ (übersetzt: Kies, Schotter; sinngemäß: „Durchhaltevermögen, Biss, Entschlossenheit“) bezeichnet. In Grit vereinigen sich drei Facetten, nämlich Beharrlichkeit (Vgl.: „Beharrlichkeit bringt Gelingen!“) und beständiges Interesse (Leidenschaft) sowie Gewissenhaftigkeit. Zusammen gelten diese Eigenschaften heute als zentrale Voraussetzungen für Leistung. Soll Geschwindigkeit bzw. Leichtigkeit hinzukommen, so äußert sich darin ein Talent!

In der folgenden Tabelle findet man einen Ausschnitt eines Fragebogens, mit dem der Grad der Zustimmung (von 1=trifft überhaupt nicht zu bis 5=trifft völlig zu) eines Probanden mittels einer Likert-Skala bestimmt werden soll (Auszug aus: Schmidt, 2018, S. 16-20).

Beständiges Interesse	Beharrlichkeit
In der Schule nehme ich mir oft etwas vor, verliere mein Ziel dann aber aus den Augen.	Was ich mir in der Schule vorgenommen habe, mache ich auch zu Ende.
Wenn schulische Vorhaben oder Projekte länger als einige Wochen dauern, habe ich Schwierigkeiten, mich durchgängig darauf zu fokussieren	Ich arbeite hart für die Schule

Der selbstgemachte Erfolg (Bauer, K.-O., 1999), der damit verbundene Genuss und die daraus resultierende Motivation sowie neue Anstrengungsbereitschaft (Susteck, 1998; Labuhn et al., 2008) und Fähigkeit zu Konzentration und Verzicht, Leistungsfähigkeit und Frustrationstoleranz sind Signale für eine sich einstellende Lebenstüchtigkeit. Dieser Erziehungserfolg wird final so zum Bildungserfolg des „Educandus“, des zu Erziehenden umgemünzt. Für Eltern und ErzieherInnen bedeutet dies zwar kein Ende der Sorgen; es entstehen aber Momente der Entspannung, eines gemütlichen Altwerdens ohne Verlust der eigenen Interessen. Das so gezeichnete Bild verursacht Freude und Unbehagen gleichermaßen. Aber das gilt für alle paradiesisch anmutenden Beschreibungen von Soll-Zuständen. Der Vorwurf, es würde sich nur um eine Fiktion handeln, ist vordergründig verständlich. Hintergründig handelt es sich hier um eine der großen Notwendigkeiten für eine Verbesserung des Lebens, nämlich um Visionen⁵²⁶. Denn, wie wollen wir Verschlechterungen in unserer Lebenswelt erkennen, wenn wir sie nicht als Abweichungen von etwas Wünschenswertem identifizieren können? Eine solche „Vision“ ist im „Euphorie-Modell“ dargestellt, indem die Anstrengung immer gerichtet ist, immer hin auf ein Ziel, sei es groß und langfristig oder unscheinbar, sehr persönlich und kurzfristig erreichbar (Abb. F23). Erstrebenswert ist stets ein Zustand, für den wir den Ausdruck „Glück“ aber auch andere zur Verfügung haben. Das

⁵²⁵ Eine kritische Auseinandersetzung mit diesem Begriff findet sich bei Schwenkenbecher (2019)

⁵²⁶ „Wer etwas verändern will, sucht Ziele; wer etwas verhindern will, hat Gründe“ (Precht, 2018, S. 44)

Zustandekommen dieses leider immer nur kurz andauernden Gefühls⁵²⁷ ist Gegenstand der „Positiven Psychologie“. „Wohlbefindensforscher“ unterscheiden beispielsweise zwei Arten von Glück: Gutfühl-Glück als Genussempfindungen, die von äußeren Reizen abhängen und „Wertebasiertes Glück“, das sich einstellt, wenn wir Bedeutung unserer Existenz empfinden (Hartmann et al., 2002).

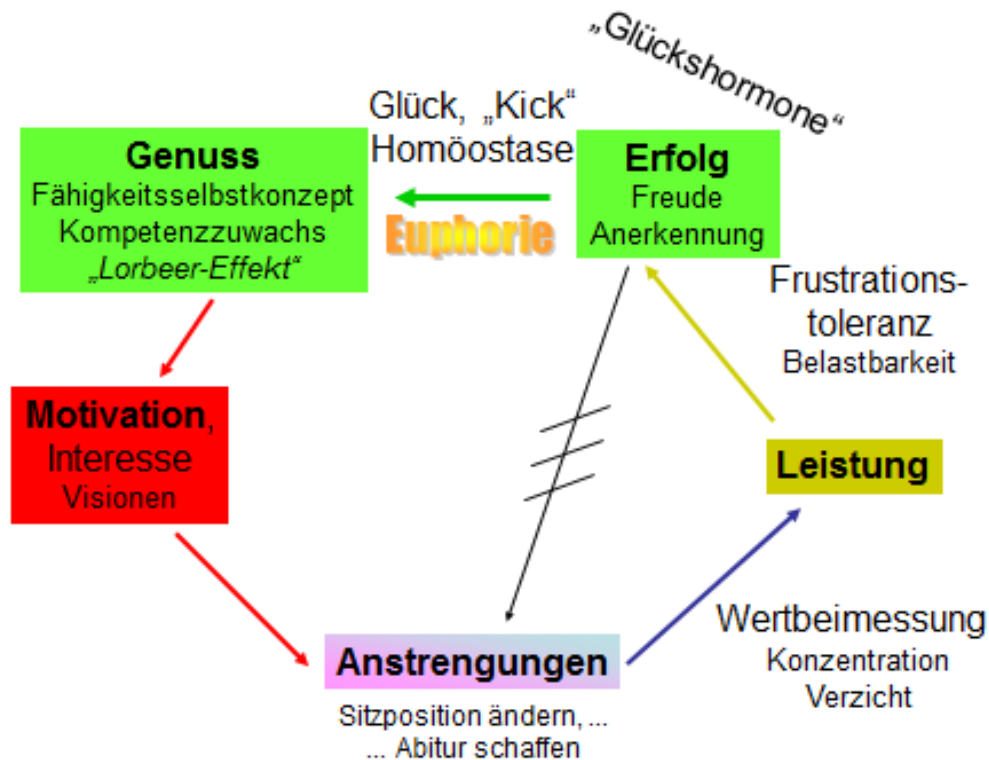


Abb. F23: Das „Euphorie-Modell“ als Kreislauf von Anstrengungsbereitschaft über Leistung, Erfolg zu Homöostase/Euphorie, Genuss und Motivation (= **neue** Anstrengungsbereitschaft)

Aus dem Modell lässt sich auch ablesen, was denn „guter Unterricht“ sei: „Guter Unterricht ist, wenn jede/r Schüler/in möglichst viele Möglichkeiten für Erfolgserlebnisse erhält; dann ist er auch immer präventiv!“ Umgekehrt bedeutet das, dass ein von SchülerInnen subjektiv empfundener Mangel an Optionen für Erfolgserlebnisse (Unterforderung) sowie eine ebensolche geringe Möglichkeit der eigenen Handlungssteuerung und Situationsgestaltung (in Stadien der Irritation bzw. Überforderung) frustrierend wirkt und den Effekt der „Langeweile“ (des „Un-Glücks“) nach sich zieht. Das ist nicht zu unterschätzen. In einer Untersuchung an 392 SchülerInnen der Jgst. 5 bis 9 zeigte sich, dass sich diese 32% der Unterrichtszeit langweilten (Götz et al., 2006). Wichtig ist dabei, dass Ursachen für Langeweile weniger einem Fach per se, sondern deutlich der lehrerInnenabhängigen Unterrichtsgestaltung und fallweise auch definierbaren Lehrplaninhalten zugeschrieben werden können. Hierzu ist es auch interessant zu wissen, dass im Verlaufe einer Vorlesung, einer Schulstunde, eines Seminars pro Zeiteinheit ca. 30% der TeilnehmerInnen gedanklich nicht bei der Sache sind, was „Zwischendurchwiederholungen“ oder „aktuelle Denkortbestimmungen“ in jedem Fall sinnvoll erscheinen lässt, da im Umkehrschluss davon auszugehen ist, dass jede/r TeilnehmerIn „nur“ ca. 70% des behandelten Stoffs mitnimmt. Es muss immer

⁵²⁷ „Chin Sheng-tao, ein bei den Chinesen berühmter Schriftsteller des 17. Jahrhunderts, hatte gelehrt, daß es Glück nicht gebe, wohl aber ‚Glückliche Augenblicke‘“ (Bamm, 1972, S. 206)

wieder betont werden, dass viele kleine Erfolgserlebnisse nicht ersetzt werden können durch einen großen Erfolg, etwa das Erreichen des Klassenziels. Die unmittelbare Hervorhebung eines Gelingens, etwa beim Aufstellen einer Summenformelgleichung ist eine wichtige Lehrleistung; denn „das Wort, das einem weiterhilft, kann man sich nicht selber sagen“. Das heißt, dass es (nicht nur) SchülerInnen schwerfällt, die Bedeutung einer Lernleistung sicher einzuschätzen. Lob und Kritik sind kommunikative Größen, welche ihren Wert über die Akzeptanz der Qualifikation des/der Bewertenden durch den/die Bewertete/n empfangen (Rheinberg, 1996)⁵²⁸. Zugleich heißt dies, dass der Erfolg der Lehrkraft im Erfolgreichsein der SchülerInnen zum sichtbaren Ausdruck kommt. In der Lernspirale von Salner-Gridling (Abb. F24) spiegeln sich die Stationen des Euphorie-Modells.

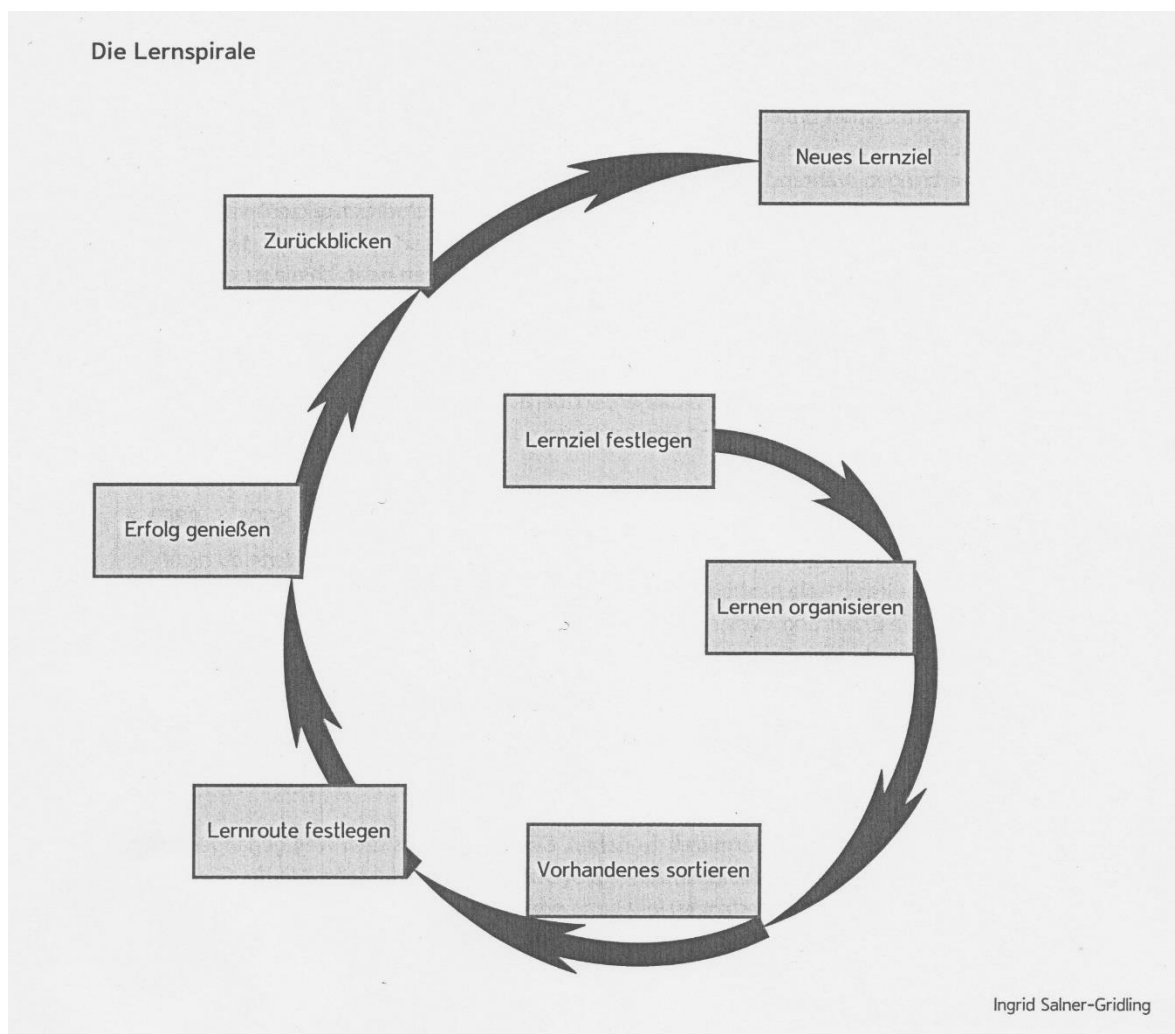


Abb. F24.: Lernspirale, in der das Glied „Erfolg genießen“, im Gegensatz zu vielen anderen zyklischen Darstellungen des Lernprozesses, eine prominente Rolle einnimmt.

Nach aktuellen Erkenntnissen sei auf die Bedeutung der „Selbstbeherrschung“ besonders hingewiesen (Moffitt et al., 2014): „Selbstbeherrschung [aus Gewissenhaftigkeit, Selbstdisziplin und Beharrlichkeit] ist ... insbesondere die Fähigkeit,

⁵²⁸ Psychophilosophisch ließe sich hier eine weitere Aussage anschließen: „Ohne die anderen kann der Mensch nicht anfangen, über sich selbst nachzudenken“; denn „Wir wachsen ... durch andere Menschen“ (Hustvedt, 2018, S. 343-344)

auf ein gegenwärtiges Vergnügen zu Gunsten eines größeren, aber zukünftigen zu verzichten [Vgl. Marshmallow-Test]. Umgekehrt sprechen Eigenschaften wie Ablenkbarkeit, niedrige Frustrationstoleranz, geringe Ausdauer, Ruhelosigkeit, Impulsivität und Ungeduld für mangelnde Selbstbeherrschung“ (S. 42). In der neuseeländischen Studie „Dunedin Multidisciplinary Health and Development Study“ (Langzeitstudie seit 1972 mit 1037 Probanden) konnte reproduzierbar nachgewiesen werden, „dass Selbstbeherrschung im Kindesalter ein starker Indikator für Erfolg im späteren Leben ist – einerlei, ob die Betreffenden hohe oder geringe Intelligenz zeigen oder aus armen oder reichen Verhältnissen stammen. Über die gesamte Population hinweg steigen Gesundheit, Wohlstand und gesellschaftlicher Erfolg mit zunehmender Selbstbeherrschung merklich an“ (S. 41-42).

Jeder Mensch bewältigt sein Leben in einer Schrittfolge, die sich evolutionär bewährt hat und an deren Funktionieren wir uns auch im Alltag gewöhnt haben. Alle Veränderungen, angefangen von der Korrektur der Körperhaltung bis hin zum aufwändigen Bemühen um einen vorgefassten Berufswunsch wahr werden zu lassen, zielen primär auf Bedürfnisbefriedigung, langfristig und grundsätzlich auf die möglichst langdauernde Einstellung eines bedürfnislosen Harmoniezustandes ab. Man nennt diesen „Homöostase“. Diese Befindlichkeit eines Gleichgewichts aller Körper- und Geisteskräfte hat eine einfach zu verstehende Funktion. Sie signalisiert ein Ende aller Bemühungen um die Befriedigung aller denkbaren und unbewussten Notwendigkeiten. Da nach Reichholf (2008) jedoch alle Gleichgewichte einen evolutionshemmenden Endzustand bedeuten würden, sollte man besser von „stabilen Ungleichgewichten“ reden. Ihnen wohnt die Triebkraft für eine individuelle Weiterentwicklung inne. Weniger prosaisch und mehr wissenschaftlich ausgedrückt, nennt man diesen Zustand auch "Glück", "Flow" (Csikszentmihalyi, 2014), „Kick“ oder „Euphorie“. Man wird zustimmen, dass der nächste Satz mit *"Leider"* beginnen muss: "Leider dauert so ein Zustand nur sehr kurz, in der Regel nur Sekunden, bestenfalls Minuten“. Auch das ist verständlich, wenn man bedenkt, dass es unzählige Bedürfnisse gibt, die mit der allergrößten Wahrscheinlichkeit nicht gleichzeitig als erfüllt erklärt werden können.

Wie oben schon erwähnt, ist das Gegenteil von „Glück“ die „Langeweile“! So wie man beim Glück die Zeit nicht spürt, selbstvergessen und zeitlos ins Genießen gelangt, so ist die Abwesenheit von Glück wie ein Leidensweg durch eine nicht vergehende Zeit. So bedeutet Langeweile „Un-Glück“! Ebenso schwierig ist es, dass die Glückszustände von auch nur zwei Menschen zeitgleich erreicht werden. Glück ist demnach ein Signal für den individuellen Zieleinlauf. Es schafft die Möglichkeiten der Neuorientierung, der neuerlichen Wunschentstehung. Diese muss mit Motivation ausgerüstet werden, mit Willenskraft und Energie. Nirgends ist diese besser zu beobachten als im Sport, vornehmlich im Leistungssport.

Noch eine Bemerkung zur „Zufriedenheit“. Zufrieden sein ist nicht immer gleichzusetzen mit Glückhaben oder glücklich sein. Es ist bei weitem nicht so, dass alle Bedürfnisse einer Person befriedigt werden können, im Gegenteil; in der Regel müssen wir uns mit einem `unvollkommenen Glückszustand` abfinden. Dieses Aushalten einer gewissen Entfernung vom letztlich gewollten Glückszustand bezeichnen wir auch als Zufriedenheit. Man hat das Optimum nicht erreicht, aber sich zumindest angenähert, wobei man es belassen will und kann. Wenn Theodor Fontane sagt, „Glück ist das Talent zum Schicksal!“, so würde sich dieser Ausspruch besser als Definition von `Zufriedenheit` eignen.

F 6.3 Die Genussphase als Basis für Motivation und Mut

Nun wird aber häufig übersehen, dass sowohl die Genese von Wünschen als auch die Bereitschaft, sich für deren Erfüllung einzusetzen, nicht automatisch ablaufen bzw. vorhanden sind, sondern dass dies einen Prozess darstellt, der sich hinter dem bekannten Begriff des "Genießens" versteckt. Die Genussphase beschreibt sozusagen das "Auftanken" eines Motivationsspeichers, auch als Basis für langfristige Interessensgenese (Krapp, 1998). Schon aus diesem Grunde ist das Genießen-können lebensnotwendig und somit ein wichtiges Erziehungsziel! Der bei jedem bewusst herbeigeführten Erfolg mitgetragene Wunsch, die Genussphase zu verlängern, äußert sich im Feiern. Bei Salner-Gridling (2009) ist die Genussphase ein wichtiger, unverzichtbarer Teil des Lernzyklus (Vgl. Abb. E29). Im Vorgriff auf weiter unten Explizites, sei hier schon darauf hingewiesen, dass der Einsatz von beispielsweise Alkohol bei Feiern auch dazu dienen kann, die sich sofort wiedereinstellenden und konkurrierenden Bedürfnisse zumindest für einige Zeit „außer Gefecht zu setzen,“, sich nicht davon stören zu lassen, indem man sie betäubt. Leider gibt es in unserer Zeit eher Beispiele für ein Missachten von Erfolg und Genuss, denn für ein sicheres Erreichen und Erleben. In der Pädagogik spricht man hier vom "Lorbeereffekt", währenddessen SchülerInnen nicht anstrengungs- und schon gar nicht leistungsbereit ist, etwa unmittelbar nach einer guten Zensur. Das Erstarken der Motivation, aber auch von Mut und Risikobereitschaft mündet in der Regel in Anstrengungsbereitschaft und damit in das 'emotionale Aufladen' von Inhalten (Van den Berg, 2015). Es führt zu einer Fülle von Varianten tatsächlicher Bemühungen, Konzentrationen und Verzichten, die allesamt unterschiedlich lange andauern, letztlich aber Leistungsfähigkeit gezielt vorbereiten. Die Mühe eines Kleinkindes, einen Turm aus LEGO-Steinen zu bauen, die Plaggerei bei der Vorbereitung auf eine Schulaufgabe, die Nachtschicht beim Fertigstellen einer Präsentation vor Kunden, sie alle zielen auf ein vorläufiges Ende, das wir in der Leistungssituation wiederfinden. Wenn bis auf einen alle Steine verbraucht sind und der Turm noch immer stehen bleibt, wenn die angstschweißnassen Hände das Aufgabenblatt festhalten und wenn Chef und Kunden gespannt die ersten Bilder der „Powerpoint-Präsentation“ erwarten, wenn wir also intensivst versuchen, keinen Fehler (mehr) zu machen, dann befinden wir uns in der Leistungssituation. Ihre Dauer ist normalerweise sehr genau kalkulierbar, meist festgelegt. Die Empfindungen, die jeden dabei begleiten, werden meist als Stress bezeichnet. Es handelt sich dabei um den „guten“ Stress, den Eustress (vs. schlechter Stress: Distress), vergleichbar dem „Lampenfieber“, welches für Höchstleistungen unabdingbar ist.

Ihr Ausklingen verschafft uns zunächst entspannende Erleichterung. Sie geht jedoch bald in einen neuerlich angespannten Zustand über. Jeder kennt es, dieses Warten auf die möglichst endgültige Bewertung und Beurteilung der erbrachten Leistung. Schnell nach der Führerscheinprüfung, langfristig über die deutliche Zunahme von Kundenbestellungen registrieren wir einen mehr oder minder großen Erfolg. Es bedarf keiner besonderen Hervorhebung, dass es sich beim Erfolg haben um ein soziales Ereignis handelt. Jeder weiß, dass Lob ein nicht ersetzbares Merkmal von Erfolg ist und dass Loben, konstruktive Kritik, anders als Tadel und "Niedermachen" feingesponnene und nuancenreiche Fähigkeiten darstellen, die wir an unserer Umgebung entweder unendlich schätzen oder schmerzlich vermissen (Bartens, 2017). Lob als Form der Anerkennung ist eine existentielle Antwort auf das menschliche Grundbedürfnis nach Anerkennung. In der Erfolgs- und Anerkennungsphase erleben wir die Veränderung der eigenen Persönlichkeit. Etwas ist passiert, wir stellen fest, dass wir weitergekommen sind, dass sich Fähigkeiten (weiter)entwickelt haben! Hierin manifestiert sich eine

Lebensweisheit: „Nur wer sich selber gut findet, arbeitet auch gut!“. Wer nie gelobt wird, läuft Gefahr, den Lebensmut zu verlieren. Wem Anerkennung versagt wird, der weicht Leistungssituationen konsequent aus und damit auch ihren Voraussetzungen und Folgen. So werden Kritikaufnehmen und Loben-können ebenfalls zu bedeutsamen Erziehungszielen. Richtiges Loben ist ebenso anspruchsvoll wie das Aussprechen von konstruktiver Kritik. Dabei gilt grundsätzlich, dass der oder die Kritisierte immer unverletzt aus dem Diskurs hervorgehen können muss. Nur dann haben Kritik und Anerkennung persönlichkeitsfördernde Wirkung. Beiläufig sei darauf hingewiesen, dass nach der „Sprechakt-Theorie“ (J. L. Austin, 1911-1960 & J. R Searle: „Speech Acts“, 1969), wonach jede Aussage mit einem Zweck verbunden ist (hier: loben oder kritisieren), zu unterscheiden ist zwischen einer „Illokution“ (konventionelle sprachliche Handlung: Lob oder Tadel) und der „Perlokution“ (bezweckte Wirkung: Anerkennung zollen oder Kritik üben). Trainer müssen solche Unterschiede bewusst machen.

Alle wissen, dass sich Erfolg nicht automatisch einstellt, dass Misserfolg häufiger vorkommt als wir es gerne hätten und dass nicht jede unserer Leistungen von größtem Erfolg gekrönt sein kann. So kommt es, dass sich des Öfteren Frustrationen, manchmal auch Wut über die ausgebliebene Entlohnung für die ursprünglich eingegangenen Risiken einstellen. Solche *Ent-täuschungen* als normal und „halbseidene“ Leistungsergebnisse als eher üblich zu erkennen und zu akzeptieren, sich nicht *ent-mutigen* zu lassen, ist ein weiteres wichtiges Erziehungsziel im Elternhaus und vor allem in der Schule. Jules Renard drückt es so aus: „Es gibt Augenblicke, da gelingt uns alles. Kein Grund zu erschrecken. Das geht vorüber!“. So kommt es folgerichtig zu vielen kleinen Erfolgen und zu wenigen großen. Beiden "Sorten" ist jedoch gemeinsam, dass sie sich in derselben Form dem Bewusstsein zu erkennen geben. Fragt man jemanden, wie er Erfolg denn registriere, dann trifft man neben erstaunten Gesichtern auf Äußerungen wie beispielsweise: "Da freu' ich mich!" - Da geht's mir gut!" – „Da feiere ich mit Freunden!" - "Da könnt' ich die ganze Welt umarmen!". Die Antwort auf die Frage nach der Herkunft solcher universellen und kulturkreisunabhängigen Empfindungen wird dann häufig nicht mehr so locker gefunden.

Heute stellen wir fest, dass diese "standardisierten Erfolgsmeldungen" ihren Ausgang im Gehirn, im dortigen limbischen System haben und dass dieser Abschnitt des ZNS (Zentrales Nervensystem) dies fast langweilig eintönig meldet, nämlich über die Ausschüttung so genannter Neurotransmitter. Dabei handelt es sich um eine umfangreiche Gruppe von ca. 300 hormonähnlichen Substanzen, die den synaptischen Spalt zwischen zwei aneinander anschließenden Nervenzellen, zwischen Axon und Dendrit überwinden. Im Falle des limbischen Systems spielen die Endorphine, das Serotonin und das Dopamin eine Hauptrolle. Ihre Freisetzung bewirkt das, was jeder von uns als Glückszustand, als Euphorie empfinden kann. Da diese Substanzen rasch wieder resorbiert werden, sozusagen zur Ermöglichung der nächsten Erfolgsmeldung, kann der angenehm erlebte Zustand nur kurze Zeit andauern. Die Erinnerung an ihn ist dann das Genießen, während dessen auch eine selektive Abspeicherung des mit ihm verbundenen Ereignisses im Langzeitgedächtnis erfolgt.

Nun schließt sich der Kreislauf. Bei ihm handelt es sich um einen natürlichen Cyclus. Unser ganzes Leben ist geprägt von seiner Ausgestaltung. Von individuellen Varianten, Vorlieben, von inneren und äußeren Konditionen und Erfordernissen. Sowohl das langsame erziehungsgeleitete Hineinkommen wie auch das altersbedingte Ausscheiden sind natürliche Prozessabschnitte, die primär nichts Tragisches an sich haben und eigentlich wertneutral sind. Beide Übergänge zeichnen sich jedoch durch ein hohes erzieherisches Gefährdungspotenzial aus!

F 6.4 `Alternativen` zum „Anstrengungskreislauf“

Eine solche Charakterisierung des Lebens weist auf dessen gewaltige Komplexität und Bürde hin. Wie jeder weiß, verlangen es nicht nur die Lebens- und Biorhythmen, dass man sich zeitweise aus diesem Anstrengung-Erfolg-Cyclus zur Bedürfnisbefriedigung verabschiedet, ausklinkt. Das heißt, dass man mit seinen Bedürfnissen und Wünschen anders umgeht. Kurz gesagt, an die Stelle der langwierigen Befriedigung tritt eine einfachere, unterschiedlich variable und kurzfristige Betäubung der Bedürfnisse. Hierzu gibt es nicht nur individuelle Gepflogenheiten (Abend-, Wochenend- und Urlaubsgestaltung), sondern sogar ganze Regelsysteme und gesellschaftlich tradierte Rituale. Trink- und Rauchgewohnheiten sind hier ebenso gemeint wie die dazu gehörenden Utensilien. Man blicke einmal in den Wohnzimmerschrank und zähle die unterschiedlichen Gläserarten für die gesellschaftsrelevanten Trinkformen.

Erstmals kommen in unserer Argumentationskette Substanzen, aber auch Verhaltensweisen, meist Konsumverhalten ins Spiel. Mit dem Überbegriff "Drogen" lässt sich diese begrenzte Vielfalt gut beschreiben. Über alles schon Gesagte bedeutet dies, dass wir Mechanismen in unserer Lebensgestaltung einbauen, die -genauso wie andere den Bedürfnissen gewidmet sind- diese Bedürfnisse jedoch primär und zumindest zeitweise *betäuben* und eben nicht befriedigen (Abb. F25).

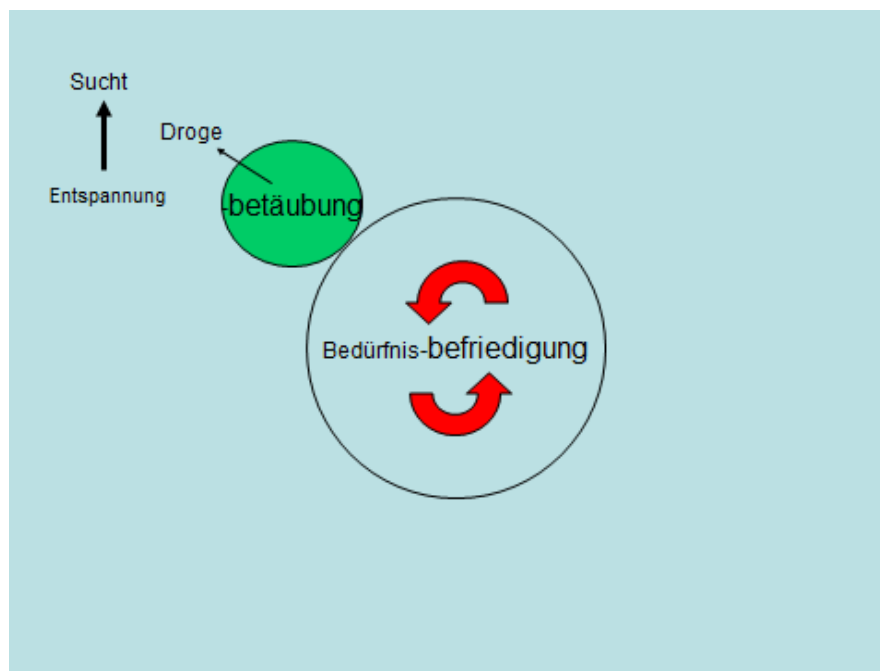


Abb. F25: Alternative „Bedürfnisbetäubung“ gegenüber einer Bedürfnisbefriedigung

Damit richtet sich der Blick auf eine neue Ungleichgewichtslage. Neben dem Versorgtsein-Selbständigkeits-Ungleichgewicht gibt es offensichtlich auch ein Anstrengungs-Entspannungs-UG und ein Befriedigungs-Betäubungs-UG. Die Gefährdung besteht nun darin, dass einer der beiden „kleinen“ Kreisläufe groß wird, dass er nachhaltig dominiert und dass der Betroffene nicht mehr selbständig zurückfindet, dass er/sie süchtig ist. Hierbei ist zu bedenken, dass das Bedürfnis aus den kleinen Kreisläufen nicht mehr unterdrückt, nicht mehr weiter betäubt werden kann!!! Sucht beschreibt

dann eine fortgesetzte Verdrängung von Problemlagen, die sich normalerweise aus dem großen Cyclus ergeben und dort auch bearbeitet werden müssen, mit nur einer stereotyp eingesetzten Strategie. Beide Neben-Balancen gelten für jeden Menschen auf seine spezielle Weise; er muss die Einstellung aber lernen bzw. gelernt haben. Somit haben wir wieder ein Erziehungsziel zu bedienen. SchülerInnen müssen den Umgang mit solchen „Alternativen“, Betäubungsmitteln lernen. Das gilt ausdrücklich für die legalen Drogen. Die illegalen Drogen müssen gemieden werden können, was wiederum den in unserer Gesellschaft geltenden gesetzlichen Vereinbarungen obliegt⁵²⁹. Aber wir sind noch nicht am Ende. Im Rahmen der Drogenerziehung und vor allem der Suchtprävention wird in der letzten Zeit immer mehr eine Erklärung bzw. Integration der sogenannten Essstörungen, insbesondere der Magersucht (Anorexia nervosa) in das Euphorie-Modell angemahnt. Solches gelingt, wenn man darunter eine besondere Form einer extremen Einflussnahme auf die Bedürfnisse selbst versteht, und zwar die „Bekämpfung“ von natürlichen Bedürfnissen! (Abb. E36). Durch Selbstkasteiung sollen Anstrengungen ihres normalen Zieles beraubt werden. Um die Anstrengungen zur Bedürfnisbefriedigung (im weitesten Sinne) nicht auf sich selbst beziehen zu müssen (etwa des selbstverantwortlichen Lebens des Heranwachsenden), wird deren Ausgangspunkt „bekämpft“. Wenn davon die Befriedigung elementarer Bedürfnisse betroffen ist, dann gelingt dies immer nur zeitweise und mit großen Rückschlägen, die zum Teil rhythmisch auftreten. Als streng organisierte Form des Einflussnehmens auf die Bedürfnisse kann das Fasten gelten. Es hat primär nichts zu tun mit einer selbstgewählten (Schlankheits)Diät, bei der es sich vorrangig um eine bewusste Verweigerung der Bedürfnisbefriedigung von Lebensnotwendigem zugunsten anderer nicht elementarer Bedürfnisse, etwa der Körperform handelt. Beim Fasten geht es eher um eine bewusst gemachte selektive Erfüllung von Bedürfnissen, die der Gewinnung von Übersicht über und der Unterscheidung zwischen wichtigen und unwichtigen Bedürfnissen dient. Somit wird die Aufnahme eines dritten Kreislaufes in das Schema nötig.

Die Motivation, die eigene Nahrungsaufnahme auf extreme Weise zu beeinflussen, führt zur verengten Anstrengungsvariation mit dem Ziel, in die Komplexität der „Lebenskraft“ unmittelbar einzugreifen. Hier gilt dasselbe wie bei anderen externen Kreisläufen. Es handelt sich erneut um ein Gleichgewicht, das in der Kindheit und Jugendzeit begleitend eingestellt werden muss.

⁵²⁹ Der 2018 im US-Staat Kalifornien und jetzt auch in Deutschland erlaubte Konsum von Cannabis zählt sicher zu den riskantesten Maßnahmen eines Umgangs mit Rauschmitteln, da das „Erlernen des kontrollierten Konsums“ erst neu entwickelt werden muss. Es fehlen die Rituale für einen zu riskanten Konsum.

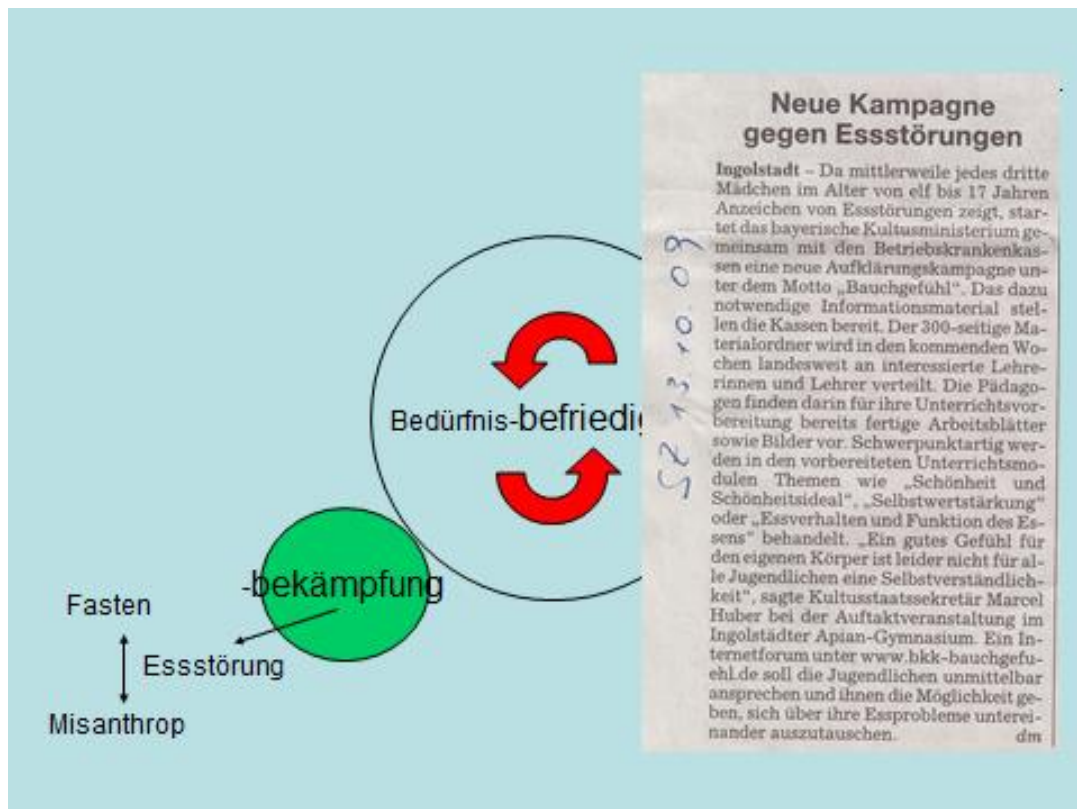


Abb. F26: Alternative „Bedürfnisbekämpfung“ gegenüber einer Bedürfnisbefriedigung

Alle Gleichgewichts-Einstellungen entsprechen unseren Erziehungsaufträgen und den Bildungszielen jedes Einzelnen (Abb. F27). Was ist also zu tun?

Sowohl im Primar- als auch im Sekundarstufenbereich muss besorgt darauf geachtet werden, dass Kinder ein Gespür dafür bekommen, wie sie sich der drei Kreisläufe zu bedienen haben, um ihr Leben kompetent gestalten zu können. Die Ausbildung der Lebenskompetenzen: Erkennen von Bedürfnissen, Verfügbarkeit vielfältiger Strategien zur Befriedigung und Entwurf eines sinnerfüllten Lebensplans steht im Zentrum erzieherischer Anstrengungen und selbstbildnerischer Lerneffekte. Für Erziehende und LehrerInnen stellt sich hierzu die grundsätzliche Frage: "Wie kann die Wahrscheinlichkeit für die Ausbildung von 'life skills' erhöht werden?"

Zunächst gelingt es vorbereitend durch die Prüfung des eigenen Kind- oder Schülerinbildes, was speziell bei Lehrkräften Bestandteil der Professionalität ist:

- "Wie gut kenne ich meine eigenen Bedürfnisse und wie gehe ich mit ihnen um?" –
- "Wie erkenne ich die Bedürfnisse der Kinder und SchülerInnen und wie reagiere ich darauf?" - Welchen Unterschied mache ich dabei zwischen Bedürfnis und Wunsch?"
- "Was traue ich dem Kind zu und wobei helfe ich ihm?" –
- "Was verlange ich vom Schüler und der Schülerin?" - "Wie sieht meine eigene Prioritätenliste aus?" –
- "Wie definiere ich mein eigenes Vorbildverhalten?" –
- „Welche GG habe ich für mich wie eingestellt?" –
- "In welchem Bewusstseinsgrad verlaufen meine Gewohnheiten?" –
- "Welches Gewicht messe ich den eigenen Genussphasen und dem Genießen anderer bei?" "Trenne ich Lern- und Leistungssituationen bzw. Lern- und Prüfungsleistungen der SuS genügend scharf voneinander ab?" –
- "Stimme ich meine Anforderungen auf Leistungsfähigkeiten ab?" –

- "Bemühe ich mich ausreichend und umsichtig um die Motivationen meiner Schüler und kümmere ich mich um ihre Interessen und deren Wandel - vor allem in der Pubertät?"

All diese Selbsterforschungen sind wichtig, nicht jede zu jeder Zeit, nicht alle auf einmal. Fallweise kann die Antwortsuche aber die eine oder andere Frage sowie evtl. übersehene oder unterschätzte Zusammenhänge erhellen und Korrekturen vorbereiten helfen; denn „Mit sich im Reinen sind nur die Doofen!“ (Philosoph Martin Seel, zit. aus Precht, 2018, S. 206).

Nichts ist anstrengender als Aufmerksamkeit und nichts ist wichtiger für eine durch Konsequenz ausgewiesene Erziehung, die sich darum bemüht, die Zukunft zu gestalten. Das gilt für Eltern genauso wie für die PädagogInnen in der Schule. Nicht umsonst wird der „Diagnosekompetenz“ eines Lehrers und einer Lehrerin größte professionelle Bedeutung beigemessen (Abb. F28). Dies auch aus dem Grund, dass „Diagnosen ... einen bereits bestehenden Handlungsbedarf offen[legen]“ (Reiners et al., 2017). „Der Einsatz von Diagnosen im Chemieunterricht ist nur dann lernwirksam, wenn die diagnostischen Erkenntnisse genutzt werden, um gezielt Maßnahmen zu ergreifen, die das Lernen und Leisten der Schüler fördern“.

Erziehung gelingt in dem Maße, wie sie einen diagnostischen Rückgriff auf Bildung erlaubt. Nur der Gebildete, der- und diejenige, der und die die an sich selbst angewendeten erzieherischen Bemühungen zur Entwicklung der Persönlichkeit gewinnbringend veredeln konnte, erlangt Erziehungslizenz. Der Ruf nach nicht nur gut ausgebildeten LehrerInnen, sondern auch nach gebildeten LehrerInnen ist mittlerweile laut genug und gerechtfertigt.

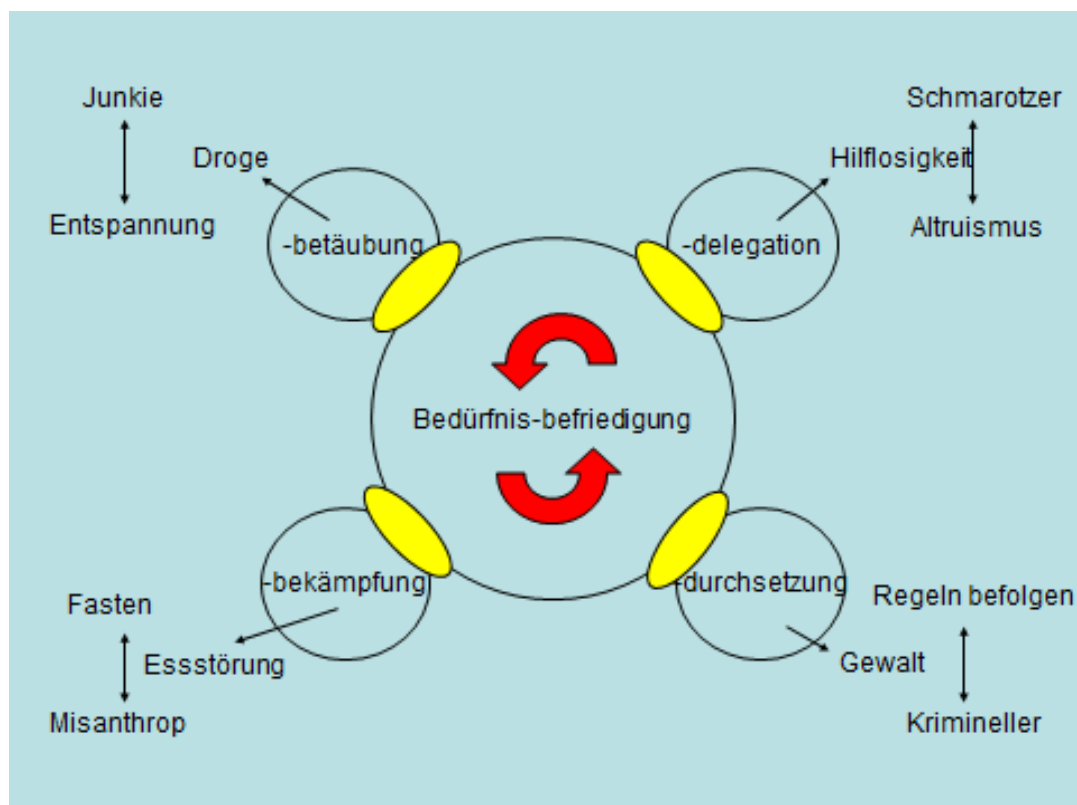


Abb. F27: Anstrengungskreislauf mit den Alternativen, zu denen ein immerwährendes Gleichgewicht eingestellt werden muss.

Noch ein Wort zu den Präventionsbemühungen gegenüber jugendlicher Gewalt (Erfurt am 21.4.02; tägl. finden in den USA durchschnittlich 6000 Angriffe auf Lehrkräfte statt). Auch hierzu kann das Modell eingesetzt werden. Dabei gilt, dass Gewalt dann integrierbar wird, wenn man davon ausgeht, dass ein Mensch die Bedürfnisbefriedigung eines und/oder mehrerer anderer aktiv bekämpft, im Sinne einer Behinderung oder Verunmöglichung, etwa durch verbale, psychische oder/und durch physische Gewalteinwirkung. Das würde auf das Schema des Modells bezogen, heißen, dass der große Kreislauf dazu eingesetzt wird, die großen Kreisläufe anderer als Konkurrenzen auszuschalten, zumindest aber in ihrer Funktionstüchtigkeit einzuschränken, letztlich „aus der Welt zu schaffen“. Antrieb hierzu können Frustrationen sein, eigene stete Erfolglosigkeit und ein Lebensprogramm ohne Perspektiven u.a.. Auch hier mangelt es grundsätzlich an Empathie, an der Akzeptanz einer Gleichberechtigung großer Kreisläufe der Mitmenschen und der Fähigkeit, die eigenen Bedürfnisbefriedigungen auf das Bemühen des Anderen hin jeweils abzustimmen.

F 6.5 Die Präventionsziele

Wozu dieser Aufwand im Rahmen einer "Drogenerziehung und Suchtprävention"? Wie weit muss die Vorbeugung denn gehen? Was soll denn nun konkret vermieden und welcher Gefahr begegnet werden? Es lässt sich rasch erkennen, dass letztlich vier Extremlagen nicht eingestellt werden dürfen:

1. Der fortgesetzte Ersatz von körpereigenen "Glückshormonen" durch Fremdsubstanzen (Drogen)
2. Der gleichförmige Ersatz von Eigenverantwortung durch Problem- und Wunschabgabe an andere.
3. Die negative Beeinflussung von elementaren, lebensnotwendigen Bedürfnissen
4. Die nachhaltige, meist gewaltsame Behinderung Anderer, ihre Bedürfnisse zu befriedigen

Dabei muss unbedingt eine Gesetzmäßigkeit beachtet werden. Man kann niemals gegen etwas werben! Das Warnen und Verteufeln von negativen Folgen der Nebenkreisläufe, etwa in Form von Plakaten, Warnhinweisen etc. ist zwar wichtig, hilft jedoch für sich alleine keineswegs weiter. Wenn also der Hauptkreislauf favorisiert werden soll, dann muss er besonders attraktiv gestaltet werden, sodass eben nur für ihn geworben wird. Dies erfordert die Verdeutlichung von Vorteilen und die Eröffnung möglichst vieler Erfolgserlebnischancen im Durchlauf dieses „Lebenskreislaufs“. Nichts anderes passiert bei der Rehabilitation von Suchtkranken, bei der allerdings die Erfolgsquote über ein Drittel der Betroffenen selten hinausgeht.

Prävention, Prophylaxe im Sinne einer Werbung für das eher Anstrengende, dann Erfolgversprechende und demnach Vorbeugung kann nicht früh genug beginnen. Dabei gilt, dass über die Zeit hinweg drogenunspezifische, so genannte primärpräventiven Maßnahmen durch drogenspezifische, eher sekundärpräventive zu ergänzen sind. Letztere bestehen beispielsweise auch in der Gestaltung von Projekten, anhand derer z.B. SchülerInnen verdeutlicht wird, wie gefährlich etwa der Drogenkonsum ist und welche Hilfen bei Suchtgefährdung es in unserer Gesellschaft gibt (Anton, 1992). Nur nebenbei sei darauf verwiesen, dass die palästinensische Grundschullehrerin Hanan al.Nrub 2016 als Weltlehrerin ausgezeichnet wurde, weil sie sich für traumatisierte Kinder und Gewaltlosigkeit eingesetzt hat⁵³⁰.

Auf- LehrerInnen- und Elternseite muss Prävention Spaß machen, sie muss Lustgefühle erzeugen damit sie sich auf dauerhafte Weise rentieren kann, auch wenn das festzustellen, nicht kurzfristig und beweisend möglich ist; nicht einmal bei Betrachtung alter Menschen, deren Suchtgefährdung, aber auch Suchterkrankungen drastisch zunehmen. Denn auch der Weg heraus aus dem Kernkreislauf durch Rente und Pension oder durch frühen Arbeitsplatzverlust birgt enorme Gefährdungen in sich. Die Rolle des ehrenamtlich aktiven Menschen ist dabei nicht zu unterschätzen. Prävention muss frustrationsstabil sein. Diese gewaltige Forderung ergibt sich aus der Tatsache, dass über pädagogisch-psychologische Einflüsse „nur“ erzogen werden kann, dass dann aber selbstgesteuerte Reaktionen ablaufen, die höchst individuell geartet sind. Die Erziehenden können dann nur hoffen, dass die Einflüsse gewollte Effekte nach sich ziehen, ... irgendwann (Liedtke, 1991)! Und an die Stelle von Schwarzweiß-Unterscheidungen treten die zahllosen lebensechten Grau- und Farbtöne, innerhalb derer wir das Bild unserer zukünftigen Generationen zu zeichnen haben und für deren Erziehungslizenz wir mitverantwortlich sind, insbesondere als Lehrprofis!

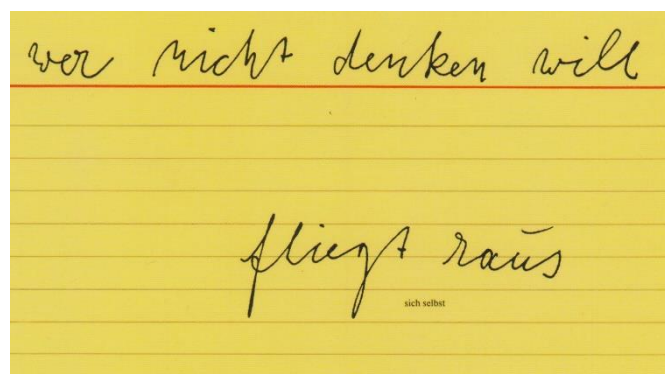
⁵³⁰ Der Weltlehrerpreis ist mit einer Million US-Dollar dotiert. Er wird von der Varkey Stiftung vergeben und u.a. von Bill Clinton und Papst Franziskus unterstützt.

Epilog

Nach 50 Berufsjahren an zwei Schulen und zwei Universitäten erscheint es nicht nur mir als Bedürfnis, alles Wichtige auf irgendeine Weise zu sammeln und in seinen Bedeutungen differenziert hervorzuheben. Dabei stellt sich die Frage „Was ist denn eigentlich das Wichtige?“ Ich bin davon überzeugt, dass es die didaktischen und mathetischen Zusammenhänge sind, erkannt mit Hilfe der zahllosen Erfahrungen und Erlebnisse sowie Forschungsergebnissen, welche einer aufmerksamen beruflichen Reflexion unterzogen werden konnten. Menschen dafür zu begeistern, chemisches Wissen erwerben zu können und damit erfolgreich Erklärungen für Staunenswertes oder für Wünschenswertes, für Akutes und Gefährliches zu finden sowie berufliche Wahlentscheidungen sicher treffen und Expertenstatements kritisch hinterfragen zu können, ist schon ein faszinierendes Arbeitsziel, noch dazu in einem naturwissenschaftlichen Fach! Darüber hinaus jedoch auch noch die Möglichkeit eröffnet zu bekommen, Lehrkräfte so auszubilden, dass Sie diese Begeisterung erzeugen können und wollen, gehört wohl zu den schönsten Aufgaben, die LehrerInnenbildung beinhaltet. Wenn es weiterhin zunehmend besser gelingt, dass die Lehrlernwissenschaften, bestehend aus dem sicheren Umgang mit den fachspezifischen Inhalten und Methoden einerseits (Didaktik) sowie aus dem ebenfalls sicheren Einsatz von Erkenntnissen aus pädagogischer Psychologie und moderner Hirnforschung andererseits (Mathetik), sich über eigene Forschungsdesigns, welche der Unterrichtswirklichkeit entsprechen, der sukzessiven Verbesserung von Unterrichtsqualität widmen, kann es für die Weiterentwicklung des Chemieunterrichts durch bestausgebildete Lehrprofis nicht schlecht bestellt sein.

„Wenn wir die Menschen nur nehmen, wie sie sind, so machen wir sie schlechter; wenn wir sie behandeln, als wären sie, was sie sein sollten, so bringen wir sie dahin, wohin sie zu bringen sind“ (J. W. v. Goethe).

Auf dem Weg dorthin befinden sich schon viele an der Aus- und Fortbildung von Lehrerinnen und Lehrern Beteiligte. Mögen es immer mehr und die Bedingungen immer besser werden, um Lehrkräfte in die Praxis zu entlassen, die von sich behaupten dürfen „Ich versteh´ etwas vom Chemieunterricht!“; denn ...



Originalgrafik 15023 „Sich selbst“ Joseph Beuys (1977)

Literatur

- Abels, S.; Lembens, A. (2015).** *Mysteries als Einstieg ins Forschende Lernen im Chemieunterricht.* Chemie&Schule 30 (2015) 1a Themenheft
- Abels, S.; Puddu, S.; Lembens, A. (2014).** *Wann flockt die Milch im Kaffee?* NiU-Ch 25 (2014) 2, 41
- Abrams, E. D., Southerland, S. A., & Evans, C. A., (2007).** *Inquiry in the Classroom: Necessary Components of a Useful Definition.* E. D. Abrams, E. D.; Southerland, S. A.; Silvia, P. C. Inquiry in the classroom. Realities and Opportunities (S. xi- xlii). Charlotte, North Carolina: Information Age Publishing.
- Ackermann, E. (Hrsg.) (2021).** *Jean-Jacques Rousseau – Die Kunst zu leben.* München: Anaconda
- A Campo, A. (2007).** *Rettet die mathematische u. naturwissenschaftliche Bildung!* MNU 60(2007)1, 3.
- Achenbach, F.; Hock, K. (2020).** *Silicone: Moleküle mit maßgeschneiderten Eigenschaften.* ChiuZ 54 (2020) 44-55
- Adesokan, A.; Reiners, Chr. (2015).** *Lehr- und Lernmaterialien zur Einführung naturwissenschaftlicher Arbeits- und Denkweisen bei Schülerinnen und Schülern mit Hörbeeinträchtigung – Ein Beitrag zur Entwicklung eines inklusiven Chemieunterrichts.* ChemKon 22 (2015) 4, 162-172
- Adey, P.; Shayer, M.; Yates, C. (1993).** *Naturwissenschaftlich denken. Curriculum-Material zur Beschleunigung der kognitiven Entwicklung durch naturwissenschaftlichen Unterricht.* (Deutsche Ausgabe zu: Thinking Science in der Reihe „Aachener Beiträge zur Pädagogik“) Aachen: Augustinus-Buchhandlung.
- Adick, C. (2002).** *Ein Modell zur didaktischen Strukturierung des globalen Lernens.* Bildung und Erziehung 55(2002)4, 397-415.
- Adlhoch, S. (2013).** *Der Einfluss von Schüleraktivierung und Strukturierung auf den Lernerfolg – ermittelt anhand der Umsetzung einer verbalisierten Versuchsanleitung in ein Strukturdiagramm im Rahmen von Schülerübungen der 9. Jgst. Gymnasium.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der Uni Regensburg zum 1. Staatsexamen 2013.
- Aebli, H. (1951).** *Didactique psychologique. Application à la didactique de la psychologie de Jean Piaget.* Neuchâtel: Delachaux et Niestlé
- Aebli, H. (1968).** *Die Lehrerfrage und der fraglose Unterricht.* Dohmen, G.; Maurer, F. (Hrsg.). Unterricht – Aufbau und Kritik (S. 86-102). München: Piper.
- Aebli, H. (1976).** *Psychologische Didaktik.* Stuttgart: Klett
- Aebli, H. (1983).** *BzL-Interview „Wo ein guter Lehrer am Werk ist, wird die Welt ein bisschen besser.* Beiträge zur Lehrerbildung 1 (1983) 2, 3-13
- Aepkers, M.; Liebig, S. (2002).** *Entdeckendes Forschendes Genetisches Lernen.* Hohengehren: Schneider
- Aeschbacher, U. (1986).** *Unterrichtsziel: Verstehen – Über die psychologischen Prozesse beim Denken, Lernen und Verstehen.* Stuttgart: Klett
- Affeldt, F.; Siol, A.; Markic, S.; Eilks, I. (2018).** *Neue Ansätze zur Differenzierung im Schülerlabor.* CHEMKON 25 (2018) 7, 255-262
- Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) (2007).** *Experimentieranleitungen für das Fach Physik/Chemie/Biologie an der Hauptschule in den Jgst. 5 und 6.* Dillingen: ALP.
- Akademie für Lehrerfortbildung und Personalführung (ALP) (2011).** *Chemie? – Aber sicher! – Experimente kennen und können.* Akademiebericht 475. Dillingen: ALP

- Albertus, M. (2015).** *Berufliche Orientierung als Bestandteil zeitgemäßen Chemieunterrichts – Eine Interventionsstudie zur Implementierung ausgewählter berufsorientierender Elemente in chemiebezogenen Lernumgebungen der Sekundarstufe I*-. Dissertation, Freie Universität Berlin
- Aldrup, K. (2021).** *Wer Angst hat, lernt schlechter*. IPN Journal (2021/2022) 8, 40-43
- Alpoguz, M.; Linz, U. (2021).** *Hybride Lernarchitekturen sinnvoll gestalten*. Excitingedu – Das Magazin für die digitale Schule (2021) 2, 6-9
- Alt, F. (2015).** *Der Appell des Dalai Lama an die Welt – Ethik ist wichtiger als Religion*. Wals bei Salzburg: Benevento Publishing
- Altrichter, H. (2003).** *Der Wandel der Lehrerrolle und die damit verbundenen Anforderungen an die Lehrerfortbildung*. Manuskript zum Vortrag am 30.6.2003 in Eisenstadt (Österreich)(PI Burgenland).
- Altrichter, H; Posch, P. (1998).** *Lehrer erforschen ihren Unterricht – Eine Einführung in die Methoden der Aktionsforschung*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Amberg, E. (2017).** *Alle Menschen sollen alles verstehen!* BISS (2017) Okt., 16-21
- Anastas, P. T.; Warner, J. C. (1998).** *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford: University Press
- Anderson, L.; Evertson, C.; Brophy, J. (1979).** *An experimental study of effective teaching in firstgrade reading groups*. Elementary School Journal 79 (1979) 193-223
- Andreas, R. (1989).** *Einleitung*. ISB (Hrsg.). Förderung besonderer Schülergruppen in Bayern (S. 9-18). München: Ehrenwirth
- Anschütz, A. (1992).** *Dokumentation therapeutischer Maßnahmen bei der Behandlung von Kindern mit Minimaler Cerebraler Dysfunktion (MCD) im Großraum München*. Schriftliche Hausarbeit aus der Sportpsychologie der TU München zum 1. Staatsexamen 1993.
- Ansari, S. (2009).** *Schule des Staunens – Lernen und Forschen mit Kindern*. Heidelberg Spektrum
- Anselm, S.; Janka, M. (Hrsg.) (2015).** *Vernetzung statt Praxisschock – Konzepte, Ergebnisse, Perspektiven einer innovativen Lehrerbildung*. Göttingen: Ruprecht
- Anselm, S.; Werani, A. (2017).** *Kommunikation in Lehr-Lernkontexten - Analyse, Reflexion, Training selbstregulativer Prozesse zur Professionalisierung personaler Sprechstile*. utb
- Ansorge-Grein, K.; Patzke, B.; Bader, H. J. (2009).** *Qualitätsentwicklung in der Lehrerfortbildung. Anforderungen und Wirklichkeit*. ChemKon 16(2009)3, 119-124.
- Anton, M. A. (1992).** *Drogen und Schule*. Landsberg a. L.: ecomed
- Anton, M. A. (1997).** *Auf der Suche nach Unterrichtselementen im Chemieunterricht*. Brechel, R. (Hrsg.). Zur Didaktik der Physik und Chemie (S. 131-133). Alsbach: Leuchtturm.
- Anton, M. A. (1998).** *Die didaktische und die Kontaktvariation im Chemie-Unterricht – Chancen zur Verbesserung seiner Qualität*. Frankfurt: Peter Lang
- Anton, M. A. (1999a).** *Chemische Unterrichtsprinzipien*. PLUS LUCIS (1999) 2, 2-6.
- Anton, M. A. (1999b).** *Spaß sollte Freude bringen*. Chem. Sch. 46 (1999) 3,135-138
- Anton, M. A. (1999c).** *Lehrer- und Schülerexperimente in der „Kontextfalle“ des Chemieunterrichts*.
- Anton, M. A. (1999d).** *Phänomen-Sprache-Dialog. Vom Anthropomorphismus zum Fachgespräch*. Brechel, R. (Hrsg.). Zur Didaktik der Physik und Chemie (S. 193-195). Alsbach: Leuchtturm.
- Anton, M. A. (1999e).** *Vom Sinn und Unsinn der Experimente im Chemieunterricht*. In: Sumfleth, E. (Hrsg.) (1999). *Chemiedidaktik im Wandel – Gedanken zu einem neuen Chemieunterricht* (S. 278-311). Münster: Lit.

- Anton, M. A. (1999f).** *Grundlagen der Chemie*. ISB (Hrsg.). Neue Wege im Chemieunterricht. Handreichung (S. 11-50). Donauwörth: Auer.
- Anton, M. A. (2000a).** *Mit „ZOC“ zur „curricularen Synthese“*. Chemie in der Schule 47 (2000) 2, 113-114.
- Anton, M. A. (2000b).** *Evaluation*. Honal, W. H. (Hrsg.). Handwörterbuch der Schulleitung 34. Lieferung (S.1-22) Landsberg: Verlag Moderne Industrie
- Anton, M. A. (2001a).** *Milde Architektur von Wissen*. Brechel, R. (Hrsg.). Zur Didaktik der Physik und Chemie (S. 230-232). Alsbach: Leuchtturm.
- Anton, M. A. (2001b).** „Katalyse“ (S. 106-122), „Metalle im `Kampf` um Elektronen und Sauerstoff“ (S. 77-89). Rossa, E. (Hrsg.) (2001). Die Fundgrube für den Chemie-Unterricht in der Sekundarstufe I. Berlin: Cornelsen.
- Anton, M. A. (2001c).** *Lehrerbildung ist Elitebildung*. Berliner Debatte Initial 12 (2001) 2, 103-119
- Anton, M. A. (2001d).** *Gibt es eine Chemie ohne sinnstiftenden Kontext?* PdN-ChiS 50 (2001) 4, 37-38
- Anton, M. A. (2003a).** *Wozu Fachdidaktik?* PdN-ChiS 52 (2003) 1, 41-45
- Anton, M. A. (2003a, 2003b).** *Wozu Fachdidaktik?* PdN-ChiS 52 (2003) 1, 41-45. Chemie & Schule 18 (2003) 1, 3-7
- Anton, M. A. (2003c).** *Erziehen und Sich-bilden – Lehren und Lernen – Didaktik und Mathematik*. Lernwelten 5 (2003) 2, 73-76
- Anton, M. A. (2003d, 2003e).** *Mit chemischen Inhalten zu überfachlichen Zielen*. PdN-ChiS 52(2003)3, 34-38; Chemie & Schule 18 (2003) 1, 7-10.
- Anton, M. A. (2005a).** *Die Guten brauchen die Besseren – „Lehrbegabtenförderung zwischen Provokation und Ansporn“*. Kostrzewa, F. (Hrsg.) (2005). Kompetenzen von Lehrerinnen und Lehrern. Tagungsband, S. 25-89. Schriftenreihe des Lehrerbildungszentrums der Universität zu Köln
- Anton, M. A. (2005b).** *Die Oxidation im historischen Kontext*. Rossa, E. (Hrsg.) (2007). Chemiedidaktik – Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II (S. 192-196). Berlin: Cornelsen.
- Anton, M. A. (2006).** *Wozu Fachdidaktik?* Honal, W. H. (Hrsg.). Handwörterbuch der Schulleitung, 57. Lieferung (S 1-13). OLZOG-Verlag: München
- Anton, M. A. (2008a).** *Die Chemie und der „Innere Wohlstand“ des Menschen*. Güsten, H.; Reinermann, H. (Hrsg.) (2008). Die Chemie zwischen Hoffnung und Skepsis – Wege zur Vertiefung von Wissen und Verständnis in Chemie und Technik (S. 136-184). Baden-Baden: Nomos.
- Anton, M. A. (2008b).** *Kompendium Chemiedidaktik*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Anton, M. A. (2009a).** „Auf die Orientierung kommt es an ...!“ – Welchen Beitrag liefert die Praxiserfahrung für die Unterrichtsqualität? Höttecke, D. (Hrsg.) (2009). Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung. GDGP-Jahrestagung in Schwäbisch-Gmünd 2008, S. 431-433. Münster: Lit
- Anton, M. A. (2009b).** *Unterricht zwischen Theorie und Handlungsorientierung*. IMST-newsletter 8 (2009) 29, 20-23
- Anton, M. A. (2009c).** *Das Fach Chemie und der „innere Wohlstand“ des Menschen*. MNU 62 (2009) 7, 438-441
- Anton, M. A. (2010a).** *Das Verhältnis von Außerschulischen Lernorten (ASLO) zu Innerschulischen Lernorten (ISLO) – Eine science-didaktische Verortung*. Chim. & ct. did. 36 (2010) 103, 4-38
- Anton, M. A. (2010b).** „Wie heißt das auf Chemisch?“ – Sprachebenen der Kommunikation im und nach dem Chemieunterricht. Fenkart, G.; Lembens, A.; Erlacher-

Zeitlinger, E. (Hrsg.) (2010). Sprache, Mathematik und Naturwissenschaften (S. 63-86). Innsbruck: Studienverlag

Anton, M. A. (2011). *Nawi-Bildung als Synopse inner- und außerschulischer Lernangebote*. Höttecke, D. (Hrsg.). Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie (S. 318-320). Münster: Lit

Anton, M. A. (2012a). „Nur was sich unterscheidet, kann sich ergänzen!“. PdN-ChiS 61 (2012) 3, 18-21

Anton, M. A. (2012b). *Elektrochemie – gehasst oder geliebt!* PdN-ChiS 61 (2012) 4, 23-27

Anton, M.A. (2012c). „Promoting the Acquisition of Chemical Knowledge by Structuring Content and Processes in Instructing Gifted Students“, in: Markic, S.; Eilks, I.; di Fuccia, D.; Ralle, B. (Eds.) (2012). Issues of Heterogeneity and Cultural Diversity in Science Education and Science Research (S. 143-154). A collection of invited papers inspired by the 21st Symposium on Chemical and Science Education held at the University of Dortmund, May 17-19, 2012. Aachen: Shaker

Anton, M. A. (2013a). *Schnelles Denken langsam lernen*. NiU-Ch 24 (2013) 135, 45-48

Anton, M. A. (2013b). *Lehrpläne zwischen Effektivität und Effizienz – Naturkunde-Fachunterricht-Science*. Chemie&Schule 28 (2013) 4, 9-10

Anton, M. A. (2014a). *Fachdidaktik Chemie*. IPEGE (Hrsg.) (2014). Professionelle Begabungsförderung – Fachdidaktik und Begabtenförderung (S. 55-75). Salzburg: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF)

Anton, M. A. (2014b). *Intersektionalität – Die mathetische Seite der Lehrerin- und Lehrerexpertise*. Frauenstudien (S. 3-9), LMU München

Anton, M. A. (2015) *ChemielehrerInnen als Brückenbauer und Chemiedidaktik als Bauherrin*. Anselm, S.; Janka, M. (Hrsg.) (2015). Vernetzung statt Praxischock – Konzepte, Ergebnisse, Perspektiven einer innovativen Lehrerbildung (S. 267-283). Göttingen: Ruprecht

Anton, M. A. (2017a). *Strukturierungen erleichtern das Verstehen von Schlüsselkonzepten*. PdN-ChiS 66 (2017) 1, 34-37

Anton, M. A. (2017b). *Chemiespezifisches Kompetenzmuster und Begabungsförderung*. Fischer, Chr. ; Fischer-Ontrup, Chr. ; Käpnick, F. ; Mönks, F.-J. ; Neuber, N. ; Solzbacher, C. (Hrsg.) (2017). Potenzialentwicklung. Begabungsförderung. Bildung der Vielfalt. (S. 13-28). Münster : Waxmann.

Anton, M. A. (2018). „Was ist inklusiver Chemieunterricht?“ in: Groß, K.; Schumacher, A. (Hrsg.) (2018). Einblicke in die chemiedidaktische Forschung zu den Schwerpunkten individuelle Förderung und naturwissenschaftliches Arbeiten. Festschrift anlässlich des 60. Geburtstages von Prof. Dr. Chr. S. Reiners (S. 127-147). Elektronische Schriftenreihe der Universitäts- und Stadtbibliothek Köln, Bd. 12

Anton, M. A. ; Thurmair, F. (1998). *Aggregatzustände von Wasser*. Lernchancen 1 (1998) 1, 74-79

Anton, M. A.; Neber, H. (2008). *Implementierung von „Forschungszyklen“ in den Chemieunterricht*. PdN-ChiS 57 (2008) 3, 35-37.

Appel, T. R. (2016). *Ein Plädoyer für das anschaulich-modellbildende Unterrichtskonzept*. PdN-ChiS 65 (2016) 4, 24-29

Arndt, A.-K.; Werning, R. (2015). *Inklusion als Anlass zur schulweiten Unterrichtsentwicklung*. Rolff, H.-G. (Hrsg.) (2015). Handbuch Unterrichtsentwicklung (S. 511-524). Weinheim: Beltz

Arnold, J.; Kremer, K.; Mayer, J. (2014). *Schüler als Forscher – Experimentieren kompetenzorientiert unterrichten und beurteilen*. MNU 67 (2014) 2, 83-91

- Arnold, M. (2002).** *Aspekte einer modernen Neurodidaktik – Emotionen und Kognitionen im Lernprozess.* Ernst Vögel
- Arnold, M. (2009).** *Brain-based Learning and Teaching – Prinzipien und Elemente.* Herrmann, U. (Hrsg.). *Neurodidaktik – Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (S. 182-195). Weinheim
- Arold, H.; Schaarschmidt, U.; Spörer, N. (2001).** *Belastung im Lehrerberuf (I) – Ergebnisse der Potsdamer Studie zur Lehrgesundheit.* *Lernwelten* (2001) 1, 17-20
- Astleitner, H. (1999).** *Emotionale Unterrichtsgestaltung.* *Päd. Rundschau* 53 (1999) 307-326
- Aufschnaiter, C. v. (2003).** *Videobasierte Analysen von Lern- und Lehrprozessen in physikalischen Kontexten.* Habilitationsschrift Universität Hannover
- Aufschnaiter, C. v.; Hofmann, J. (2014).** *Kompetenz und Wissen.* *MNU* 67 (2014) 1, 10-16
- Aufschnaiter, S. v. (1986).** *Lernziele im Visier.* *physica didactica* 13 (1986) 7-13
- Aufschnaiter, S. v. (2000).** *Kompliziert oder schwierig – kognitive Entwicklung beim Lösen von Aufgaben.* In: Bayrhuber, H.; Unterbruner, U. (Hrsg.). *Lehren und Lernen im Biologieunterricht*, S. 226-237. Innsbruck: Studienverlag.
- Avramidis, E.; Bayliss, P. I.; Burden, R. (2000).** *Student teachers' attitudes towards the inclusion of children with special educational needs in the ordinary school.* *Teaching and Teacher Education* 16 (2000) 3, 277-293
- Ayan, S. (2013).** *„Kein Gehirn gleicht dem anderen“.* *Gehirn&Geist* (2013) 7/8, 44-46
- Ayan, S. (2014).** *Das Handwerk des Denkens.* *Gehirn&Geist* (2014) 3, 34-41
- Ayan, S. (2015).** *Gewusst warum.* *Gehirn&Geist* (2015) 1, 76-79
- Ayan, S. (2016).** *Flieg, Gedanke, flieg!* *Gehirn&Geist* (2016) 4, 13-17
- Baddeley, A. D. (1986).** *Working Memory.* Oxford, UK: Clarendon Press.
- Badenschier, F. (2006).** *„Faules Gehirn denkt sich Gewöhnliches schön“.* *Spiegel Wissenschaft* (2006) 10
- Baer, M.; Dörr, G.; Fraefel, U.; Kocher, M.; Küster, O.; Larcher, S.; Müller, P.; Sempert, W.; Wyss, C. (2007).** *Werden angehende Lehrpersonen durch das Studium kompetenter?* *Unterrichtswissenschaft* 35 (2007) 1., 15-47
- Baier, T. (2013).** *„Wenn Jungs sich wie Jungs benehmen, gelten sie als auffällig“.* *SZ* vom 7.1.2013, S. R13
- Ball, J.; Lohaus, A.; Miebach, Chr. (2006).** *Psychische Anpassung und schulische Leistungen beim Wechsel von der Grundschule zur weiterführenden Schule.* *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 38 (2006) 3, 101-109
- Baltes, P. B. (1990).** *Entwicklungspsychologie der Lebensspanne. Theoretische Leitsätze.* *Psychologische Rundschau* 41 (1990) 1-24
- Bambach, H.; Bartnitzky, H.; Ilseman, C. v.; Otto, G. (Hrsg.) (1996).** *Prüfen und Beurteilen – Zwischen Fördern und Zensieren.* Jahresheft XIV des Friedrich-Verlags
- Bamm, P. (1972).** *Eines Menschen Zeit. - Adam, wo bist du?* Stuttgart: Deutscher Bücherbund
- Barke, H.-D. (2006).** *Chemiedidaktik – Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen.* Berlin: Springer
- Barke, H.-D. (2015).** *Brönsted-Säuren und Brönsted-Basen: Es sind nicht Stoffe, sondern Moleküle oder Ionen!* *Chemie&Schule* 30 (2015) 1, 10-15
- Barke, H.-D. (2019).** *Wasser siedet bei 100 Grad und hat einen Winkel.* *CHEMKON* 26 (2019) 3, 114-118

- Barke, H.-D.; Büchter, J. (2020).** *Laborjargon in der Chemie – Untersuchung fachwissenschaftlicher Literatur und Befragung von Lehrenden.* Chemie&Schule 35 (2020) 4, 12-16
- Barke, H.-D.; Harsch, G. (2001).** *Chemiedidaktik heute – Lernprozesse in Theorie und Praxis.* Berlin: Springer
- Barke, H.-D.; Wirbs, H. (2016).** *Ionenbegriff erarbeiten, üben und auf Alltagsbezüge anwenden.* PdN-ChiS 65 (2016) 4, 15-20
- Barke, H.-D.; Yitbarek, S. (2009).** *Concept Cartoons – Hilfen zur Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen.* MNU 62(2009)6, 364-371.
- Barke, H.-D.; Harsch, G.; Kröger, S.; Marohn, A. (2018).** *Chemiedidaktik kompakt – Lernprozesse in Theorie und Praxis.* Berlin: Springer
- Barker, V. (1997).** *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas.* A report for the Royal Society of Chemistry. www.chemsoc.org/learnnet/miscon.htm;
- Bartens, W. (2017).** *Lob des Lobes.* SZ v. 6./7.5.2017, S. 45
- Bartens, W. (2018).** *Emotionale Gewalt – Was uns wirklich weh tut: Kränkung, Demütigung, Liebesentzug und wie wir uns dagegen schützen.* Berlin: Rowohlt
- Bartenwerfer, H. (1993).** *Individuelle Talent-Unterschiede.* Zeitschrift für internationale erziehungs- und sozialwissenschaftliche Forschung 10 (1993) 2, 271-287
- Bassin, F. V. (1978).** *Unbewusstes und Verhalten.* Stuttgart
- Bauchmüller, M. (2014).** *Schönen Gruß aus der Zukunft.* APuZ-Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament 64 (2014) 31-33, 3-6
- Bauer, H.; Nase, M. (1983).** *Sprache und Fachsprache im naturwissenschaftlichen Unterricht.* NiU-P/C 31 (1983) 4, 128-131
- Bauer, K.-O. (1998).** *Pädagogisches Handlungsrepertoire und professionelles Selbst von Lehrerinnen und Lehrern.* Z. f. Päd. 44 (1998) 3, 343-359
- Bauer, K.-O. (1999).** *Erfolg in Schule und Unterricht – Was macht Lehrer-Handeln erfolgreich?* PädForum (1999) 2, 9-11
- Bauer, K.-O. (2009).** *Modellierung pädagogischer Basiskompetenzen.* Bauer, K.-O.; Logemann, N. (Hrsg.). *Kompetenzmodelle und Unterrichtsentwicklung* (S. 113-127). Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Bauer, J. (2006).** *Warum ich fühle, was Du fühlst – Intuitive Kommunikation und das Geheimnis der Spiegelneurone.* München: Heyne
- Bauer, J. (2006b).** *Prinzip Menschlichkeit – Warum wir von Natur aus kooperieren.* München: Heyne
- Bauer, J. (2015).** *Selbststeuerung – Die Wiederentdeckung des freien Willens.* München: Blessing
- Bauer, J.; Prenzel, M.; Renkl, A. (2015).** *Evidenzbasierte Praxis – im Lehrerberuf?! Einführung in den Thementeil.* Unterrichtswissenschaft 43 (2015) 3, 188- 192
- Bauer, J., Asberger, J. (2022).** *Was Lehrkräfte im Unterricht getrost ignorieren können: Lernstile von Lernenden.* In: Steins, G., Spinath, B., Dutke, S., Roth, M., Limbourg, M. (eds) *Mythen, Fehlvorstellungen, Fehlkonzepte und Irrtümer in Schule und Unterricht* (157-179). *Psychologie in Bildung und Erziehung: Vom Wissen zum Handeln.* Wiesbaden: Springer.
- Bauer, T. (2018).** *Die Vereindeutigung der Welt – Über den Verlust an Mehrdeutigkeit und Vielfalt.* Ditzingen: Reclam
- Baumann, P.; Anton, M. A. (2014).** *Motivationstransfer durch Überleben in der Wildnis mit Chemie und Physik.* Chemie & Schule 29 (2014) 4, 5-7
- Baumann, M. (2008).** *Macht Hirnforschung Schule? Schön wär's! Gehirn & Geist* (2008) 3, S. 67

- Baumert, J. et al. (1998?).** *Erfassung fächerübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA*. MPI für Bildungsforschung: Berlin
- Baumert, J.; Klieme, E.; Neubrand, M. Prenzel, M.; Schiefele, U.; Schneider, W.; Stanat, P.; Tillmann, K.J.; Weiß, M. (Hrsg.) (2001).** *PISA 2000: Zusammenfassung zentraler Befunde*. Berlin: MPI Bildungsforschung
- Baumert, J. (2001).** *Deutschland im internationalen Bildungsvergleich*. Vortrag anlässlich des dritten Werkstattgesprächs der Initiative McKinsey bildet, im Museum für ostasiatische Kunst, Köln
- Baumert, J.; Maaz, K. (2008).** *Früh fördern statt spät reparieren*. MaxPlanckForschung (2008) 4, 14-18
- Bayer, L.; Lohmann, H.-M. (Hrsg.) (2016).** *Sigmund Freud – Das Unbewusste*. Stuttgart: Reclam
- Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst (Hrsg.) (2015).** *Erfolgreicher MINT-Abschluss an bayerischen Hochschulen – Bilanz der Hochschulprojekte*. München
- Bayrhuber, H. (2001).** *Zur Rolle der Schule bei der Kommunikation zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit*. Weitze, M.-D. (Hrsg.). Public Understanding of Science im deutschsprachigen Raum: Die Rolle der Museen (S. 62-82). München: DM
- Bayrhuber, H.; Harms, U.; Muszynski, B.; Ralle, B.; Rothgangel, M.; Schön, L.-H.; Vollmer, H. J.; Weigenad, H.-G. (Hrsg.) (2011).** *Empirische Fundierung in den Fachdidaktiken*. Münster: Waxmann
- Bayrhuber, H.; Elster, D.; Krüger, D.; Vollmer, H. J. (Hrsg) (2007).** *Kompetenzentwicklung und Assessment*. Innsbruck: Studienverlag
- Bayrhuber, H.; Ralle, B.; Reiss, K.; Schön, L.-H.; Vollmer, H. J. (Hrsg.) (2004).** *Konsequenzen aus PISA - Perspektiven der Fachdidaktiken*. Innsbruck: Studienverlag
- Bayrak, C.; Hoffmann, L.; Ralle, B. (2015).** *Sprachliches und fachliches Lernen im Experimentalunterricht*. MNU 68 (2015) 3, 177-182
- Becher, M. (2008).** *Planung, Durchführung und Evaluation eines Aktionstages zum Projekt „EMotion“*.
- Beck, E.; Guldemann, T.; Zutavern, M. (Hrsg.) (1996).** *Eigenständig lernen*. St. Gallen: UVK Fachverlag
- Beck, C. H. (2017).** *Biologiespezifisches Bildverständnis beim Umgang mit multiplen externen Repräsentationen - Entwicklung und Validierung eines Kompetenzmodells zur Integration von Diagrammen und Schemata*. Dissertation an der TU München
Fachdidaktik Life Sciences <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1368009/1368009.pdf>
- Neber**
- Beck-Mannagetta, A. (2013).** *CPM – Chemische Papier-Modelle/Chemical paper models*. Chemie&Schule 28 (2013) 3, 5-8
- Becker, H.-J. (1990).** *Verbraucherdialoge im Chemieunterricht*. Reihe „Didaktische Informationen“, Päd. Zentrum Berlin Ref. II D Naturwissenschaften
- Becker, H.-J. (2002).** *Konzeptionelle Vielfalt im Chemieunterricht – Antworten auf Lernschwierigkeiten der Schüler*.
- Becker, H.-J. (2003).** *Über grundsätzliche, durchaus hausgemachte Problemlagen der Chemiedidaktik*. 29 (2003) 1&2, 34-37
- Becker, H.-J.; Müller, A. (2009).** *Was lernen Grundschulkinder in außerschulischen Handlungssituationen?* MNU 62(2009)5, 304-308.
- Becker-Mrotzek. ; Schramm, K.; Thürmann, E.; Vollmer, H. J. (Hrsg.) (2013).** *Sprache im Fach, Sprachlichkeit und fachliches Lernen*. Münster
- Bee, U.; Jansen, D. (2018).** *Der melodische Leitfähigkeitsprüfer – low cost mit großer Leistung*. CHEMKON 25 (2018) 1, 35-38

- Beerenwinkel, A.; Parchmann, I.; Gräsel, C. (2007).** *Chemieschulbücher in der Unterrichtsplanung – Welche Bedeutung haben Schülervorstellungen?* CHEMKON 14 (2007) 1, 7-14
- Beerenwinkel, A.; Hefti, C.; Lindauer, T.; Schmellentin, C. (2016).** *Schreiben im Chemieunterricht.* ChemKon 23 (2016) 1, 19-24
- Behrendt, H.; Reiska, P. (2001).** *Abwechslung im Naturwissenschaftsunterricht mit Concept Mapping.* PLUSLUCIS (2001) 1, 9-12
- Bellmann, J.; Müller, Th. (Hrsg.) (2011).** *Wissen, was wirkt – Kritik evidenzbasierter Pädagogik.* Wiesbaden: VS-Verlag
- Belova, N.; Eikls, I. (2014).** *Werbung im naturwissenschaftlichen Unterricht – Informationsquelle, Kontextualisierung oder Beitrag zur Medienbildung?* MNU 67 (2014) 2, 77-83
- Belova, N.; Feierabend, T.; Eilks, I. (2014).** *Rollenspiele im naturwissenschaftlichen Unterricht.* MNU 67 (2014) 1, 42-48
- Benke, G.; Rippitsch, D. (Hrsg.) (2012).** *Projektberichte 2010/2011 – Disseminating Inquiry-Based Science & Mathematics Education in Europe.* IUS Uni Klagenfurt
- Benner, D. (2012).** *Allgemeine Pädagogik.* Weinheim: Juventa
- Benner, D. (2014).** *Gibt es eine pädagogisch ausgewiesene und didaktisch anschlussfähige empirische Bildungsforschung?* Fischer, C. (Hrsg.).(2014). *Damit Unterricht gelingt. Von der Qualitätsanalyse zur Qualitätsentwicklung* (S.85-114). Münster: Waxmann
- Benner, D. (2022).** *Umriss der allgemeinen Wissenschaftsdidaktik – Grundlagen und Orientierungen für Lehrerbildung, Unterricht und Forschung.* Weinheim: BeltzJuventa
- Bennett, J.; Lubben, F.; Hogarth, F. (2007).** *Bringing Science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching.* Science Education 91 (2007) 3, 347-370
- Berck, K.-H. (2012).** *Fragen an den kompetenzorientierten Unterricht.* MNU 65 (2012) 7, 432-435
- Berg, I. van den (2015).** *Der Einfluss von Stress auf Lernen und Gedächtnis.* MNU 68 (2015) 1, 52-56
- Berger, R.; Granzer, D. (2013).** *Schlau gefragt.* didacta (2013) 4, 6-11
- Berkel, B. van (2005).** *The structure of current school chemistry. A quest for conditions for escape* (Diss. Utrecht University)
- Berliner, D. C. (2001).** *Learning about and Learning from Expert Teachers.* International Journal of Educational Research 35 (2001) 463-482
- Bernard, E.; Zeibig, D. (2014).** *Auf die Wortwahl kommt es an.* Gehirn&Geist (2014) 7, 9
- Berndt, Ch. (2015).** *Resilienz – Das Geheimnis der psychischen Widerstandskraft.* München: dtv
- Bernholt, S. (2010).** *Kompetenzmodellierung in der Chemie. Theoretische und empirische Reflexion am Beispiel des Modells hierarchischer Komplexität.* Berlin: Logos.
- Bernholt, S.; Walpuski, M.; Sumfleth, E.; Parchmann, I. (2009).** *Kompetenzentwicklung im Chemieunterricht – Mit welchen Modellen lassen sich Kompetenzen und Aufgaben differenzieren?* NiU-Ch 20 (2009) 111/112, 78-85
- Besser, M.; Leiss, D.; Rakoczy, K.; Schütze, B. (2015).** *Die Wirkung von Interesse und Selbstwirksamkeit auf den Aufbau fachdidaktischen Wissens von Mathematiklehrkräften im Rahmen von Lehrerfortbildungen.* journal für lehrerInnenbildung 15 (2015) 4, 39-47
- Besser, M.; Krauss, S. (2016).** *Der Lehrer als Experte: Professionswissen verstehen und entwickeln.* journal für lehrerInnenbildung 16 (2016) 4, 42-47

- Biedermann, I.; Vessel, E. A. (2006).** *Perceptual Pleasure and the Brain*. American Scientist Magazine (2006) 5/6
- Billman-Mahecha, E.; Tiedemann, J.; Kölbl, C. (2009).** *Förderung des induktiven Denkens im Klassenzimmer – Evaluation des kognitiven Förderprogramms KOLIBRI*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 23 (2009) 3-4, 279-283
- Binder, F.; Steinkirchner, K. (2011).** „Narrative Elemente im Chemieunterricht“. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2011
- Binet, A.; Simon, T. (1905).** *Méthodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux*. L'année Psychologique 11 (1905) 191-244
- Binneberg, K. (1991).** Ist „Begabung“ ein unwahres Wort? - Sprachkritische Bemerkungen zu einem pädagogischen Problem. Päd. Rundschau 45 (1991) 627-635
- Birkenbihl, V. F. (2002).** *Hippocampus an Cortex! Gehirn&Geist* (2002) 4, 95-97
- Birkenbihl, V. F. (2004).** *Stroh im Kopf? Vom Gehirn-Besitzer zum Gehirn-Benutzer*. Speyer: mvg-Verlag
- Blaes, K.; Anus, S.; Kallweit, I.; Naeve, S.; Melle, I. (2012).** *Individuelle Förderung im Chemieunterricht*. MNU 65 (2012) 5, 293-300
- Blanchard, M. R.; Southerland, S. A.; Osborne, J. W.; Sampson, V. D.; Annetta, L. A.; Granger, E.M. (2010).** *Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction*. Science Education, 94 (2010) 4, 577-616
- Blankertz, H. (1991).** *Theorien und Modelle der Didaktik*. Weinheim: Juventa
- Blawat, K. (2017).** *Die Kunst zu vergessen*. SZ Nr. 276 v. 1.12.2017, S. 16
- Bleher, C. (2015).** *Hier wächst was Neues*. Bayerische Schule (2015) 5, 26-38
- Bloom, B. S. (1976).** *Human characteristics and school learning*. New York: McGraw-Hill
- Blum, W.; Drüke-Noe, C.; Hartung, R.; Köller, O. (Hrsg.) (2008).** *Bildungsstandards Mathematik: konkret. Sekundarstufe I: Aufgabenbeispiele, Unterrichtsanregungen und Fortbildungsideen*. Berlin: Cornelsen
- Blumschein, P. (Hrsg.) (2014).** *Lernaufgaben – Didaktische Forschungsperspektiven*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Boddy, N.; Watson, K.; Aubusson, P. (2003).** *A Trial of the Five Es: A Referent Model for Constructivist Teaching and Learning*. Research in Science Education 33 (2003) 27-42.
- Bodenmeier, S. (1999).** *Berufs- und Lebensplanung*. Lernchancen 2 (1999) 12, 37-44
- Boer, H. de (2015).** *Lernprozesse in Unterrichtsgesprächen*. Boer, H. de; Bonanati, M. (Hrsg.) (2015). *Gespräche über Lernen – Lernen im Gespräch* (S. 17-36. Wiesbaden: Springer
- Böhnke, A.; Thiel, F. (2016).** *Unterrichtsbezogene Fehlerorientierung von Lehrkräften – Adaption und Validierung eines Fragebogens*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 30 (2016) 1, 57-67
- Bönsch, M. (1995).** *Die Weiterentwicklung der Didaktik in der BRD von 1966-1989. Die Wissenschaft vom Unterricht in der Spannung zwischen globalen und regionalen Ansätzen*. Pädagogik und Schulalltag 50(1995)2, 261-276.
- Bönsch, M. (1996).** *Didaktisches Minimum – Prüfungsanforderungen für LehramtsstudentInnen*. Neuwied: Luchterhand
- Bönsch, M. (1996).** *Kritisch-aufklärerische Didaktik*. Päd. Welt (1996) 5, 216-221
- Bönsch, M. (2001).** *Subjektive Didaktik*. Lernwelten (2001) 1, 13-16
- Bönsch, M. (2009).** *Erfolgreicheres Lernen durch Differenzierung im Unterricht*. Braunschweig: Westermann

- Bohl, T. (2002).** *Zwischen reformpädagogischer Tradition und empirischer Unterrichtsforschung – Situation und Perspektiven des offenen Unterrichts an Sekundarschulen.* PädForum (2002) 4, 135-147
- Bohl, T. (2014).** *Fördern im Unterricht – Unterrichtskonzepte setzen den Rahmen – die Qualität steckt im Detail.* „Fördern“ Themenheft 2014: Friedrich-Verlag
- Bolte, C. (2002).** *Die curriculare Delphi-Studie Chemie: Allgemeinbildung und Chemieunterricht.* ChemKon 9 (2002) 2, 86-90
- Bolte, C.; Schulte, T. (2014).** *Wünschenswerte naturwissenschaftliche Bildung im Meinungsbild ausgewählter Experten.* MNU 67 (2014) 6, 370-376
- Bolz, N. (2009).** *Ich will einen Unterschied machen!* APuZ-Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament 41 (2009) 3-6.
- Bommersheim, S.; Heuper, W. (2020).** *Der Schatten der Natriumflamme – Wie Lernende sprachsensibel angeleitet werden, ausgehend von einem Phänomen ihre Vorstellung vom Atom zu erweitern.* CHEMKON 27 (2020) 7, 307-313
- Bonß, W. (2022).** *Von magischen Praktiken zu systemischen Risiken – Geschichte und Bedeutung des Risikobegriffs.* APuZ 72 (2022) 23-25, 4-11
- Bordt, M. (2015).** *Die Kunst, sich selbst auszuhalten – Ein Weg zur inneren Freiheit.* München: ZS Verlag
- Borko, H.; Shavelson, R. J.; Stern, P. (2016).** *Teachers' decisions in planning of reading instruction.* Reading Research Quarterly 16 (1981) 449-466
- Boroditsky, L. (2012).** *Wie die Sprache das Denken formt.* Spektrum der Wissenschaft (2012) 4, 30-33
- Bos, W.; Bonsen, M.; Baumert, J.; Prenzel, M.; Selter, C.; Walther, G. (Hrsg.) (2008).** *TIMSS 2007 Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich.* Handreichung zur Pressekonferenz, 9.12.2008. Münster: Waxmann.
- Bourdieu, P. (1983).** *Ökonomisches Kapital, kulturelles Kapital, soziales Kapital* (S. 183-198). Keckel, R. (Hrsg.). *Soziale Ungleichheit. Soziale Welt, Sonderband 2*
- Boyer, L. (2016).** *Einflussfaktoren für eigenständiges Experimentieren.* IPN-Blätter 33 (2016) 2, 6
- Bransford, J. D.; Sherwood, R. D.; Hasselbring, T. S.; Kinzer, C. K.; Williams, S. M. (1990).** *Anchored instruction: Why we need it and how technology can help.* Nix, D.; Spiro, R. (eds.). *Cognition, education, multimedia* (p. 115-141. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Braune, A. (2012).** *Motivation.* Kiel, E. (Hrsg.) (2012). *Unterricht sehen, analysieren und gestalten* (S. 37-64). Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Bretz, S. L. (2002).** *Implementing the Professional Development Standards. An Innovative Model for High School Chemistry Teachers.* JChemEd 79 (2002) 11, 1307-1309
- Brieger, S.; Nitschke, S. (2010).** *Erstellung und Evaluation eines Unterrichtsfilms über Halogene für die Mittelstufe.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2010.
- Brigard, F. de (2016).** *Was wäre, wenn?* Gehirn&Geist (2016) 4, 18-22
- Briggs, A. (2000).** *The Age Of Improvement, 1783-1867.* London: Longman
- Brinker, U. H.; Mieusset, J.-L. (2010).** *Molecular encapsulation – Organic reactions in constrained systems.* Chichester: Wiley
- Brinkmann, U.; Lindemann, H.; Schmidkunz, H. (1995).** *Die Leittext-Methode in der Lehramtsausbildung.* ChemKon 2 (1995) 3, 107-110
- Bröll, L.; Friedrich, J. (2012).** *Zur Qualifikation der Lehrkräfte für den NWA-Unterricht – eine Bestandsaufnahme in Baden-Württemberg.* MNU 65 (2012) 3, 180-186

- Bröll, L.; Friedrich, J.; Oetken, M. (2007).** *Naturwissenschaftliche Bildung im Primarbereich?! PdN-ChiS 56(2007)6, 36-41.*
- Bromme, R. (1992).** *Der Lehrer als Experte. Zur Psychologie des professionellen Wissens.* Bern: Huber
- Bromme, R. (1997).** *Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers.* Enzyklopädie der Psychologie D I Bd. 3: Weinert, F. E. (Hrsg.) Psychologie des Unterrichts und der Schule (S. 177-205). Göttingen: Hogrefe
- Brovelli, D.; Bölsterli, K.; Rehm, M.; Wilhelm, M. (2013).** *Erfassen professioneller Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht: Ein Vignettentest mit authentische komplexen Unterrichtssituationen und offenem Antwortformat.* Unterrichtswissenschaft 41 (2013) 4, 306-329
- Brown, A. L. (1997).** *Transforming Schools into Communities of Thinking and Learning About Science Matters.* American Psychologist 52 (1997) 4, 399-413
- Brown, B. A.; Ryoo, K.; Rodriguez, J. (2010).** *Pathway Towards Fluency: Using 'Disaggregate Instruction' to Promote Science Literacy.* Int. J. Sci. Educ. 32 (2010) 11, 1465-1493
- Brüchner, K. (2007).** *Metakognition und Lernen in Chemie: Studien zur Domänengeneralität versus Domänenspezifität und Förderung der Metakognition beim Lernen in Chemie.* Kiel: IPN
- Bruhns, K. (1969).** *Alexander von Humboldt. Eine wissenschaftliche Biographie.* Bd. I und II. Osnabrück: Zeller
- Bruner, J. S.; Kenney, H. J. (1965).** *Representation and mathematical learning.* Monographs of the Society for Research in Child Development 30 (1965) 99, 50-59
- Bruns, J. (2009).** *Auf dem Weg zur Förderung naturwissenschaftsspezifischer Vorstellungen von zukünftigen Chemie-Lehrenden – Chancen und Grenzen eines kombinierten theoretisch-expliziten und praktisch-reflektierten Ansatzes* Berlin: Logos
- Brunstein, J. C.; Mann, U. (2000).** *Motivierende Wirkungen beruflicher Identitätsideale – Zur Bedeutung von Zielbindung und Selbstwirksamkeitserwartungen.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 14 (2000) 2-3, 85-95
- Buck, P. (1993).** *Verstehen lehren statt Begriffe einprägen.* Chem. Sch. 40 (1993) 4, 134-139
- Bueb, B. (2009).** *Von der Pflicht zu führen – Neun Gebote der Bildung.* Berlin: Ullstein
- Büchel, F. P. (2000).** *Lernförderung bei Jugendlichen. Grundsätzliche Überlegungen und Prinzipien der Umsetzung.* Bildung und Erziehung 53 (2000) 3, 287-305
- Buff, A. (2001).** *Warum lernen Schülerinnen und Schüler? Eine explorative Studie zur Lernmotivation auf der Basis qualitativer Daten.* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogischer Psychologie 33 (2001) 3, 157-164
- Bunce, D. M.; Gabel, D. (2002).** *Differential Effects on the Achievement of Males and Females of Teaching the Particulate Nature of Chemistry.* Journal of Research in Science Teaching 39 (2002) 10, 911-927
- Burgmer, M. (2005).** *Verbindung von Naturwissenschaft und Technik.* PdN-ChiS 54 (2005) 4, 29-31
- Burmeister, M.; Jokmin, S.; Eilks, I. (2011).** *Bildung für nachhaltige Entwicklung und Green Chemistry im Chemieunterricht.* CHEMKON 18 (2011) 3, 123-128
- Burmeister, M.; Eilks, I. (2013).** *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung (BnE) in der Chemielehrerbildung – Ein Projekt Partizipativer Aktionsforschung.* ChemKon 20 (2013) 2, 66-72
- Burns, T.; O'Connor, D.; Stockmayer, S. (2003).** *Science communication: a contemporary definition.* Public Understanding of Science 12 (2003) 183-202
- Burow, O.-A. (1999).** *Die Individualisierungsfalle.* Stuttgart: Klett-Cotta

- Burow, O.-A. (2014).** *Dran bleiben.* www.didactica-magazin (2014) 2, 6-11
- Burow, O.-A. (2016a).** *Creative Collaboration – Schlüsselkompetenz für LehrerInnen und SchülerInnen im Digitalen Zeitalter.* *journal für lehrerInnenbildung* 16 (2016) 1, 7-17
- Burow, O.-A. (2016b).** *Unterricht als kreatives Feld.* *journal für lehrerInnenbildung* 16 (2016) 1, 49-54
- Burow, O.-A.; Rahm, S. (2016).** *Editorial.* *journal f. lehrerInnenbildung* 16 (2016) 1, 4-6
- Butler, M.; Goschler, J. (2019).** *Sprachsensibler Fachunterricht. Chancen und Herausforderungen aus interdisziplinärer Perspektive.* Wiesbaden: Springer
- Buzan, T. (1984).** *Kopftraining, Anleitung zum kreativen Denken, Tests und Übungen.* München: Goldmann
- Bybee, R. W. (2009).** *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills.* National Academies Board on Science Education: Washington D.C.
- Cacioppo, J. T.; Petty, R. E. (1982).** *The need for cognition.* *Journal of Personality and Social Psychology* 42 (1982) 116-131
- Calascibetta, F.; Campanella, L.; Favero, G.; Nicoletti, L. (2000).** *An Aquarium as a Means for the Interdisciplinary Teaching of Chemistry.* *Journal of Chemical Education* 77 (2000) 10, 1311-1313
- Campenhausen, J. v. (2014).** *Wissenschaft vermitteln – Eine Anleitung für Wissenschaftler.* Wiesbaden: Springer
- Carle, U. (1997).** *Die Arbeit von Lehrerinnen und Lehrern als Entwicklungsprozeß – Über die Untrennbarkeit von persönlicher und institutioneller Entwicklung.* Buchen, S. et al. (Hrsg.) (1997). *Jahrbuch für Lehrerforschung*, Bd. I, S. 15-30. Weinheim: Juventa
- Carter, R.; Page, M.; Parker, S. (2009).** *Das Gehirn – Anatomie, Sinneswahrnehmung, Gedächtnis, Bewusstsein, Störungen.* London: D. Kindersley
- Case, R. (1999).** *Die geistige Entwicklung des Menschen – Von der Geburt bis zum Erwachsenenalter.* Heidelberg: Universitätsverlag Winter
- ChemKon 17(2010)4, 175-182.**
- Caspari, I.; Weber-Peukert, G.; Graulich, N. (2018).** *Der Einsatz von Modellen zum Erkenntnisgewinn – Eine Unterrichtseinheit zur Förderung der Modellkompetenz im Kontext „Batterie“ unter explizitem Einbezug von Schülervorstellungen.* *CHEMKon* 25 (2018) 1, 23-34
- Centrum für Hochschulentwicklung (CHE) (Hrsg.) (2016).** *Katalog von Facetten von und Indikatoren für Forschung und Third Mission an Hochschulen für angewandte Wissenschaften* (Arbeitspapier 189);
https://www.che.de/download/che_ap_189_katalog_forschung_third_mission-pdf/?wpdmdl=10090&refresh=63fc7477e13671677489271 (27.2.23)
- Cheung, D. (2006).** *Inquiry-based Laboratory Work in Chemistry – Teacher's Guide.* Hong Kong: Quality Education Found
- Chin, C.; Osborne, J. (2008).** *Students' questions: a potential resource for teaching and learning science.* *Studies in Science Education* 44(2008)1, 1-39.
- ChiS 46(1999)2, 109-112.**
- Chomsky, N. (1965).** *Aspects of the theory of syntax.* Massachusetts: MIT Press
- Christen, H. R. (1997).** *Chemie – faszinierend oder ein Horrorfach?* *ChemKon* 4(1997)4, 175-180.
- Christen, H.-R. (1990).** *Chemieunterricht - Eine praxisorientierte Didaktik.* Basel: Birkhäuser
- Christiani, A.; Hoffmann, J. (2009).** *Coaching statt Nachhilfe.* *Gehirn & Geist* (2009)9, 66-69.

- Christiansen, D. (2007).** *Entwicklung und Erprobung von Aufgaben zur Erfassung zentraler Kompetenzen im Chemieunterricht am Beispiel Säuren und Basen.* Dissertation, Universität Kiel, IPN, I. Parchmann. http://macau.uni-kiel.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00002334/Dissertation_Christiansen.pdf
- Christoforatu, E. (2011).** *“Third Space”.* Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung (2012) 3, 51-54
- Ciampi, L. (1993).** *Die Hypothese der Affektlogik.* Spektrum der Wissenschaft (1993) 2, 76-87
- Ciampi, L. (2003).** *Affektlogik, affektive Kommunikation und Pädagogik – Eine wissenschaftliche Neuorientierung.* REPORT – Zeitschrift für Weiterbildungsforschung (2003) 3, 62-70
- Cobb, P. (2001).** *Supporting the Improvement of Learning and Teaching in Social and Institutional Context.* Carver, S. M.; Klahr, D. (Eds)(2001). *Cognition and Instruction – Twenty-Five Years of Progress*, p. 455-478. NY: Erlbaum
- Cobb, P.; Confrey, J.; diSessa, A.; Lehrer, R.; Schauble, L. (2000).** *Design Experiments in Educational Research.* Educational Researcher 32 (2000) 9-13
- Coffield, F.; Moseley, D.; Hall, E.; Ecclestone, K. (2004).** *Should we be using learning styles? What research has to say to practice.* London: Learning and Skills Research Centre
- Collette, R. (2022).** *Eintauchen.* SZ Nr. 88 v. 16., 17., 18.4.22, S. 33
- Collins, A., Brown, J.S., & Newman, S.E. (1989).** Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.) *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Collins, H. (2010).** *Tacit and Explicit Knowledge.* Chicago
- Copei, F. (1962).** *Der fruchtbare Moment im Bildungsprozess.* Heidelberg: Quelle & Meyer
- Craig, G. S. (1949).** *Die Naturwissenschaft bei der Erziehung des Kindes.* Stuttgart: Mundus.
- Cronbach, L. J.; Snow, R. E. (1977).** *Aptitudes and instructional methods: A handbook for research on interactions.* New York: Irvington
- Csibra, G.; Gergely, G. (2009).** Natural Paedagogy. In: Trends in Cognitive Sciences 13(2009)4, 148-153; zit. nach: Gehirn & Geist (2009)9, 22.
- Csikszentmihalyi, M. (1975).** *Das Flowerlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile im Tun aufgehen.* Stuttgart: Klett
- Csikszentmihalyi, M. (2012).** *Flow - der Weg zum Glück. Der Entdecker des Flow-Prinzips erklärt seine Lebensphilosophie.* Freiburg: Herder
- Csikszentmihalyi, M. (1993, 2014).** *Flow – Das Geheimnis des Glücks.* Stuttgart: Klett-Cotta
- Cummins, J. (1979).** *Cognitive/Academic Language Proficiency, Linguistic Interdependence, the Optimum Age Question and some other Matters.* Working Papers on Bilingualism 19 (1979) 121-129
- Czaja, S. (2010).** *Mut zur Lücke.* Gehirn & Geist (2010) 1/2, 14-18
- Dabrowski, A.; Anton, M. A. (2022).** *Emotionen im Chemieunterricht – Lernfreude als Lernziel.* Chemie&Schule 37 (2022) 1, 5-8
- Dannemann, F. (1907).** *Der naturwissenschaftliche Unterricht auf praktisch-heuristischer Grundlage.* Hannover: Hahnsche Buchhandlung.

- Dannemann, F. (1908).** *Naturlehre für Realschulen und die mittleren Klassen der Vollanstalten*. Hannover: Hahnsche Buchhandlung.
- Dannemann, F. (1893).** *Über die Bedeutung, Einrichtung und Leitung chemischer Übungen im Laboratorium*. Lehrproben und Lehrgänge 35(1893)5, 88ff.
- Daston, L. (2023).** *Regeln – Eine kurze Geschichte*. Berlin: suhrkamp
- Day, J. D.; Cordon, L. A.; Kerwin, M. L. (1989).** *Informal instruction and development of cognitive skills: A review and a critic of research*. McCormick, C. B.; Miller, G.; Pressley, M. (eds.). *Cognitive strategy research: From basic research to educational applications* (p. 83-103). New York: Springer
- Deaton, A. (2017).** *Der Große Ausbruch – Von Armut und Wohlstand der Nationen*. Stuttgart: Klett-Cotta
- Deci, E. L.; Ryan R. M. (2008).** *Self-Determination Theory: A Macrotheory of Human Motivation, Development, and Health*. *Canadian Psychology* 49, (2008) 182–185.
- Defila, R.; Di Giulio, A. (1998).** *Interdisziplinarität und Disziplinarität*. Olbertz, J.-H. (Hrsg.) (1998). *Zwischen den Fächern – über den Dingen? Universalität versus Spezialisierung akademischer Bildung* (S. 111-137). Opladen: Leske und Budrich
- DeLoache, J. S. (2006).** *Wie Kinder in Symbolen denken lernen*. *Spektrum der Wissenschaft* (2006) 4, 54-59
- Demuth, R.; Parchmann, I.; Ralle, B. (Hrsg.) (2006).** *Chemie im Kontext*. Berlin: Cornelsen
- Demuth, R.; Gräsel, C.; Parchmann, I.; Ralle, B. (Hrsg.) (2008).** *Chemie im Kontext – Von der Innovation zur nachhaltigen Verbesserung eines Unterrichtskonzepts*. Münster: Waxmann
- Demuth, R.; Scheffel, L. (2009).** *Kompetenzorientierung im fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht der Oberstufe*. *PdN-ChiS* 58(2009)6, 39-43.
- Dennert, E. (1898).** *Ziel und Methode des chemischen Praktikums*. Lehrproben und Lehrgänge 55(1898)4, 94ff.
- Derflinger, C. (2010).** *Wie beeinflusst die spielerische Auseinandersetzung mit chemischen Phänomenen die Interessenentwicklung bei Schülern unterschiedlicher Jahrgangsstufen in der Grund- und Hauptschule?* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2010.
- Dettweiler, U.; Ünlü, A.; Lauterbach, G.; Becker, C.; Gschrey, B. (2015).** *Investigating the motivational behaviour of pupils during outdoor science teaching within self-determination theory*. *Frontiers in Psychology* 6 (2015) 1-16
- Dibbern, H. (1983).** *Berufsorientierung im Unterricht*. *Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung* 16 (1983) 4, 437-449
- Dicke, U.; Roth, G. (2008).** *Evolution der Intelligenzen*. *Gehirn & Geist* (2008) 3, S. 58-65
- Dickhäuser, A.; Stachelscheid, K.; Neumann, J. (2013).** *Chemiespezifischer Humor*. *MNU* 66 (2013) 8, 480-484
- Dickhäuser, O. (2006).** *Fähigkeitsselbstkonzepte – Entstehung, Auswirkung, Förderung*. *Zeitschrift für Päd. Psychologie* 20(2006)1+2, 5-8.
Die Deutsche Schule 95(2003)1, 77-85.
- Dickhäuser, O.; Butler, R.; Tönjes, B. (2007).** *Das zeigt doch nur, dass ichs nicht kann. Zielorientierung und Einstellung gegenüber Hilfe bei Lehramtsanwärtern*. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Päd. Psychologie* 39 (2007) 3, 120-126.
- Dietel, B. (1989).** *Besondere Schüler aus der Sicht des Teilleistungsmodells - Diagnose- und Förderklassen*. ISB (Hrsg.). *Förderung besonderer Schülergruppen in Bayern* (S. 69-110). München: Ehrenwirth

- Dierks, P. O.; Höffler, T.; Parchmann, I. (2014).** *Interesse von Jugendlichen an Naturwissenschaften – Ist es wirklich so schlecht wie sein Ruf?* ChemKon 21 (2014) 3, 111-116
- Dierks, P. O.; Höffler, T.; Parchmann, I. (2014).** *Profiling interest of students in science: Learning in school and beyond.* Research in Science & Technological Education 2014
- Dijk, E. M. van; Kattmann, U. (2007).** *A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education.* Teaching and Teacher Education 23 (2007) 885-897
- Dillon, J.T. (1988).** *Questioning and Teaching – A manual of practice.* New York: Teachers College Press.
- Dingemanse, M.; Enfield, N. (2015).** *Ungeschriebene Gesetze.* Gehirn & Geist (2015) 8, 34-39
- Disalvo, D. (2014).** *Auf Touren kommen.* Gehirn&Geist (2014) 7, 26-31
- Ditfurth, H. v. (1989).** *Innenansichten eines Artgenossen – Meine Bilanz.* Düsseldorf: Claasen-V.
- Dittmar, J.; Eilks, I. (2019).** *Eine Studie zum Umgang von Schülerinnen und Schülern mit Internetforen und mögliche Konsequenzen für den Chemieunterricht.* CHEMKON 26 (2019) 3, 103-107
- Dittmer-Glaubig, B. (2014).** *So bringen Sie das Gehirn Ihrer Schüler zum Lernen – Grundbedingungen für den Unterrichtserfolg.* Münchner Lehrerzeitung (2014) 4, 13
- Dittmer-Glaubig, B. (2015).** *Jungs sind anders.* bayerische schule (2015) 6, 17
- Dobelli, R. (2011).** *Die Kunst des klaren Denkens.* München: Hanser
- Dobelli, R. (2012).** *Die Kunst des klaren Handelns.* München: Hanser
- Döbert, H. (2000).** *Erfolgreiche Lehrer: Mythos oder Realität?* Päd Forum (2000) 2, 52-58
- Dörfler, T.; Barke, H.-D. (2009).** *Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren: Beispiel Neutralisation.* CHEMKON 16(2009)3, 141-146.
- Dörner, D. (1976).** *Problemlösen als Informationsverarbeitung.* Stuttgart: Kohlhammer.
- Dorfner, T. (2015).** *Konzeptorientierter Unterricht – eine qualitative Videoanalyse.* Schriftliche Hausarbeit aus der Biologiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2015.
- Drechsel, B. (2001).** *Subjektive Lernbegriffe und Interesse am Thema Lernen bei angehenden Lehrpersonen.* Münster: Waxmann.
- Drechsler, J. (1967).** *Bildungstheorie und Prinzipienlehre der Didaktik.* Heidelberg: Quelle & Meyer
- Drechsler-Köhler, B.; Salzner, J. (2007).** *Gesundheitserziehung – Ein Thema in Schule und Chemieunterricht.* NiU-Ch 18 (2007) 102, 4-9
- Dreesmann, H. (1982).** *Unterrichtsklima – Wie Schüler den Unterricht wahrnehmen.* Weinheim: Beltz
- Dreyfuß, H.; Dreyfuß, S. (1986).** *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer* (p. 50). New York: The Free Press
- Driel, J. H. van; Bulte, A. M. W.; Verloop, N. (2005).** *The conceptions of chemistry teachers about teaching and learning in the context of curriculum innovation.* Int. J. Sci. Educ. 27 (2005) 303-322
- Drosdowski, G. (1989).** *Duden, Bd. 7. Etymologie* (S. 18). Mannheim: Dudenverlag
- Dubs, R. (1995).** *Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung.*
- Dubs, R. (2002).** *Science Literacy: Eine Herausforderung für die Pädagogik.* Gräber, W.; Nentwig, P.; Koballa, T.; Evans, R. (Hrsg.). Scientific Literacy. Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung (S. 69-82). Opladen: Leske&Budrich.

- Düker, H.; Tausch, R. (1957).** *Über die Wirkung der Veranschaulichung von Unterrichtsstoffen auf das Behalten.* Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie, 4, (1957) 384-400.
- Duit, R. (1995a).** *Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr-Lernforschung.* Zeitschrift für Pädagogik 41(1995)6, 905-925.
- Duit, R. (1995b).** *Vorstellungen und Lernen von Physik und Chemie – Zu den Ursachen vieler Lernschwierigkeiten.* PLUS LUCIS (1995) 2, 11-18
- Duit, R. (2010).** *Fachdidaktische Forschung und Verbesserung des Physikunterrichts.* MNU 63 (2010) 6, 324-331.
- Duit, R.; Glynn, S. (1996).** *Mental Modelling.* Welford, G; Osborne, J.; Scott, P. Research in science education in Europe: current issues and themes (S. 145-153) London: Falmer Press
- Duncan, R. G.; Hmelo-Silver, C. E. (2009).** *Learning Progressions. Aligning curriculum, instruction, and assessment.* J. of Research in Science Teaching 46 (2009) 6, 606-609
- Duvinage, B. (2014).** *Chemie- Hobby und Alltag (Themenheft).* PdN-ChiS 63 (2014) 5
- Ebert, V. (2008).** *Denken Sie selbst!* Hamburg: Rowohlt
- Ebert, V. (2011).** *Machen Sie sich frei! Sonst tut es keiner für Sie.* Hamburg: Rowohlt
- Ebmeier, J. (2002).** *Bildung fängt in der Familie an. Eine Stellungnahme zu PISA.* PädForum (2002)8, 258-261.
- Eddy, R. M. (2000).** *Chemophobia in the College Classroom: Extent, Sources, and Student Characteristics.* Journal of Chemical Education 77(2000)4, 514-517.
- Eder, F.; Bergmann, C. (2004).** *Der Einfluss von Interessen auf die lehrer-Wahrnehmung von Schülerinnen und Schülern.* Empirische Pädagogik 18 (2004) 4, 410-431
- Efler, D. M. (2005).** *Texteinsatz im Chemieunterricht.* PdN-ChiS 54 (2005) 2, 18-26
- Egbers, M.; Marohn, A. (2013).** *Konzeptwechseltexte – eine Textart zur Veränderung von Schülervorstellungen.* ChemKon 20 (2013) 3, 119-126
- Egbers, M.; Marohn, A. (2014).** *Schülervorstellungen verändern.* Ralle, B.; Prediger, S.; Hammann, M.; Rothgangel, M. (Hrsg.). Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen (S. 120-127). Münster: Waxmann
- Egle, J. (2007).** *Fünf Konsequenzen der Gehirnforschung für das Lehren und Lernen.* Bildung+science (2007) 2, 8-9
- Eilks, I.; Ralle, B. (2002).** *Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung – Ein Modell für eine begründete und praxisnahe Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik.* Chemkon 9 (2002) 1, 13-18
- Eilks, I.; Ralle, B. (2003).** *Forschungs- und Handlungsperspektiven für die Chemiedidaktik am Beginn des 21. Jahrhunderts – Ein Beitrag zur Diskussion über das Selbstverständnis der Chemiedidaktik als wissenschaftliche Disziplin.* Chemkon 10 (2003) 4, 171-175
- Eilks, I.; Markic, S. (2007).** *Die Veränderung von Lehrerinnen und Lehrern in langzeitlichen Modellen partnerschaftlicher Unterrichtsentwicklung und –forschung durch Partizipative Aktionsforschung in der Chemiedidaktik.* Chimica etc. Didactica 33 (99) (2007), 30-48
- Eilks, I.; Marks, R., Feierabend, T. (2008).** *Science Education Research to Prepare Future Citizens – Chemistry Learning in a Socio-critical and Problem-oriented Approach.* Ralle, B. & Eilks I. (Eds.) (2008). Promoting successful science education (p. 75-86. Aachen: Shaker

- Eilks, I.; Bäumer, M.; Byers, B. (2010).** *Methodische Innovationen für die Chemielehre – ein vernachlässigtes Feld an unseren Hochschulen?* ChemKon 17(2010)3, 124-130. *Chemiedidaktik*. Chim. Etc. did. 33 (2007) 99, 30-48
- Eilks, I.; Byers, B. (2010).** *The need for innovative methods of teaching and learning chemistry in higher education – reflections from a project of the European Chemistry Thematic Network*. Chem. Educ. Res. Pract. 11 (2010) 233-240
- Eilks, I.; Rauch, F.; Ralle, B.; Hofstein, A. (2012).** *How to allocate the chemistry curriculum between science and society*. Eilks, I.; Hofstein, A. (Eds.). Teaching Chemistry – A study-book (S. 1-36). Rotterdam. Sense Publishers
- Eilks, I.; Ralle, B. (2014).** 22. Sommersymposium zur Naturwissenschaftsdidaktik. MNU 67 (2014) 6, 380-381
- Einsiedler, W. (1996).** *Wissensstrukturierung im Unterricht – Neuere Forschung zur Wissensrepräsentation und ihre Anwendung in der Didaktik*. Z. f. Päd. 42 (1996) 2, 167-192
- Einsiedler, W. (2010).** *Didaktische Entwicklungsforschung als Transferförderung*. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 13 (2010) 59-81
- Einsiedler, W.; Hardy, I. (2010).** *Kognitive Strukturierung im Unterricht: Einführung und Begriffsklärungen*. Unterrichtswissenschaft 38 (2010) 3
- Eisner, B.; Kattmann, U.; Kremer, M.; Langlet, J.; Plappert, D.; Ralle, B. (2019).** *Gemeinsamer Referenzrahmen für Naturwissenschaften (GeRRN) – Mindeststandards für die auf Naturwissenschaften bezogene Bildung – Ein Vorschlag* (https://www.mnu.de/images/publikationen/GeRRN/MNU_GeRRN_3.pdf)
- El-Mafaalani, A. (2020).** *Mythos Bildung – Die ungerechte Gesellschaft, ihr Bildungssystem und seine Zukunft*. Köln: Kiepenheuer & Witsch
- Elschenbroich, D. (2001).** *Weltwissen der Siebenjährigen – Wie Kinder die Welt entdecken können*. München: Kunstmann.
- Elschenbroich, D. (2005).** *Weltwunder. Kinder als Naturforscher*. München: Kunstmann
- Elster, D. (2007).** *Interessante und weniger interessante Kontexte für das Lernen von Naturwissenschaften*. MNU 60 (2007) 4, 243-249
- Emden, M.; Hübinger, R.; Sumfleth, E. (2010).** *Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. Unterrichtsmaterialien zur Unterstützung der Kompetenzförderung*. MNU 63 (2010) 5, 279-286.
- Emer, W.; Lenzen, K.-D. (2002).** *Projektunterricht gestalten – Schule verändern – Projektunterricht als Beitrag zur Schulentwicklung*. Hohengehren: Schneider
- Emig, N.; Mandl, S.; Anton, M. A. (2007).** *Rollentausch im offenen Chemieunterricht*. Chem.Sch.22 (2007) 4, 20-22
- Endres, W. (2020).** *Resonanzpädagogik in Schule und Unterricht – Von der Entdeckung neuer Denkmuster*. Weinheim: Beltz
- Engerer, M.; Lederer, M. (1990).** *CHAMBA – Chemieaufgaben mit Bezug zur modernen Technik und Arbeitswelt*. Stuttgart: Klett
- Erb, H.-P.; Gebert, S. (2013).** *Die Lady Gaga in uns*. G&G 2013) 7/8, 38-43
- Ericsson, K. A.; Krampe, R. Th.; Tesch-Romer, C. (1993).** *The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance*. Psychological Review 100 (1993) 3, 363-406
- Erikson, E. (2003).** *Identität und Lebenszyklus*. Frankfurt: Suhrkamp
- Esslinger-Hinz, I.; Wigbers, M. (2013).** *Der ausführliche Unterrichtsentwurf*. Weinheim: Beltz
- Etzel, J. M. (2019).** *Der Apfel fällt nicht weit vom Stamm*. IPN-Journal 6 (2019) 2, 25-28

European Commission, Expert Group of: Directorate-General for Research, Science, Economy and Society (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Belgium/Luxembourg

Ewert, O. M.; Henneberger, A. (1995). *Der unaufmerksame Schüler*. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 27 (1995) 4, 313-322

Fachgruppe Chemieunterricht (FGChU) der GDCh (2005). *Stärkung der naturwissenschaftlichen Bildung*. Frankfurt

Farida, I; Liliyasi, L.; Sopandi, W.; Widyanoro, D. H. (2017). *A web-based model to enhance competency in the interconnection of multiple levels of representation for pre-service teachers*. Abdullah et al. (Eds). *Ideas for 21st Century Education* (p. 359-362)

Fattinger, R. (1930). *Pastoralchemie*. Freiburg: Herder-Verlag

Feiks, D.; Krauß, E. (2001). *Professionell handeln, erziehen, unterrichten. Konzepte und Beispiele*. Stuttgart.

Fehrenbach, F. (2021). *Giotto und die Physiker*. München: C. F. v. Siemens-Stiftung, Bd. 109

Feilke, H. (2012). *Bildungssprachliche Kompetenzen – fördern und entwickeln*. Praxis deutsch (2012) 233, 4-13

Fell, M.; Weißmann, W. (2015). *Zum Stellenwert des Theorieunterrichts in der Fahrausbildung*. Zeitschrift für Verkehrssicherheit (2015) 3, 146-154

Felt, U. et al. (2013). *Transdisziplinarität als Wissenskultur und Praxis: Eine Analyse transdisziplinärer Projektarbeit im Programm ProVISION aus der Sicht der Wissenschaftsforschung*. Wien

Felten, M.; Stern, E. (2016). *Lernwirksam unterrichten – Im Schulalltag von der Lernforschung profitieren*. Berlin: Cornelsen Scriptor Praxis

Fend, H. (2002). *Mikro- und Makrofaktoren eines Angebot-Nutzungsmodells von Schulleistungen*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 16 (2002) 3/4, 141-149.

Fendt, T. (2019). *Schülervorstellungen im Zentrum des Unterrichtsgesprächs – Konstruktive Lernprozesse im Chemieunterricht*. University of Bamberg Press

Fenker, D.; Schütze, H. (2008). *Mit Überraschungen lernt sich's besser*. Gehirn&Geist (2008) 5, 34-37

Fensham, P. J. (2004). *Defining an Identity – The Evolution of Science Education as a Field of Research*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

Fenstermacher, G.; Richardson, V. (2005). *On making Determinations of Quality in Teaching*. Teachers College Record 107 (2005) 186-213

Feuerstein, R. (1979). *The dynamic assessment of retarded performers – The learning potential assessment device, theory, instruments and techniques*. Baltimore: University Park Press

Feuerstein, R. (1980). *Instrumental Enrichment – An intervention program for cognitive modifiability*. Baltimore: University Park Press

Fiebach, C. (2009). *Puzzle der Persönlichkeit*. Gehirn & Geist (2009)9, 30-35.

Fieberg, C. (200). *Vom Diagnosebogen zum individuellen Lernplan*. PdN-ChiS 58 (2009) 8, 18-24

Fiebig, S.; Melle, I. (2001). *„Problemthemen“ des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe I – gegenwärtige Situation und fachdidaktische Konsequenzen*. ChemKon 8 (2001) 4, 199-202

Fields, R. D. (2008). *Die unterschätzte Weisse Hirnmasse*. Spektrum der Wissenschaft (2008) 10, 40-48

Fieser, L. (2005). *ASIP – Elternbeteiligung in der Grundschule*. MNU 58(2005)8, 477-481.

- Fischer, A. (1914).** *Deskriptive Pädagogik*. Oppolzer, S. (Hrsg.) (1966). Denkformen und Forschungsmethoden der Erziehungswissenschaft. Bd. 1 (S. 83-99). München
- Fischer, A.; Greif, S.; Funke, J. (2012).** *The Process of Solving Complex Problems*. Journal of Problem Solving (2012) 4, 19-42
- Fischer, C.; Rieck, K.; Prenzel, M. (Hrsg.) (2010).** *Naturwissenschaften in der Grundschule – Neue Zugänge entdecken*. Seelze: Kallmeyer
- Fischer, C. (2015).** *Individuelle Förderung als schulische Herausforderung*. Berlin: Friedrich-Ebert-Stiftung
- Fischer, Ch. (2010).** Inquiry Boards – Eine Planungshilfe zur Förderung der Experimentierkompetenz.
- Fischer R. (2009a).** *LehrerInnen – professionell und akademisch*. Manuskript (beim Verf. erhältlich)
- Fischer, R. (2009b).** *Schulpolitik und LehrerInnenprofessionalität*. Manuskript (beim Verf. erhältlich)
- Fischer, H.; Klemm, K.; Leutner, D.; Sumfleth, E.; Tiemann, R.; Wirth, J. (2003)** *Naturwissenschaftliche Lehr-Lernforschung: Defizite und Desiderata*. ZfDN 9 (2003) 179-209
- Fischer, H. E.; Schmiemann, P.; Sumfleth, E. (2015).** *Naturwissenschaftlicher Unterricht*. Rolff, H.-G. Handbuch Unterrichtsentwicklung (S. 395-412). Weinheim: Beltz
- Fischler, H. (2000).** *Über den Einfluss von Unterrichtserfahrungen auf die Vorstellungen vom Lehren und Lernen bei Lehrerstudenten der Physik – Teil 1: Stand der Forschung sowie Ziele und Methoden einer Untersuchung*. ZfDN 6 (2000) 27-36; *Teil 2: Ergebnisse der Untersuchung*. ZfDN 6 (2000) 79-95
- Fischler, H.; Reiners, Ch. S. (Hrsg.) (2006).** *Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht*. Berlin: Logos
- Flammer, A. (1981).** Towards a Theory of Question Asking. Psychological Research 43(1981) 407-420.
- Flammer, A.; Kaiser, H.; Mueller-Bouquet, P. (1981).** Predicting What Questions People Ask. Psychological Research 43(1981) 421-429.
- Flanders, N. A. (1960).** *Interaction analysis in the classroom: A manual for observers*. Minnesota: College of Education
- Fleming, S. M. (2015).** *Der mentale Kontrolleur*. Gehirn&Geist (2015) 5, 55-61
- Flick, U. (2008).** *Triangulation – Eine Einführung*. Wiesbaden: VS Verlag
- Forster, B. (2008).** *Einflüsse eines außerschulischen, technisch-chemischen Schülerpraktikums auf Motivation, Interesse und Lernerfolg bei Schülerinnen der Jgst. 8*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2008.
- Forster, J. K. (2014)** *Gedächtnis und Gehirn*. Stuttgart: Reclam
- Fournés, A. (1995).** *Pädagogische Praxis im Sinne „Komplementärer Didaktik“*. Pädagogische Welt (1995) 3, 107-110
- Frankl, L. (1935).** *Lohn und Strafe. Ihre Anwendung in der Familienerziehung*. Quellen und Studien zur Jugendkunde (1935) 12, 15ff
- Frankl, V. E. (2015).** *Das Leiden am sinnlosen Leben – Psychologie für heute*. Breisgau: Kreuz (Erstauflage bei Herder: 1977)
- Freienberg, J.; Weiß, S. (2009).** Biodiesel – eine echte Alternative? Angeleitetes Recherchieren und Bewerten mit der Methode des WebQuest.
- Frederking, V.; Schwedt, G.; Kometz, A. (2013).** *Chemie, Sprache & Literatur – Fächerverbindende Perspektiven von Chemie und Deutschunterricht*. NiU-Ch 24 (2013)6, 2-7

- Frey, K. (1973).** *Kognitionspsychologie und Unterricht: Zum heutigen Stand der Kenntnisse und ihrer Implementation.* Frey, K.; Lang, M. (Hrsg.). Kognitionspsychologie und naturwissenschaftlicher Unterricht – Cognitive Processes and Science Instruction (S. 20-53). Bern: Huber
- Frey, D. (2015).** *Zur Exzellenz geführt – Wie motiviert ein Unternehmer seine Mitarbeiter?* SZ v. 2.1.2015, S. 16
- Frey, J. A. (2015).** *Mystery-Aktivitäten im Chemieunterricht.* MNU 68 (2015) 5, 293-300
- Freyer, K.; Asikainen, M. A.; Hirvonen, P. E.; Sumfleth, E. (2015).** *Studienanfängerinnen und Studienanfänger im Fach Chemie – Deutschland und Finnland im Vergleich.* ChemKon 22 (2015) 2, 75-81
- Frick, R. (1999).** *Dem Rhythmus des Gehirns entsprechend lehren und lernen.* Lernende Schule (1999) 7, 10-11
- Friebertshäuser, B.; Prengel, A. (Hrsg.) (1997).** *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft.* Weinheim: Juventa
- Friedl, S. et al. (2010)** *FAQ – Zur Begabungs- und Begabtenförderung.* Salzburg: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF)
- Friedrich, H. F.; Mandl, H. (Hrsg.) (1992).** *Lern- und Denkstrategien.* Göttingen: Hogrefe
- Friedrich, G.; Preiss, G. (2002).** *Lehren mit Köpfchen.* Gehirn & Geist (2002)4, 64-70.
- Friedrich, J.; Bröll, L.; Petermann, K.; Oetken, M. (2016).** *„Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren“.* PdN-ChiS 65 (2016) 5, 25-33
- Friend, M.; Cook, L.; Hurley-Chamberlain, D.; Shamberger, C. (2010).** *Co-Teaching: An Illustration of the Complexity of Collaboration in Special Education.* Journal of Educational and Psychological Consultation 20 (2010) 9-27
- Fritschi, T.; Jann, B. (2009).** *Zum Einfluss vorschulischer Kinderbetreuung auf den Bildungsweg und den erwarteten Erfolg am Arbeitsmarkt.* Empirische Pädagogik 23 (2009) 4, 500-520
- Frühwald, W. (2000).** *Erschüttertes Vertrauen? Zum Verhältnis von Wissenschaft und Öffentlichkeit in Deutschland.* Das Informationsprogramm des NDR (4). Hamburg, 28.5.2000
- Fthenakis, W. F. (2009).** *Bildung neu definieren und hohe Bildungsqualität von Anfang an sichern. Ein Plädoyer für die Stärkung von prozessualer Qualität;* Teil 2. Betrifft Kinder (2009) 3, 6-10
- Fthenakis, W. F. (2013).** *Auf Spurensuche.* didacta (2013) 1, 42-48
- Fthenakis, W. F. (2016).** *Kindgerecht?* www.didactica-magazin.de (2016) 1, 38-41
- Gabel, D. (1999).** *Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future.* JChemEd 76 (1999) 548.
- Gabriel, M. (2013).** *Wissen und Erkenntnis.* APuZ 63 (2013), 18-20, 3-9
- Gabriel, K.; Weber, N. (2014).** *„Pädagogischer Doppeldecker“ im Studium des Sachunterrichts.* Journal für lehrerInnenbildung 14 (2014) 3, 43-48
- Gaiser, G. (2016).** *Ethische Perspektiven.* Weber, T.; Menge, D. (Hrsg.). Willkommen im Anthropozän – Unsere Verantwortung für die Zukunft der Erde (S. 32-35). München : Deutsches Museum Verlag
- Gage, F. H.; Muotri, A. R. (2012).** *Was jedes Gehirn einzigartig macht.* Spektrum der Wissenschaft (2012) 10, 22-27
- Gagné, R. M. (1973).** *Die Bedingungen des menschlichen Lernens.* Hannover: Schroedel
- Gall, D.; Völkl, A.; Anton, M. A. (2012).** *Wissenschaftspropädeutik im Chemieunterricht – Wie beginnt das naturwissenschaftliche Denken und Arbeiten?* PdN-ChiS 61 (2012) 5, 46-49

- Gardner, H. (2001).** *Die Rahmen-Theorie der vielfachen Intelligenzen*. Stuttgart: Klett-Cotta
- Gardner, H. (2007).** *Five Minds for the Future*. Boston: Harvard Business Press
- Gardner, H. (2008).** *Die entscheidenden Intelligenzen der Zukunft*. http://www.businessnavigator.com.de/mediapool/126/1261063/data/Gardner_Abschied_vom_IQ_091123.pdf (Zugriff: 12.1.2014)
- Gardner, H. (2013⁴).** *Intelligenzen – Die Vielfalt des menschlichen Geistes*. Stuttgart: Klett-Cotta
- Gärtner, H.; Vogt, A. (2013).** *Wie Lehrkräfte Ergebnisse eines Schülerfeedbacks verarbeiten und nutzen*. Unterrichtswissenschaft 41 (2013) 3, 252-367
- Gasser, P. (2002).** *Neue Lernkultur – Eine integrative Didaktik*. Aarau: Sauerländer
- Gast, M. (1998).** *Wann ist ein Lehrer erfolgreich?* MPG-Spiegel (1998) 5/6, 9-13
- Gaudig, H. (1909).** *Didaktische Präludien*. Leipzig.
- Gauss, K.-M. (2019)** *Urteilswut*. SZ v. 13.12.19, S. 5
- Gayk, O. (1999).** *Leistungen der Schule – Anforderungen des Arbeitslebens*. Lernchancen 2 (1999) 12, 2-4
- Geary, D. C. (1995).** *Reflections of evolution and culture in children's cognition*. American Psychologist 50 (1995) 1, 24-37
- Gehlen, D. v. (2018).** *Das Pragmatismus-Prinzip. Für einen gelassenen Umgang mit dem Neuen*. Nelte, I. (Hrsg.). Denkanstöße 2019. (S. 127-160). München: Piper
- Geiger, K. (1969).** *Induktive und deduktive Lehrmethode*. Berlin
- Geißler, K. A.; Orthey, F. M. (2002).** *Kompetenz: Ein Begriff für das verwertbare Ungefähre*. REPORT – Zeitschrift für Weiterbildungsforschung (2002) 49, 69-79
- Geller, F. (2006).** *Welche Effekte auf die Quantität und Qualität von chemischem Wissen hat ein Praktikum an einem außerschulischen Lernort?* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2006.
- Gentner, D. (1989).** *The mechanisms of analogical learning*. Vosniadou, S.; Ortony, A. (Eds.). Similarity and analogical reasoning (pp. 199-241). New York: Cambridge University Press.
- Gentner, D.; Holyoak, K. (1997).** *Reasoning and learning by analogy*. The American psychologist 52 (1997) 1, 32-34
- Germ, M. (2009).** *Lernaufgaben als kohärenzbildende Elemente in der naturwissenschaftlichen Lehrerbildung*. Archivserver der CAU als elektronische Dissertation http://eldiss.uni-kiel.de/macau/receive/dissertation_diss_00004481
- Gerrer, S. (2014).** *Bedeutung der Protokollführung von chemischen Inhalten bei Schülerinnen und Schülern der Grundschule im HSU*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2014.
- Geuß, H.; Urban, K. K. (1982).** *Hochbegabte Kinder*. Wiczerkowski, W.; zur Oeveste, H. (Hrsg.). Lehrbuch der Entwicklungspsychologie. Bd. 3 (S. 85-110). Düsseldorf: Schwann
- Gieske, R.; Streller, S.; Bolte, C. (2024).** *Vom Salz zur Ionensubstanz: eine sprachensible Unterrichtsreihe zur Erkundung von Salzen im Toten Meer*. CHEMKON 31 (2024) 5, 160-167
- Giest, H.; Wiesemann, J. (Hrsg.) (2008).** *Kind und Wissenschaft*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Giffhorn, B. (2015).** *Jeder lernt anders! Biologie unterrichten unter Berücksichtigung von Lernstilen*. MNU 64 (2015) 4, 217-219
- Gigerenzer, G. (2013).** *Risiko – Wie man die richtigen Entscheidungen trifft*. München: Bertelsmann

- Gilbert, J. K.; De Jong, O.; Justi, R.; Treagust, D. F.; Van Driel, J. H. (2002).** *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
- Ginns, P (2005).** *Meta-analysis of the modality effect*. Learning and Instruction 15, 313-331
- Girg, R. (1994).** *Die Bedeutung des Vorverständnisses der Schüler für den Unterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gisbert, K. (2004).** *Lernen lernen – Lernmethodische Kompetenzen von Kindern in Kindertagesstätten*. Weinheim: Beltz.
- Gläser-Zikuda, M.; Hofmann, F.; Frederking, V. (Hrsg.) (2022).** *Emotionen im Unterricht – Psychologische, pädagogische und fachdidaktische Perspektiven*. Stuttgart: Kohlhammer
- Glaserfeld, E. v. (2002).** *Aspekte einer konstruktivistischen Didaktik*. In: Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Hrsg.). *Lehren und Lernen als konstruktive Tätigkeit* (S. 7-14). Bönen: Verlag für Schule und Weiterbildung.
- Glöckel, H. (1996).** *Vom Unterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Glowalla, G.; Glowalla, U. (2004).** Fragestrategien zu Lehrtexten im Studium. *Unterrichtswissenschaft* 32(2004)4, 334-344.
- Godina, B. (2018).** „Unsere Schüler brauchen Bildkompetenz“. *bayerische schule* (2018) 2, 34-39
- Goertzel, B. (2001).** *Neuronale Netze*. Future- Das Aventis Magazin (2001) 2, 30-33
- Göldner, H.-D. (1983).** *Anfang gut, alles gut? Die ersten Minuten im Unterricht*. *Lehrerjournal* (1983)1, 2-7.
- Götz, S.; Grossmann, W.; Jenko, E.; Vorderwinkler, K. (2014).** *Fachdidaktik an der Universität Wien – Eine empirische Studie unter Lehramtsstudierenden*. *journal für lehrerInnenbildung* 14 (2014) 3, 82-93
- Götz, Th.; Frenzel, A. C.; Haag, L. (2006).** *Ursachen von Langeweile im Unterricht*. *Empirische Pädagogik* 20 (2006) 2, 113-134
- Gold, A. (2015a).** *Guter Unterricht: Was wir wirklich darüber wissen*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht
- Gold, A. (2015b).** *Lernschwierigkeiten. Wie man einen pädagogisch-psychologischen Dauerbrenner immer wieder aufs Neue befeuern kann*. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 29 (2015) 3-4, 123-132
- Gold, B.; Förster, S.; Holodynski, M. (2013).** *Evaluation eines videobasierten Trainingsseminars zur Förderung der professionellen Wahrnehmung von Klassenführung im Grundschulunterricht*. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 27 (2013) 3, 141-155
- Gold, A.; Brod, G. (2021).** *Lernen*. Prieser, S. *Pädagogische Psychologie – Psychologische Grundlagen von Erziehung und Unterricht* (S. 91-93). Weinheim: BeltzJuventa
- Goleman, D. (1997).** *Emotionale Intelligenz*. dtv
- Gopnik, A. (2000).** *Explanation as Orgasm and the Drive for Causal Knowledge – The Function, Evolution and Phenomenology of the Theory Formation System*. Keil, F. C.; Wilson, R. A. (Ed.). *Explanation and Cognition* (p. 299-323). Cambridge: MIT Press
- Gopnik, A.; Kuhl, P.; Meltzoff, A. (2001).** *Forschergeist in Windeln – Wie Ihr Kind die Welt begreift* München: Ariston
- Goswami, U. (2001).** *So denken Kinder – Einführung in die Psychologie der kognitiven Entwicklung*. Bern: Huber.
- Gotwals, A. W.; Songer, N. B. (2006).** *Measuring Students’ Scientific Content and Inquiry Reasoning*.
- Grabner, R. (2012).** Zitiert aus: Wolf, C.: *Denken B.SC. und M.Eng. anders?* *Science + tech* 1 (2012) 1, 4-9; S. 6

- Gräber, W.; Nentwig, P.; Koballa, T.; Evans, R. (Hrsg.) (2002).** *Scientific Literacy*. Opladen: Leske & Budrich
- Gräsel, C.; Parchmann, I. (2004).** *Implementationsforschung – oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern*. *Unterrichtsforschung* 32 (2004) 3, 196-214
- Graesser, A. C.; Olde, B. A. (2003).** *How Does One Know Whether a Person Understands a Device? The Quality of the Questions the Person Asks when the Device Breaks Down*. *Journal of Educational Psychology* 95(2003)3, 524-536.
- Graf, E. (1997).** *Chemieunterricht in der Schule – ein Auslaufmodell?* *Chem.Sch.* 44(1997)9, 334-336.
- Graf, E. (2000).** *Fördern und Fordern durch Leistungskontrollen und –rückmeldungen*. *NiU-Ch* 11 (2000) 56, 4-10
- Gramm, A. (1989).** *Konzeptionen zur Chemielehrerbildung – Geschichte und Gegenwart*. Reiners, Ch., S.; Wambach H. (Hrsg.). *Chemiedidaktik in der Unterrichtspraxis - Festschrift für Hans Otto Hammer* (S. 1-11). Essen: Westarp
- Grassl, F. (2015).** *Auswirkungen von unterrichtsbegleitenden Audio-Dateien auf Interesse und Verständnis im Chemieunterricht der gymnasialen Mittelstufe*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2015.
- Grassl, F. (2017).** *Podcasts vs. Informationsblätter - Ein Vergleich zweier Methoden zum eigenverantwortlichen Erarbeiten von Redoxgleichungen in der 10. Klasse (MuG)*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik zum 2. Staatsexamen 2017.
- Graube, G.; Mammes, I.; Tuncsoy, M. (2013).** *Natur und Technik in der gymnasialen orientierungsstufe – Zur Notwendigkeit eines interdisziplinären Ansatzes*. *MNU* 66 (2013) 3, 176-179
- Graudegus, J.; Abels, S. (2013).** *Empathie- und Reflexionskompetenz von Studierenden der Didaktik der Chemie und Physik*. *Journal für LehrerInnenbildung* 13 (2013) 2, 46-56
- Gray, P. (2012).** *Inquiry-based Science Education in Europe: Setting the Horizon 2020 Agenda for Educational Research?* Bolte, C.; Holbrook, J.; Rauch, F. (eds.). *PROFILES – Inquiry-based Science Education in Europe: Reflections from the PROFILES Project* (p. 9-13). Berlin: Freie Universität
- Gregory, G. H. (2005).** *Differentiating Instruction With Style. Aligning Teacher and Learner Intelligences for Maximum Achievement*. Thousand Oaks (www.sinus-sh.lernetz.de/sinus/materialien_herbsttagung_2011/R_Brude/Lernstile_Grgory.pdf)
- Greiff, S.; Fischer, A. (2013).** *Der Nutzen einer komplexen Problemlösekompetenz: Theoretische Überlegungen und empirische Befunde*. *Z. Pädagog. Psychol.* 27 (2013) 1/2, 27-39
- Greiff, S.; Kretzschmar, A.; Leutner, D. (2014).** *Problemlösen in der Pädagogischen Psychologie*. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 28 (2014) 4, 161-166
- Greutmann, P.; Saalbach, H.; Stern, E. (Hrsg.) (2021).** *Professionelles Handlungswissen für Lehrerinnen und Lehrer*. Stuttgart: Kohlhammer
- Griebel, W.; Niesel, R. (2004).** *Transitionen: Fähigkeit von Kindern in Tageseinrichtungen zu fördern, Veränderungen erfolgreich zu bewältigen (Beiträge zur Bildungsqualität)*. Weinheim: Beltz
- Grob, P. (2003).** *Über Sinn und Unsinn chemischer Symbolik in der Sekundarstufe I*. *NiU-Ch* 14 (2003) 75, 40-41
- Groebe, Von der, A. (2011).** *Individuelle Förderung – was heißt das?* Vortrag beim Bielefelder Grundschulforum am 9.2.2011 (www.bielefeld.de/ftp/dokumente/Vortrag090211.pdf)
- Grössing, H.; Sertl, M. (2015).** *Lehrerinteressen als Thema im Studium. Eine Lehrveranstaltung an der PH Wien*. *Journal für LehrerInnenbildung* 15 (2015) 3, 47-50

- Gropengießer, H. (2003).** *Lernen und Lehren – Thesen und Empfehlungen zu einem professionellen Verständnis.* REPORT – Zeitschrift für Weiterbildungsforschung (2003) 3, 29-39
- Groß, K. (2013).** *Experimente alternativ dokumentieren – Eine qualitative Studie zur Förderung der Diagnose- und Differenzierungskompetenz in der Chemielehrerbildung.* Berlin: Logos
- Groß, K.; Reiners, C. S. (2012).** *Diagnosekompetenz durch informelle Lernarrangements?* ChemKon 19 (2012) 3, 115-122
- Groß, K. (2017).** *Individuelle Förderung im Chemieunterricht.* Reiners, Chr. S. *Chemie vermitteln - Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen* (S. 148-166). Berlin: Springer
- Groß, K. (2018).** *Elektrochemie lernstilorientiert differenziert – Eine Möglichkeit zur Förderung des fachlichen Lernens in heterogenen Lerngruppen.* Groß, K.; Schumacher, A. (Hrsg.). *Einblicke in die chemiedidaktische Forschung zu den Schwerpunkten individuelle Förderung und naturwissenschaftliches Arbeiten.* Elektr. Schriftenreihe der Uni- und Stadtbibliothek Köln, Bd. 12, 149-172
- Groß, K.; Schumacher, A. (2018).** *Der außerschulische Lernort ELKE als Möglichkeit der Verbindung von individuellem Lernen und naturwissenschaftlicher Erkenntnis für Schüler+innen.* Groß, K.; Schumacher, A. (Hrsg.). *Einblicke in die chemiedidaktische Forschung zu den Schwerpunkten individuelle Förderung und naturwissenschaftliches Arbeiten.* Elektr. Schriftenreihe der Uni- und Stadtbibliothek Köln, Bd. 12, 1-15
- Groß-Ophoff, J.; Hosenfeld, I.; Koch, U. (2007).** *Formen der Ergebnisrezeption und damit verbundene Schul- und Unterrichtsentwicklung.* Empirische Pädagogik 21 (2007) 4, 411-427
- Grossrieder, B. (2012).** *Die Unwissensgesellschaft.* Neue Zürcher Zeitg 27.8.12, S. 12
- Großschedl, J.; Harms, U. (2011).** *Concept mapping: Förderung der Metakognition oder metakognitiver Förderbedarf?* Bayrhuber, H. et al. (2011). *Empirische Fundierung in den Fachdidaktiken.* S. 115-130. Münster: Waxmann
- Großschedl, J.; Harms, U.; Glowinski, I.; Waldmann, M. (2014).** *Professionswissen angehender Biologielehrkräfte.* MNU 67 (2014) 8, 457-462
- Grüner, G. (1967).** *Die didaktische Reduktion als Kernstück der Didaktik.* Die deutsche Schule 59 (1967) 7+8, 414.
- Gruehn, S. (1995).** *Vereinbarkeit kognitiver und nichtkognitiver Ziele im Unterricht.* Z. f. Päd (1995) 4, 531-553
- Gruschka, A. (2011).** *Verstehen lehren – Ein Plädoyer für guten Unterricht.* Stuttgart: Reclam
- Gschwind, D. H.; Konopka, G. (2013).** *Genvariante erklärt Besonderheit unseres Gehirns.* Spektrum (2013) 4, 12-13 (Nature (2012) 486, 481-492)
- Gudjons, H. (1999).** *Pädagogisches Grundwissen.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Gudjons, H. (2011).** *Frontalunterricht – neu entdeckt. Integration in offene Unterrichtsformen.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Gudjons, H. (2008).** *Handlungsorientiert lehren und lernen – Schüleraktivierung, Selbsttätigkeit, Projektarbeit.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Gülker, S. (2015).** *Wissenschaft und Religion: Getrennte Welten?* Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ); Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament 65 (2105) 41-42, 9-15
- Güntürkün, O. (2014).** *Nicht vergessen forschung – Das Magazin der DFG* (2014) 4, 14-19
- Haag, L.; Streber, D. (2012).** *Klassenführung – Erfolgreich unterrichten mit Classroom Management.* Weinheim: Beltz

- Haagen-Schützenhöfer, C. (2012).** *Lernaufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht – Warum? Wofür? Und vor allem – Wie?* IMST-Newsletter 11 (2012) 37
- Haas, H.; Pielmeier, S. (1999).** *Handreichung zum offenen Unterricht an Hauptschulen.* ISB München
- Habelitz-Tkotch, W. (2003).** *Kumulativ lernen.* NiU-Chemie 14 (2003) 76/77, 84-88
- Habelitz-Tkotch, W. (2006).** *Alles Teilchen – oder was?* NiU-Ch 17(2006)94/95, 20-25.
- Haber, W. (2010).** *Die unbequemen Wahrheiten der Ökologie – Eine Nachhaltigkeitsperspektive für das 21. Jahrhundert.* München: Oekom
- Hackl, B.; Neuweg, G. H. (Hrsg.) (2004).** *Zur Professionalisierung pädagogischen Handelns.* Münster: Lit
- Haedayet, W.-F. (1995).** *Offener Unterricht – pädagogischer Mythos oder unterrichtspraktische Antwort auf eine veränderte soziale Wirklichkeit.* Pädagogik und Schulalltag 50 (1995) 3, 314-323
- Haenisch, H. (1991).** *Erfolgreich unterrichten – Wege zu mehr Schülerorientierung.* Landesinstitut für Schule und Weiterbildung Arbeitsbericht 17. Soest
- Häcker, T. H. (1999).** *Widerstände in Lehr-Lern-Prozessen.* Frankfurt: Peter-Lang.
- Haider, M. (2010).** *Der Stellenwert von Analogien für den Erwerb naturwissenschaftlicher Erkenntnisse. Eine Untersuchung im Sachunterricht der Grundschule am Beispiel „Elektrischer Stromkreis“.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Hagenauer, G.; Hascher, T. (2011).** *Schulische Lernfreude in der Sekundarstufe 1 und deren Beziehung zu Kontroll- und Valenzkognitionen.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 25 (2011) 1, 63-80
- Hagenoff, S.; Seidenfaden, L.; Ortelbach, B.; Schumann, M. (2007).** *Neue Formen der Wissenskommunikation.* Göttingen: Universitätsverlag
- Haim, K. (2013).** *Kreatives lösungsorientiertes Experimentieren – KLEx.* PdN-ChiS 62 (2013) 4, 34-37
- Haim, K.; Müller, A. (2016).** *Erforsche Deine Umwelt mit Expedition Chemie (Theorieteil & Praxisteil).* Wien: Dörner
- Haim, K.; Aschauer, W. (2022).** *Fostering Scientific Creativity in the Classroom: The Concept of Flex-Based Learning.* International Journal of Learning, Teaching and Educational Research 21 (2022) 3, 196-230
- Halisch, F. (1990).** *Beobachtungslernen und die Wirkung von Vorbildern.* Spada, H. (Hrsg.) (1990) *Lehrbuch Allgemeine Psychologie* (S. 373-402). Bern: Huber
- Hamilton, D. (1999).** *The pedagogic paradox (or why no didactics in England?).* Pedagogy, Culture and Society 7 (1999) 135-152
- Hammann, M. (2012).** *Was lernen Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren?* Biologie in unserer Zeit 42 (2012) 5, 284-285
- Hammann, M.; Ho Phan, Thi Thanh; Bayrhuber, H. (2007).** *Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen?* Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 10 (2007) 8, 33-49.
- Hanke, B.; Mandl, H.; Prell, S. (1973).** *Soziale Interaktion im Unterricht – Darstellung und Anwendung des Interaktionsanalyse-Systems von N. A. Flanders.* München: Oldenbourg
- Hannover, B.; Kessels, U. (2011).** *Sind Jungen die neuen Bildungsverlierer? Empirische Evidenz für Geschlechterdisparitäten zuungunsten von Jungen und Erklärungsansätze.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 25 (2011) 2, 89-103
- Hansen, J. (2018).** *Vorurteile gegen den Lehrberuf.* IPN-Journal 2 (2018) 4, 47-49
- Hanser, H. (2003).** *Zahlenspiele im Kindergarten.* Gehirn & Geist (2003)4, 30-33.

- Hanser, H.; Ayan, S. (2009).** *Frischer Wind ins Klassenzimmer*. Gehirn & Geist (2009)6, 60-65.
- Hänsel, M. (2014).** *Intelligentes Üben in den Naturwissenschaften*. MNU 67 (2014) 5, 288-291
- Hänsler, U. (Hrsg.) (2015).** *Laternenmond und heiße Ohren – Sprachförderung im Grundschulunterricht durch Forschendes Lernen an Biografien*. Berlin
- Härtter, S. (2010).** *Das grüne Klassenzimmer – Förderung von Interesse, Motivation und Nachhaltigkeit bezüglich chemischer und naturwissenschaftlicher Inhalte durch einen außerschulischen Lernort*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2010.
- Hardy, I.; Stadelhofer, B. (2006).** *Concept Maps wirkungsvoll als Strukturierungshilfen einsetzen – Welche Rolle spielt die Selbstkonstruktion?* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 20 (2006) 3, 175-187
- Harsch, G.; Heimann, R.; Kipker, A. (2002).** *Verständnisprobleme mit der Formelsprache im Chemieunterricht*. chim. didact. 28 (2002) 3, 251-266
- Hartinger, A. (2006).** *Interesse durch Öffnung des Unterrichts – wodurch?* Unterrichtswissenschaft 34 (2006) 3, 272-288
- Hartmann, U.; Schneider, U.; Emrich, H. M. (2002).** *Auf der Jagd nach dem Glück*. Gehirn&Geist (2002) 4, 10-15
- Hartmann, H. (2017).** *Small-Step-Teaching im Chemieunterricht zur Verbesserung des Verstehens*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2017.
- Hartmann, H.; Anton, M. A. (2019).** *Mit „SST“ zum besseren Chemieverstehen*. Chemie&Schule 34 (2019) 4, 5-9
- Hartmann, M.; Mayr, K.; Schratz, M. (2007).** *Starke Lernumgebungen schaffen – Neun Methoden zur Unterrichtsentwicklung*. Friedrich-Verlag Jahreshft 2007, 118-127
- Hass, H. (1982).** *Wie der Fisch zum Menschen wurde – Die faszinierende Entwicklungsgeschichte unseres Körpers*. Frankfurt a. M.: Fischer
- Hass, H. (1984).** *Leben und Wirtschaft als energetisches Phänomen. Gesetze und Regeln der Lebensentfaltung aus der Sicht der Energiontheorie*. Manuskript zum Vortrag vom Mai 1984 in Nürnberg (Institut für Technologie und Ethik) als Sonderdruck aus „Management und Meditation“
- Hasselhorn, M.; Gold, A. (2006).** *Pädagogische Psychologie - Erfolgreiches Lernen und Lehren*. Stuttgart: Kohlhammer
- Hattie, J. A. C. (2009).** *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Oxon: Routledge
- Hattie, J. A. C. (2012).** *Visible learning for teachers. Maximizing impact on learning*. Oxon: Routledge
- Hattie, J.; Beywl, W.; Zierer, K. (2013).** *Lernen sichtbar machen*. Überarbeitete deutschsprachige Ausgabe von „Visible Learning“. Hohengehren: Baltmannsweiler, Schneider
- Haucke, K. (2013).** *Berufsorientierung im Chemieunterricht – Erhebung von Schülervorstellungen zu ausgewählten Berufen und Entwicklung von Konzepten zur Integration von Berufsorientierung in Unterricht und Lehrerbildung*. Dissertationschrift. Universität Oldenburg
- Haupt, P. (1982).** *Strukturmodelle von Atomverbänden – Eine Brücke zum Verständnis zwischen Phänomen und Atomvorstellung*. NiU-P/C 30 (1982) 1, 25-31
- Haupt P. (2010).** *Das Medium Tageszeitung als Quelle für einen motivierenden Unterricht*. PdN-ChiS 59 (2010) 4, 13-15

- Hauptmeier, G. (1968).** *Die didaktische Reduktion als methodische Möglichkeit im Wirtschaftsunterricht.* Deutsche Berufs- und Fachschule 64 (1968) 12, 925-938
- Haußer, K. (1980).** Die Einteilung von Schülern. Weinheim:
- Häußler, P. et al. (1998).** *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis.* Kiel: IPN
- Häußler, S. (2010).** *Schulversuche mit WACKER-Produkten – Eignung und Relevanz für die Realschule.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2010.
- Hascher, T.; Wepf, L. (2007).** *Lerntagebücher im Praktikum von Lehramtsstudierenden.* Empirische Pädagogik 21 (2007) 2, 101-118
- Havighurst, R. J. (1948/1972).** *Developmental Tasks and Education.* New York: Longman Inc.
- Heath, C.; Heath, D. (2017).** *Switch – Veränderungen wagen und dadurch gewinnen!* Frankfurt: Fischer
- Heckl, W. M.; Weitze, M-D. (2012).** *Nanobiotechnologien: Konzepte, Kontroversen, Kommunikation.* Weitze, M-D.; Pühler, A. et al. (2012). *Biotechnologie-Kommunikation – Kontroversen, Analysen, Aktivitäten* (S. 155-189). Berlin: Springer Vieweg
- Heckt, D. H.; Wendt, P. (2009).** *Nachholbedarf – Ist Deutschland auf dem Weg zur chancengerechten Schule?* Grundschule (2009) 1, 6-9
- Heering, A. (2013).** *Jule und der Schrecken der Chemie.* Weinheim: Wiley-VCH
- Heering, P. (2016).** *Geschichten erzählen im naturwissenschaftlichen Unterricht.* MNU Journal (2016) 3, 171-176
- Heege, R; Schmidkunz, H. (1997).** *Zur wahrnehmungsaktiven Gestaltung visueller Darstellungen.* NiU-Ch (1997) 8,10-14
- Heidemann, R. (2007).** *Körpersprache im Unterricht – Ein Ratgeber für Lehrende.* Wiebelsheim: Quelle & Meyer
- Heimann, R.; Merge, V.; Sperlich, K. (2011/2012).** *Wie effektiv nutzen Siebtklässler Experimente zur Überprüfung von Erklärungen? Teil 1: Verbrennung von Kohlenstoff.* PdN-ChiS 60 (2011) 8, 45-47. Teil 2: Verbrennung von Kupfer. PdN-ChiS 61 (2012) 1, 46-48
- Heimlich, U. (2017).** *Inklusive Momente im Bildungsprozess.* Päd. Rundschau 71 (2017) 2, 171-186
- Heimlich, U.; Kahlert, J. (Hrsg.) (2012).** *Inklusion in Schule und Unterricht. Wege zur Bildung für alle.* Stuttgart: Kohlhammer
- Hein, T. (2023).** *Ignoranz schafft Durchblick.* Max Planck Forschung (2023) 3, 34-39
- Heisenberg, W. (1971).** *Der Begriff der kleinsten Teilchen in der Entwicklung der Naturwissenschaft.* ???, 153-162
- Heissenberger, K. (2015).** *Praxisforschung als Tool der Professionalisierung in der Schulpraxis – Forschendes Lernen im Aktionsrad „Reflektieren-Handeln“.* Journal für lehrerInnenbildung 15 (2015) 4, 59-66
- Heitmann, P.; Schwanewedel, J. (2014).** *Bewertung in Biologie, Chemie und Physik – Hintergründe und Aufgabenkonstruktion bei der Überprüfung der nationalen Bildungsstandards.* MNU 67 (2014) 8, 452-457
- Heller, K. A. (2001).** *HECTOR-Seminar – Förderung hochbegabter Schüler – Begabung braucht Entwicklungschancen (MINT).* LVA aktuell Baden-Württemberg (2001) 6, 3-8
- Heller, K. A. (Hrsg.) (2000).** *Begabungsdiagnostik in der Schul- und Erziehungsberatung.* Bern: Huber
- Heller, K. A., Hany, E. A. (1996).** *Psychologische Modelle der Hochbegabtenförderung.* Weinert, F. E. (Hrsg.) (1996). *Psychologie des Lernens und der Instruktion*, Bd. 2. (S. 477-513). Göttingen: Hogrefe

- Hellmann, K.; Kreutz, J.; Swichow, M.; Zaki, K. (Hrsg.) (2018).** *Kohärenz in der Lehrerbildung – Theorie, Modelle und empirische Befunde*. Berlin: Springer
- Helmke, A. (1988).** *Leistungssteigerung und Ausgleich von Leistungsunterschieden in Schulklassen: unvereinbare Ziele?* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 10 (1988) 1, 45-76
- Helmke, A. (2003).** *Unterrichtsqualität erfassen, bewerten, verbessern*. Seelze: Kallmeyer.
- Helmke, A. (2009).** *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität – Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze-Velber: Friedrich
- Helmke, A., Weinert, F. E. (1997).** *Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen*. Enzyklopädie der Psychologie D I Bd. 3: Weinert, F. E. (Hrsg.) Psychologie des Unterrichts und der Schule (S. 71-176). Göttingen: Hogrefe
- Hengstschläger, M. (2012).** *Die Durchschnittsfalle – Gene-Talente-Chancen*. Salzburg: Ecwin
- Hepp, R. (2006).** *Punkte sammeln – Noten geben – Bewertung von Schülerleistungen bei kooperativen Lernformen*. Mathematik lernen (2006) 139, 39-41
- Hepp, R.; Miehle, K. (2006).** *Feedback geben – Methoden zur regelmäßigen Reflexion und Evaluation des Unterrichts*. Mathematik lernen (2006) 139, 42-43
- Hepting, R. (2008).** *Zeitgemäße Methodenkompetenz im Unterricht – Eine praxisnahe Einführung in neue Formen des Lehrens und Lernens*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Herbart, J. F. (1806).** *Allgemeine Pädagogik aus dem Zweck der Erziehung abgeleitet*. Göttingen: J. F. Röwer
- Herber, H.-J.; Vásárhelyi, É. (2003).** *Kompetenzstreben und Kompetenzerwerb: Funktionale Dekomponierung und didaktische Fördermöglichkeiten*. 7 (2003) 2, 5-59
- Herdegen, P. (1999).** *Berufswahl im 21. Jahrhundert*. Lernchancen 2 (1999) 12, 6-12
- Herdt, C. (2013).** *Klassische Schulversuche – Realexperiment und modellhafte Darstellung*. PdN-ChiS 62 (2013) 4, 16-19
- Herdt, Chr. (2019).** *Lehrerbildung und Fachsprache – Fachliches und sprachliches Lernen als Bestandteil der Lehrerbildung im Fach Chemie*. CHEMKON 26 (2019) 1, 23-29
- Hergeth, T. (2007).** *Das Experiment im Chemieunterricht. Leistungen und Defizite unter besonderer Berücksichtigung des Fragenstellens in der präexperimentellen Phase. Vergleichende Studie zum Thema 'Wasserhärte' an zwei zehnten Klassen des Gymnasiums*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2007.
- Hericks, U. (2004).** *Verzahnung der Phasen der Lehrerbildung*. Blömeke, S.; Reinhold, P.; Tulodziecki, G.; Wildt, J. (Hrsg.) (2004). Handbuch Lehrerbildung (301-311). Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Hericks, U. (2009).** *Entwicklungsaufgaben in der Berufseingangsphase*. journal für lehrerinnen- und lehrerbildung 9 (2009) 3, 32-39
- Hericks, U. (2009).** *“Es ist natürlich n´ bisschen lauter als bei anderen Kollegen“ – Individuelle Unterrichtsentwicklung in der Berufseingangsphase von Lehrerinnen und Lehrern*. Manuskript vom Vortrag am 7.11.2009 an der Universität zu Köln (https://www.uni-marburg.de/fb21/schulpaed/institut/personal/hericks/vortrag_koeln.pdf; Aufruf: 23.6.2014)
- Hering, D. (1958).** *Didaktische Vereinfachung*. Habilitationsschrift, Dresden.
- Herrmann, S. (2013).** *Starrköpfe*. SZ v. 7./8.9.13, S. 20
- Herrmann, U. (Hrsg.) (2009).** *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim: Beltz.

- Herzig, B.; Schwerdt, U. (Hrsg.) (2002).** *Subjekt- oder Sachorientierung in der Didaktik?* Aktuelle Beiträge zu einem didaktischen Grundproblem (S. 185-208).
- Herzog, M. (1992).** *Phänomenologische Psychologie.* Heidelberg: Roland Asanger
- Hess, E. H. (1965).** *Attitude and Pupil Size.* Scientific American 212 (1965) 46-54
- Hesse, F. (1991).** *Analogen Problemlösen: eine Analyse kognitiver Prozesse beim analogen Problemlösen.* Weinheim: Psychologie-Verl.-Union
- Hetmanek, A.; Wecker, C.; Kiesewetter, J.; Trempler, K.; Fischer, M. R.; Gräsel, C.; Fischer F. (2015).** *Wozu nutzen Lehrkräfte welche Ressourcen?* Unterrichtswissenschaft 43 (2015) 3, 193-208
- Heymann, H.W. (1996).** *Allgemeinbildung und Mathematik.* Weinheim: Beltz
- Hilscher, H. (2005).** *Einsteins Verständnis von Lehren und Lernen – Eine Zitatesammlung.* PdN-PhiS 54 (2005) 7, 26-27
- Hobson, J. A.; Friston, K. J. (2012).** *Waking and Dreaming Consciousness: Neurobiological and Functional Considerations.* Progress in Neurobiology 98 (2012) 82-98
- Hock K. ; Rauch B.,; Weinheimer J. (2007).** *Denken in Modellen - das Teilchenmodell im Anfangsunterricht.* Höttecke D. (Hrsg.) Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung. Tagungsband GDGP 2007.
- Hock, K.; Weinheimer, J.; Rauch, B.; Anton, M. A. (2008).** *Teilchenmodell im Fach „Natur und Technik“.* PdN-ChiS 57 (2008) 8, 34-38
- Höffler, T. N.; Lütthjohann, F.; Parchmann, I. (2014).** *Welche Wirkungen erzielt ein naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht?* ZfDN 2014
- Höft, L.; Bernholt, S. (2019).** *Ich mag, was ich kann, oder kann ich, was ich mag? Über das Zusammenspiel von Interesse, Freude und Konzeptwissen im Fach Chemie.* ZfDN 25 (2019) 1, 161-180
- Höke, J.; Hille, K.; Kansteiner-Schänzlin, K. (2012).** *Lehrerzentrierter versus schülerorientierter Unterricht – Erweiterung eines differenzierten Blicks auf das Lernverhalten von Schüler/innen in offenen Lehr-Lernformen.* Unterrichtswissenschaft 40 (2012) 4, 371-384
- Hof, S.; Mayer, J. (2009).** *Förderung von wissenschaftsmethodischen Kompetenzen durch Forschendes Lernen.* Erkenntnisweg Biologiedidaktik (2009)7, 69-84
- Hoffmann, R. (1997).** *Sein und Schein – Reflexionen über die Chemie.* Weinheim: VCH
- Hoffmann, R. (2014).** *Vielseitige Chemie mit brennbarer Luft.* Spektrum der Wissenschaft (2014) 7, 82-87
- Hofheinz, V. (2007).** *Allgemeinbildung durch Chemieunterricht im literacy-Zeitalter?* chim. did. 33 (2007) 100, 128-151
- Hofheinz, V. (2008).** *Erwerb von Wissen über „Nature of Science“ - Eine Fallstudie zum Potenzial impliziter Aneignungsprozesse in geöffneten Lehr-Lern-Arrangements am Beispiel von Chemieunterricht.* Dissertation Universität Siegen
- Hofmann, F. (2008).** *Persönlichkeitsstärkung und soziales Lernen im Unterricht.* Österreichisches Zentrum für Persönlichkeitsbildung und soziales Lernen (ÖZEPS)(Hrsg.). Salzburg.
- Hofstein, A. (2009).** *Learning in and from science laboratories.* Höttecke , D. (Hrsg.). Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung; GDGP Jahrestagung Schwäbisch Gmünd 2008 (S. 13-21). Münster: Lit
- Hofstein, A.; Lunetta, V.N. (2004).** *The laboratory in science education: Foundations for the 21st century.* Science Education 88(2004)1, 28-54.
- Hofstein, A.; Navon, O.; Kipnis, M.; Mamlok-Naaman, R. (2005).** *Developing Students' Ability to Ask More and Better Questions Resulting from Inquiry-Type Chemistry Laboratories.* Journal of Research in Science Teaching 42(2005)7, 791-806.

- Hohenester, S. (2010).** *Unterrichtseinheiten zur Vor- und Nachbereitung des Museumsbesuchs "Fayencen im Schloss Höchstädt" im Unterrichtsfach Chemie.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2010.
- Hohwy, J. (2012).** *The Predictive Mind.* Oxford: Oxford University Press
- Holland, J. (1997).** *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments.* Florida: PAR
- Holländer, M.; Melle, I. (2012).** *Die Effektivität des Advance Organizers im Chemieunterricht der Sekundarstufe I.* MNU 65 (2012) 1, 44-52
- Hopp, V. (1984).** *Die Technikfeindlichkeit – Symptom einer geistigen Krise? Natur- und Ingenieurwissenschaften im Spannungsfeld zwischen Rationalität und Irrationalität.* Swiss Chem 6 (1984) 4, 7-18
- Hoppe, Chr.; Stojanovic, J. (2008).** *Dahinter steckt ein kluger Kopf. Gehirn & Geist* (2008) 3, 52-56
- Hotarek, I. (2011).** *Die Diagnose des Lern- und Arbeitsverhaltens im Berufsschulunterricht als Basis für die Förderung von Begabungen.* Krems: Donau-Universität Krems
- Hotarek, I. (2013).** *Begriffsvielfalt „Selbstständiges Lernen“.* IMST-NL 12 (2013) 39,
- Hoyer, T.; Weigand, G.; Müller-Opplinger, V. (2013).** *Begabung – Eine Einführung.* Darmstadt: WBG
- Hübener, M. (2010).** *Synapsen im Dornröschenschlaf.* Gehirn & Geist (2010) 1+2, 20-23
- Hüber, T.; Käser, U. (2015).** *Die Bedeutung des Belastungserlebens von Lehrkräften für die Qualität ihres Unterrichts.* Unterrichtswissenschaft 43 (2015) 2, 120-135
- Hübsch, A. (2013).** *Fachzeitschriften für das Fach Chemie als Zugang zu Ergebnissen der Unterrichtsforschung.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2013
- Hünnerkopf, M.; Schneider, W.; Hasselhorn, M. (2006).** *Strategiemodell vs. Optimierungsmodell – Welches Modell kann Gedächtnisleistungen im Grundschulalter besser vorhersagen?* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 38 (2006) 3, 110-120
- Hüther, G. (2012).** *Für eine andere Schulkultur: Die Bedeutung von Geist und Haltung aus neurobiologischer Sicht.* BLLV (Hrsg.). „L“ wie Lernen in der Schule – Der moderne Lernbegriff in Theorie und Praxis – Praxisheft (S. 10-15). München: Domino
- Hullinger, J. (2018).** *Grundlegende Analyse zum heutigen und künftigen Unterrichten & Lernen an Gymnasien und universitären Hochschulen Teil I.* Department für Chemie und Biochemie Universität Bern
- Hummel, S. (2006).** *Chemiemobil 2005 – ein Projekt zur Förderung der kognitiven, affektiven und psychomotorischen Fähigkeiten von Schülern der Grundschule.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen.
- Hünig, S. (1984).** *Über die Bedeutung von Experimenten im Chemieunterricht.* Der Chemieunterricht 15(1984)2, 8-12.
- Hurrelmann, B. (2003).** *Lesen – Lesen als Basiskompetenz in der Mediengesellschaft.* Barsch et al. (Hrsg.). Lesen + Schreiben (S. 4-10). Jahresheft. Seelze: Friedrich Verlag
- Huser, J. (2008).** *Flow – Einswerden mit dem Tun. Förderung von hohen Begabungen bei Kindern und Jugendlichen.* Fischer, C.; Mönks, F. J.; Grindel, E. (Hrsg.) (2008). Curriculum und Didaktik der Begabtenförderung. Begabungen fördern. Lernen individualisieren. Berlin: Lit
- Hustvedt, S. (2018).** *Die Illusion der Gewissheit.* Hamburg: Rowohlt

Iacoboni, M. (2009). *Woher wir wissen, was andere denken und fühlen – Die neue Wissenschaft der Spiegelneuronen*. München: DVA

International Conference of the Learning Sciences (ICLS), 27.6-1.7.2006, Bloomington, Indiana, USA (S. 196-202).

Jonas, H. (1979). *Das Prinzip Verantwortung*. Frankfurt a.M.

IPEGE (Hrsg.) (2009). *Professionelle Begabtenförderung – Empfehlungen zur Qualifizierung von Fachkräften in der Begabtenförderung*. Salzburg: ÖZBF

IPEGE (Hrsg.) (2014). *Professionelle Begabungsförderung – Fachdidaktik und Begabtenförderung* (S. 55-75). Salzburg: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF)

ISB (Hrsg.) (1999). *Handreichung zum offenen Unterricht an Hauptschulen*. München

Isola, M. (2009). *Effekte des chemischen Experimentierens mit Vorschulkindern*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2010.

Iwan, R. (2009). Zitat aus: Bleher, C. „Schüler sind keine leeren Säcke, die man füllt“. In: SZ v. 7.9.09, S. 16.

Jaenisch, R.; Bird, A. (2003). *Epigenetic regulation of gene expression: how the genome integrates intrinsic and environmental signals*. Nature Genetics Supplement 33 (2003) 245-254

Jäger, R. S. (2013). *Förderung als Gegenstand der Pädagogischen Psychologie und der Empirischen Pädagogik: Grundsätzliche Überlegungen zu ihren Voraussetzungen und zur Implementation sowie Evaluation von Förderung*. Empirische Pädagogik 27 (2013) 3, 276-303

Jannack, V.; Knemeyer, J.-P.; Schallies, M.; Marmé, N. (2015). *Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. MNU 68 (2015) 6, 363-369

Janitz, K. (2013). *Chemie in der Lernwerkstatt eines Kindergartens – Welche Möglichkeiten sind realistisch?* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2013 Jahrbuch der Lehrerforschung (S. 323-333). München: Juventa.

Jaklin-Farther, S. (2009). *Entdeckendes Experimentieren mit Kindern in Kindergarten, Hort und Volksschule*. IMST-Newsletter 8(2009)32, 4-5.

Jansen, M.; Schroeders, U.; Lüdtke, O.; Pant, H. A. (2014). *Interdisziplinäre Beschulung und die Struktur des akademischen Selbstkonzepts in den naturwissenschaftlichen Fächern*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 28 (2014) 1-2, 43-49

Jastorff, B.; Störmann, R.; Wölcke, U. (2003). *Lehrbuch: Struktur-Wirkungs-Denken in der Chemie – Eine Chance für mehr Nachhaltigkeit*. Oldenburg: Aschenbeck&Isensee Universitätsverlag

Jensen, W. B. (1998). *Logic, History, and the Chemistry Textbook. Does Chemistry Have a Logical Structure?* Journal of Chemical Education 75(1998)6, 679-687.

Jha, A. P. (2013). *Augenblick mal! Gehirn&Geist* (2011) 11, 42-47

Johnstone, A. H. (1991). *Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem*. Journal of Computer Assisted Learning (1991) 6

Johnstone, A. H. (1997). *Chemistry Teaching – Science or Alchemy?* Journal of Chemical Education 74, 3, S. 262-268

Johnstone, A. H.; Otis, K. H. (2007). *Concept mapping in problem-based learning: a cautionary tale*. Chemistry Education Research and Practice 7, 2, 84-95

Johnstone, A.; H. (2000). *Teaching of Chemistry – logical or psychological?* Cerapie 1 (2000) 9-17

- Joller-Graf, K. (2014).** *Kompetenzorientierung im Doppeldecker: Anforderungen an Unterricht und Hochschullehre.* journal für lehrerInnenbildung 14 (21014) 3, 7-14
- Jorzik, B. (2015).** *Exzellenzinitiativen in der Lehrerbildung.* Jlb 15 (2015) 2, 54-58
- Jürgens, E. (1995).** *Die 'neue' Reformpädagogik und die Bewegung Offener Unterricht.* St. Augustin: Academia
- Just, N. (1989).** *Geschichte und Wissenschaftsstruktur der Chemiedidaktik.* Mülheim/Ruhr: Westarp
- Kaberman, Z.; Dori, Y. J. (2009).** *Metacognition in chemical education: question posing in the case-based computerized learning environment.* Instructional Science 37(2009)5, 403-436.
- Kahlert, J.; Haag, L.; Kiel, E.; Eberle, T. (2013).** *Berufsfeldbezogene Lehrerbildung unter den Bedingungen stets knapper Ressourcen – Fallarbeit mit herausfordernden Situationen in der Schule.* journal für lehrerInnenbildung 13 (2013) 1, 53-59
- Kahneman, D. (2012).** *Schnelles Denken – Langsames Denken.* München: Siedler
- Kämpfe, L. (2005).** *Gehirn und Bewusstsein.* PdN-BioIS 54(2005)7, 38-46.
- Kalthoff, H. (1995).** *Die Erzeugung von Wissen – Zur Fabrikation von Antworten im Schulunterricht.* Z. f. Päd. 41 (1995) 6, 925-939
- Kantsperger, C.; Schröder, M. (2006).** *Die „Kleine ChemieKiste“: Eine Untersuchung zur Umsetzung dieses Projekts in Münchner Kindergärten.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2006.
- Kastner, H. (2021).** *Dummheit.* Wien: Kremayr & Scheriau
- Kattmann, U. et al. (1997).** *Das Modell der didaktischen Rekonstruktion.* ZfDN (1997) 3, 3.
- Kauertz, A.; Fischer, H. E.; Mayer, J.; Sumfleth, E.; Walpuski, M. (2010).** *Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I.* ZfDN 16 (2010) 135-153
- Kaufmann, H. (2000).** *Chemieunterricht und das Problem der antagonistischen Sicht von „Natur“ und „Chemie“.* Zur grundlegenden Bedeutung unterschiedlichen Wissens und Wertens im Zusammenhang mit Lehr- und Lernprozessen. Münster: Lit
- Kaufmann, H. (2001).** *Die antagonistisch-wertende Sicht von 'Chemie' und 'Natur' - eher ein Problem der Experten?* chim. did. 27 (2001) 3, 205-213
- Kaupp, M. (2005).** *Einstein in der Chemie.* Spektrum der Wissenschaft (2005) 12, 90-96
- Keefe, J. W.; Ferrell, B. G. (1990).** *Developing a Defensible Learning Style Paradigm.* Educational Leadership 48 (1990) 2, 57-61
- Kehren, W. (2008).** *Chemische Experimente als Schreibanlass.* PdN-ChiS 57 (2008) 5, 11-14
- Keller, G. (1977).** *Über das Denken in Modellen – Ein Beitrag zur Didaktik der Chemie.* Diesterweg
- Keller, G. (1995).** *Motivationsstörungen im Schulalter.* Donauwörth: Auer
- Keller, G. (2000).** *Schüleraktiver Unterricht – Eine Begründung aus pädagogisch-psychologischer Sicht.* Lernchancen 17 (2000) 58-61
- Kempa, R. (2000).** *Motivations- und Interessenbildung im Chemieunterricht.* Brechel, R. (1999). Zur Didaktik der Physik und Chemie – Probleme und Perspektiven (S. 20-31). Alsbach: Leuchtturm
- Kern, G. (2009).** *Vom Wissen zum Handeln.* IMST2-Newsletter. 8 (2009) 28, 9-11
- Kerschensteiner, G. (1901).** *Betrachtungen zur Theorie des Lehrplans.* München
- Kesidou, S. (1990).** *Schülervorstellungen zur Irreversibilität.* Kiel: IPN.
- Keßel, R. van; Reuter, S.; Barke, H.-D. (2012).** *Interesse und Kompetenzen hinsichtlich der Basiskonzepte der Chemie.* PdN-Ch-ChiS 61 (2012) 7, 46-49

- Kesselring, Th. (1997).** *Von der Biologie zur Psychologie und Pädagogik – Jean Piaget (9.8.1896-16.9.1980) – ein Portrait aus philosophischer Sicht.* PÄD Forum (1997) 2, 77-84
- Kessels, U.; Hannover, B. (2006).** *Zum Einfluss des Images von mathematisch-naturwissenschaftlichen Schulfächern auf die schulische Interessenentwicklung.* Prenzel, M.; Allolio-Näcke, L. (Hrsg.). *Untersuchungen zur Bildungsqualität von Schulen* (S. 350-369). Münster: Waxmann
- Kessels, U.; Steinmayr, R. (2013).** *Der subjektive Wert von Schule in Abhängigkeit vom verbalen und mathematischen Selbstkonzept.* Z. Pädagog. Psychol. 27 (2013) 1/2, 105-113
- Khoshmaram, P. (2007).** *Chemische Versuche zum Lehrplan der Realschule an außerschulischen Lernorten.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2007.
- Kiel, E. (2005).** *Über die Gegenwart, den Anfang und das Ende eines Berufslebens.* Von Carlsburg & Heitger (Hrsg.). *Der Lehrer – ein (un)möglicher Beruf* (S. 195-216). Frankfurt: P. Lang
- Kimme, L.; Lergetporer, P.; Wößmann, L. (2021).** *Geduld hilft beim Lernen.* SZ v. 16./17.1.2021, S. 22
- Kiphard, E. J. (1983).** *Mototherapie I.* Dortmund: Verlag modernes lernen
- Kiphard, E. J. (1989).** *Psychomotorik in Praxis und Therapie.* Gütersloh: Flöttmann
- Kirchner, S.; Priemer, B. (2008).** *Wie können Schüler angeleitet werden, Experimente selber zu planen?* GDGP-Tagungsband 2008, S. 194-196. Münster: Lit
- Kirchner, S.; Priemer, B. (2007).** *Probleme von Schülern mit offenen Experimentieraufgaben in Physik.* GDGP-Tagungsband 2008, S. 346-348. Münster: Lit
- Kiridus-Göller, R. (2003).** *BioKybernEthik.* BIOSKOP (Verb. Österr. Biologen)
- Kirschfeld, K. (2013).** *Wer denkt, der Mensch oder sein Gehirn?* BiuZ 43(2013) 5, 292-299
- Kirschner, S. (2013).** *Die Anatomie des Lernens.* Max-Planck-Forschung (2013) 1, 36-41
- Kizil, A.; Kattmann, U. (2014).** *Über den Effekt zur Erkenntnis – Eine empirische Untersuchung zum Experimentieren.* MNU 67 (2014) 5, 307-312
- Klaffke, T. (2016).** *Lehren im Kontext selbstgesteuerten Lernens – Mit gezielten Impulsen anregen.* Friedrich Verlag Jahresheft 2016, S. 112-113
- Klauer, K. (1988).** *Teaching for learning-to-learn: A critical appraisal with some proposals.* Instructional Science (1988)17, 351-367
- Klauer, K. J. (2014).** *Training des induktiven Denkens – Fortschreibung der Metaanalyse von 2008.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 28 (2014) 1-2, 5-19
- Klauer, K. J.; Leutner, D. (2007).** *Lehren und Lernen – Einführung in die Instruktionspsychologie.* Weinheim: Beltz
- Klein, K; Oettinger, U. (2000).** *Konstruktivismus – Die neue Perspektive im (Sach-)Unterricht.* Hohengehren: Schneider.
- Klein, M.; Wagner, K.; Klopp, E.; Stark, R. (2015).** *Förderung anwendbaren bildungswissenschaftlichen Wissens bei Lehramtsstudierenden anhand fehlerbasierten kollaborativen Lernens.* Unterrichtswissenschaft 43 (2015) 3, 225-244
- Kleinkecht, M.; Bohl, T.; Maier, U.; Metz, K. (Hrsg.) (2013).** *Lern- und Leitungsaufgaben im Unterricht. Fächerübergreifende Kriterien zur Auswahl und Analyse.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Kleickmann, T.; Vehmeyer, J.; Möller, K. (2010).** *Lehrervorstellungen und kognitives Strukturieren im Unterricht am Beispiel von Scaffolding-Maßnahmen.* Unterrichtswissenschaft 38 (2010) 3

- Klejbor, M. (2015).** *Guten Umgang pflegen.* www.didacta-magazin.de (2015) 3, 90-93
- Kliebisch, U. W. (1996).** *Nützliche Lügen produzieren.* NLP für jeden Tag. Ein Trainingshandbuch. Hohengehren: Schneider
- Klinzing, H. G. (2002).** *Wie effektiv ist Microteaching?* Z. f. Päd. 48 (2002) 2, 194-214
- Kluxen-Pyta, D. (2105).** *Fit für die Berufswahl.* www.didacta-magazin.de (2015) 3, 74-77
- Kotowski, M. J.; Kullmann, K. (1999).** *Fachbegriffe als sprachliche Distraktoren.* Chemie in der Schule 46 (1999) 3, 171-173
- Köffler, N. M. (2015).** *Krisen und subjektive Entwicklungsaufgaben im Lehramtsstudium.* Journal für lehrerInnenbildung 15 (2015) 3, 51-61
- Klieme, E.; Funke, J.; Leutner, D.; Reimann, P.; Wirth, J. (2001).** *Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz – Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie.* Z. f. Päd. 47 (2001) 2, 179-200
- Klieme, E. (2016).** *Woran forschen Sie gerade, Herr Klieme?* G&G (2016) 3, 40-41
- Klieme et al. (nach 2000).** *Fächerübergreifende Kompetenzen: Konzepte und Indikatoren o.Q*
- Klingberg, L. (1975).** *Einführung in die allgemeine Didaktik.* Frankfurt a. M.: Athenäum
- Klippert, H. (1994).** *Methoden-Training Übungsbausteine für den Unterricht.* Weinheim: Beltz
- Klippert, H. (2000).** *Pädagogische Schulentwicklung. Planungs- und Arbeitshilfen zur Förderung einer neuen Lernkultur.* Weinheim: Beltz
- Klippert, H. (2015).** *Unterrichtsentwicklung mittels Methodenlernen.* Rolff, H.-G., Handbuch Unterrichtsentwicklung (S. 301-313). Weinheim: Beltz
- Knoblich, G.; Öllinger, M. (2005).** *Vom Geistesblitz getroffen.* Gehirn&Geist (2005) 11, 40-47
- BlancharKnogler, M.; Schneeweiss, A. (2021).** *Wie wirksam sind Selbsterklärungen im MINT-Unterricht?* MINTZirkel (2021) 2,
- Kobarg, M. (2009).** *Unterstützung unterrichtlicher Lernprozesse aus zwei Perspektiven – Eine Gegenüberstellung.* Münster: Waxmann.
- Kobarg, M.; Prenzel, M.; Schwindt, K. (2009).** *Stand der Unterrichtsforschung zum Unterrichtsgespräch im naturwissenschaftlichen Unterricht.* Ulrich, W. (Hrsg.) (2009) Deutschunterricht in Theorie und Praxis (S. 408-429). Hohengehren: Baltmannsweiler
- Kober, F. (1988).** *Antonyme in der Fachsprache der Chemie.* PdN-Ch 37 (1988) 8, 35-38
- Kober, N. J. (2010).** *Die Könnerschaft mündlicher Erzählkunst. Worauf es beim freien mündlichen Erzählen wirklich ankommt.* Fuchstal: Xlibri
- Koch, R. (2001).** *Die Powergesetze des Erfolgs – Was die Wirtschaft von der Naturwissenschaft lernen kann.* Frankfurt: Campus
- Köller, O.; Möller, J.; Möller, J. (2013).** *Was wirkt wirklich? Einschätzungen von Determinanten schulischen Lernens.* München: Oldenbourg
- Köller, O.; Schnabel, K. U.; Baumert, J. (2000).** *Der Einfluss der Leistungsstärke von Schulen auf das fachspezifische Selbstkonzept der Begabung und das Interesse.* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie **32**, 2, S. 70-80
- König, J.; Blömeke, S. (2009).** *Pädagogisches Wissen von angehenden Lehrkräften – Erfassung und Struktur von Ergebnissen der fachübergreifenden Lehrerbildung.* Z. Erziehungswissenschaften (ZfE) (2009) 12, 499-527
- Kösel, E. (1993).** *Die Modellierung von Lernweltwelten. Ein Handbuch zur subjektiven Didaktik.* Elztal-Dallau
- Kohlberg, D.; Unseld, Th. (o.J., nach 2006).** *Mathetik – Mathetik des E-Learnings.* EISWEB Europäische Initiative Schulentwicklung WEBbasiert

- Kohler, B.; Göllner, R. (2013).** *Heterogene Arbeitszeiten von Schülerinnen und Schülern: Unterschiede innerhalb und zwischen Klassen.* Unterrichtswissenschaft 41 (2013) 4, 363-380
- Kohlhauf, L. (2013).** *Spielend biologisch Beobachten – Messung und Förderung biologischer Beobachtungskompetenz im Vorschulalter.* Berlin: Logos
- Kohn, A. (2005).** *Liebe und Eigenständigkeit: Die Kunst bedingungsloser Elternschaft.*
- Kolbe, S. W.; Martin, J.-P. (2024).** *Praxishandbuch Lernen durch Lehren. Kompendium eines didaktischen Prinzips.* Weinheim: Beltz-Juventa
- Koller, H.-Chr. (2018).** *Bildung anders denken – Einführung in die Theorie transformatorischer Bildungsprozesse.* Stuttgart: Kohlhammer
- KMK (2005):** Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss für das Fach Chemie: http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf
- KMK (2014)**
- Knogler, M.; Schneeweiss, A. (2020).** *Können innovative Unterrichtsansätze in den MINT-Fächern die Motivation und Leistung fördern?* MINTZirkel 9 (2020) 1, 9
- Konrad, K. (1997).** *Wie Metakognitionen das Lernverhalten beeinflussen: Handlungstheoretische Analysen selbstgesteuerter Lernprozesse bei Studierenden.* Empirische Pädagogik 11 (1997) 4, 467-495
- Konrad, K. (2006).** *Reflexion in interaktiven Lernumgebungen: Können (meta)kognitive prompts und concept maps reflexive Aktivitäten optimieren?* Psychologie in Erziehung und Unterricht 53 (2006) 3, 188-200.
- Konrad, K.; Traub, S. (1999).** *Selbstgesteuertes Lernen in Theorie und Praxis.* München: Oldenbourg
- Korczak, D. (2003).** *Was sollen unsere Kinder von uns lernen?* Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament (2003)9, 27-30.
- Koring, B. (2000).** *Das Internet als pädagogisches Problem Oder: Wie kann das Internet zum Lernort werden?* Lernwelten (2000)4, 194-199.
- Korneck, F. (2004).** *„Da lernt die Theorie laufen...“ – Reflexion und Ergebnisse einer problem- und handlungsorientierten Seminarreihe in der Physiklehrerbildung.* Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (2004)1,3, 41-48.
- Korte, M. (2010).** *Wie Kinder heute lernen – Was die Wissenschaft über das kindliche Gehirn weiß. Das Handbuch für den Schulerfolg.* München: DVA
- Korte, M. (2012).** *Jung im Kopf – Erstaunliche Einsichten der Gehirnforschung in das Älterwerden.* München: DVA
- Korte, M. (2017).** *Wir sind Gedächtnis – Wie unsere Erinnerungen bestimmen, wer wir sind.* München: DVA
- Kounin, J. S. (1977).** *Discipline and Group Management in Classrooms.* Huntington, N. Y.: R. E. Krieger,
- Krämer, V.; Reiners, C. S.; Schumacher, E. (2008).** *Zur Bedeutung von Analogien in Lernprozessen.* PdN-ChiS 57 (2008) 7, 36-39
- Krätz, O. (1981).** *„Lang ist die Kunst, aber nur kurz ist das Leben“.* Charivari (1981) 3, 9.
- Krafft, F. (2014).** *Die wichtigsten Naturwissenschaftler im Porträt.* Wiesbaden: marixverlag
- Kraft, V. (2010).** *Vom Nutzen neurobiologischer Provokationen für die Pädagogik oder: Affekt und Emotion als „blinde Flecke“ erziehungswissenschaftlicher Theoriebildung.* Schlüter, S.; Langewand, A. (Hrsg.). Neurobiologie und Erziehungswissenschaft – Die neueren Konjunktoren pädagogischer Wissenschaftsforschung aus historischer und systematischer Perspektive (S. 54-66). Bad Heilbronn: Klinkhardt

- Krainer, K.; Benke, G. (2017).** *Wie haben sich Fachdidaktik und Unterricht in Mathematik und Naturwissenschaften in Österreich in den letzten 35 Jahren weiterentwickelt?* Baustellen (in) der österreichischen Bildungslandschaft: Waxmann
- Krainer, K.; Evan, R.; Park Rogers, M.; Berry, A. (2021).** *Research on Learners and Teachers of Mathematics and Science: Forerunners to a Focus on Teacher Educator Professional Growth.* International Journal of Science and Mathematics Education. (2021) 2-22
- Krainer, K. (2024).** *Was ChatGPT zu gutem (Chemie-)Unterricht (nicht) beitragen kann.* Harmer, S. P.; Hubinger-Kasser, J.; Palenta, T. (Hrsg.) (2024). *Chemie professionell unterrichten – Gedanken zur Didaktik und Mathematik des Chemieunterrichts* (S.29-54). Berlin: epubli
- Krajcik, J. S. (1991).** *Developing Students' Understanding of Chemical Concepts.* Glynn, S. M. et al. (eds.). *The psychology of learning science*, pp. 117-148. Hillsdale: Erlbaum
- Krajcik, J. S.; Czerniak, C. M.; Berger, C. (1999).** *Teaching children Science – A project-based approach.* Boston: McGraw-Hill College
- Krajcik, J. S.; Sutherland, L. M.; Drago, K.; Merrit, J. (2012).** *The promise and value of learning progression research. Making it tangible: Learning outcomes in science education.* 261-284
- Kraler, C. (2012).** *Entwicklungsaufgaben Lehramtsstudierender aus der Sicht von LehrerbildnerInnen.* Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung 12 (2012) 3, 31-37
- Kraler, C. (2015).** *Wer bin ich? – Zur Berufsbiographie von „LehrerbildnerInnen“.* jlb 15 (2015) 2, 22-32
- Kratz, M. (2002).** *Experimente als Hausaufgaben – Chemie.* Köln: Aulis
- Kramer, R. (2012).** *Schöpferische Kraft – Mind-Mapping am Schreibtisch und unterwegs.* c't (2012) 1, 102-109
- Krämer, S. (2022).** *Kulturgeschichte der Digitalisierung – Über die embryonale Digitalität der Alphanumerik.* APuZ 72 (2022) 10-11, 10-17
- Kranz, J.; Schorn, J. (Hrsg.) (2012).** *Chemie Methodik – Handbuch für die Sekundarstufe I und II.* Berlin: Cornelsen
- Krapp, A. (1998).** *Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht.* Psychologie in Erziehung und Unterricht 45 (1998) 3, 185-201
- Krapp, A. (1999).** *Intrinsische Lernmotivation und Interesse – Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen.* Z. f. Päd. 45 (1999) 3, 387-406
- Krashen, St. D. (1981).** *Second language acquisition and learning.* Oxford: Pergamon Press
- Kratochwil, L. (1994).** *Das „Doppelkegel-Modell“ der Begabungskomponenten.* Päd. Rundschau 48 (1994) 419-436
- Krause, M.; Eilks, I. (2015).** *Lernen über digitale Medien in der Chemielehrerbildung – Ein Projekt Partizipativer Aktionsforschung.* ChemKon 22 (2015) 4, 173-178
- Krause, M.; Eilks, I. (2017).** *Über die Nomenklatur organischer Verbindungen mit StopMotion-Videos.* Chemie&Schule 32 (2017) 4, 17-19
- Krees, S. (2012).** *„CHEM₂DO – Experimentieren mit Siliconen und Cyclodextrinen“.* PdN-ChiS, 61 (2012) 8, 44
- Kreher, R. P. (1999).** *Erwartungen an eine Unterrichtszeitschrift für Chemie.* Chemie in der Schule 46 (1999) 3, 175-178
- Kreienbaum, M. A.; Urbaniak, T. (2006).** *Jungen und Mädchen in der Schule – Konzepte der Koedukation.* Berlin: Cornelsen
- Kremer, M. (Hrsg.) (2000).** *Chemieunterricht der Zukunft – Qualitätsentwicklung und Qualitätssicherung.* MNU 53(2000)3, Beiheft

- Kretschmann, R. (2003).** Erfordernisse und Elemente einer Diagnostik-Ausbildung für Lehrerinnen und Lehrer. *Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung* 3(2003)2, 9-19.
- Krettenauer, T. (2005).** *Die Erfassung des Entwicklungsniveaus epistemologischer Überzeugungen und das Problem der Übertragbarkeit von Interviewverfahren in standardisierte Fragebogenmethoden.* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 37 (2005) 2, 69-79
- Kreutzberg, G. W. (2013).** *Redekunst – Neurobiologische Konzepte.* Manuskript zum Vortrag am 5.2.2013 am MPI für Neurobiologie Campus Martinsried (http://www.neuro.mpg.de/376514/WfJ_Vortrag_Prof_Kreutzberg.pdf)
- Krick, C.; Kreis, S.; Paulus, F.; Reith, W. (2013).** *Zur Biologie der Mathematik.* MNU 66 (2013) 2, 68-75
- Krist, H. (1999).** *Die Integration intuitiven Wissens beim schulischen Lernen.* Zeitschrift für Päd.Psychologie 13 (1999) 4, 191-206
- Kroath, F. (1991).** *Lehrer als Forscher – Fallstudien zur Evaluation forschungsorientierter Lehrerfortbildung unter beruflichen Bedingungen.* München: Profil
- Kröll, M. (2002).** *Selbstorganisation, nicht-intendierte Effekte, selektive Versuchs- und Irrtums-Prozesse und Lehr-Lern-Planung.* Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Hrsg.). *Lehren und Lernen als konstruktive Tätigkeit* (S.71). Soest
- Kroath, F. (1991).** *Lehrer als Forscher – Fallstudien zur Evaluation forschungsorientierter Lehrerfortbildung unter beruflichen Alltagsbedingungen.* München: Profil
- Kröger, S.; Hock, K.; Tausch, M.; Anton, M.; Bader, A.; Zdzieblo, J. (2017).** *CHEM₂DO®-Schulversuchskoffer – ein Kooperationsprojekt von Wirtschaft, Fachdidaktik und Lehrerfortbildungszentren.* Chemkon 24 (2017) 4, 241-250
- Kron, F. W. (2000).** *Grundwissen Didaktik.* München: Reinhardt
- Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.) (2014).** *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung.* Heidelberg: Springer
- Kruse, A.; Denz, C. (2015).** *Von Black-Box-Experimenten zur Verifikation von Werbeslogans. Problemorientiertes Experimentieren über die Natur der Naturwissenschaften.* MNU 68 (2015) 5, 288-293
- Kubesch, S. (2016).** *Von der Wissenschaft zur Schulpraxis – Fit fürs Lernen und Leben durch Training der exekutiven Funktionen.* Transparent, Magazin des Cornelsen-Verlags (2016) 1, 2-3
- Kubli, F. (1983).** *Erkenntnis und Didaktik, Piaget und die Schule.* München: Reinhardt
- Künsting, J.; Thillmann, H.; Wirth, J.; Fischer, H. E.; Leutner, D. (2008).** *Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.* Psychologie in Erziehung und Unterricht 55 (2008) 1, 1-15
- Kühnelt, H. (2002).** *Dieter Nachtigall.* PLUS LUCIS (2002) 1, 29
- Küng, H. (2006).** *Der Anfang aller Dinge. Naturwissenschaft und Religion.* München: Piper
- Küsel, J.; Hönig, M.; Rüschenpöhler, L.; Markic, S. (2023).** *Berufsorientierung zu chemischen Berufen: Ein vernachlässigter Bereich der Bildung von Lehrer:innen.* CHEMKON 30 (2023) 1, 23-29
- Kuhl, A. M. (1993).** *Soll die Didaktik konstruktivistisch werden?* Pädagogische Korrespondenz (1993) 12, 36-55
- Kulgemeyer, Ch.; Schecker, H. (2009).** *Physikalische Darstellungsformen.* MNU 62 (2009) 6, 328-331
- Kulgemeyer, Ch.; Starauschek, E. (2014).** *Analyse der Verständlichkeit naturwissenschaftlicher Fachtexte.* Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 241-253). Heidelberg: Springer

Kuntze, S. (2015). *Von den Ideen hinter den Inhalten.* MNU 68 (2015) 6, 323

Labudde, P. (2010). *Fachdidaktik Naturwissenschaft 1.-9. Schuljahr.* Stuttgart: Hauptverlag

Labuhn, A. S.; Bögeholz, S.; Hasselhorn, M. (2008). *Lernförderung durch Anregung der Selbstregulation im naturwissenschaftlichen Unterricht.* Z. f. Päd. Psychologie 22 (2008) 1, 13-24

Lachmayer, S.; Nerdel, C.; Prectl, H. (2007). *Modellierung kognitiver Fähigkeiten beim Umgang mit Diagrammen im naturwissenschaftlichen Unterricht.* ZfDN 13 (2007) 143-158

Ladenthin, V. (2006). *Brauchen Hochbegabte eine eigene Didaktik?* Fischer, C.; Ludwig, H. (Hrsg.) (2006). *Begabtenförderung als Aufgabe und Herausforderung für die Pädagogik.* Bd. 22 der Münsterschen Gespräche zur Pädagogik. Münster: Aschendorff

Lagler, E.; Wilhelm, M. (2013). *Zusammenhang von Schülerleistung und Fachausbildung der Lehrkräfte in den Naturwissenschaften – eine Pilotstudie zur Situation in der Schweiz.* chim. & ct. did 38 (2013) 105, 47-70

Lagowski, J. J. (1998). *Chemical Education: Past, Present and Future.* Journal of Chemical Education 75(1998)4, 425-435.

Langer, S. (2008). *Vorbereitung, Begleitung und Evaluation von Schülerpraktika am außerschulischen Lernort „Chemiedreieck“.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2008.

Langlet, J. (2021). *Die innere Welt der Lernenden.* MINT-Zirkel (2021) 8

Lankes, E.-M. et al. (2000). *Situierter Aufbau von Wissen bei Studierenden.* Zeitschrift für Pädagogik 46 (2000), 3, 417-437.

Laudonia, I.; Eilks, I. (2015). *Chemieunterricht und Chemiedidaktik an berufsbildenden Schulen – Status quo und Perspektiven.* ChemKon 22 (2015) 3, 119-124

Lautenschläger, K.-H. (1963). *Zur Entwicklung der chemischen Schülerübungen in Deutschland.* Berlin: Volk und Wissen.

Lavoisier, A. (1789). *Traité Élémentaire De Chimie.* Paris: Cuchet, Discours Préliminaire, p vi-vii

Lawson, A. E. (1978). *The Development and Validation of a Classroom Test of Formal Reasoning.* Journal of Research in Science Teaching 15, 11-24

Lederer-Gamberger, J. (2004). *Wie bringt man Schüler dazu, Fragen zu stellen?* Reihe „Pädagogik und Fachdidaktik für Lehrer“ (PFL). Klagenfurt: IFF.

Lee, Hee-Sun; Songer, N. B.; Lee, Soo-Young. (2006). *Developing a Sustainable Instructional Leadership Model: A Six-Year Investigation of Teachers in One Urban Middle School.* International Conference of the Learning Sciences (ICLS), 27.6-1.7.2006, Bloomington, Indiana, USA (S. 376-382).

Lehmann, L. (2001). *Leitkartengesteuerter Chemieunterricht – Die Leika-Methode. Ein Weg zum autonomen Wissenserwerb.* Chem.Sch 16 (2001)4, 19-20, 17 (2002) 1, 2-5

Lehmann, W.; Jüling, I.; Knopf, H. (2002). *Allgemeine und domänenspezifische cognitive Leistungen – Eine vergleichende Untersuchung in mathematisch und sprachlich orientierten Gymnasien.* ZfPP 16 (2002) 1, 29-41

Lehner, A. (2023). *Der Umgang mit Unterrichtsstörungen im Fach Chemie – Möglichkeiten und Maßnahmen im Bereich nonverbaler Kommunikation.* Master-Arbeit aus der Chemiedidaktik. IDC

Lehtinen, E. (1994). *Institutionelle und motivationale Rahmenbedingungen und Prozesse des Verstehens im Unterricht.* R-Weyeneth, M. (Hrsg.) (1994). *Verstehen – Psychologischer Prozeß und didaktische Aufgabe* (S. 143-162). Bern: H. Huber

- Leisen, J. (1998).** *Förderung des Sprachlernens durch den Wechsel von Symbolisierungsformen im Physikunterricht.* PdN-Ph 47 (1998) 2, 9-10
- Leisen, J. (2007a).** *Das Erklären im Unterricht.* MNU 60 (2007) 8, 459-462
- Leisen, J. (2007b).** *Unterrichtsgespräch: Vom fragend-entwickelnden Unterricht, sokratischen Dialog und den Schülergesprächen.* Physik Methodik für die Sekundarstufen. Berlin: Cornelsen
- Leisen, J. (2010).** *Kompetenzorientiert unterrichten mit dem Lehr-Lernmodell.* Studienseminar Koblenz
- Leisen, J. (2013).** *Handbuch Sprachförderung im Fach (Grundlagen + Praxismaterialien).* Stuttgart
- Leisen, J. (2015).** *Fachlernen und Sprachlernen.* MNU 68 (2015) 3, 132-137
- Leiser-Bodenthin, A. (2006).** *Zur Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht.* ZfDN 12 (2006) 91-108
- Lembens, A. (2012).** *Chemielernen und Gender – Zugänge für ALLE ermöglichen.* Amon, H.; Bartosch, I.; Lembens, A.; Wenzl, I. IMST Gender_Diversitäten Netzwerk (Hrsg.) (2012). *Gender_Diversity-Kompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Fachdidaktische Anregungen für Lehrerinnen und Lehrer* (S. 39-54). Klagenfurt: Institut für Unterrichts- und Schulentwicklung (IUS)
- Lembens, A.; Abels, S. (2015).** *Forschendes Lernen nach dem 5E-Modell und Showmanship.* Chemie&Schule 30 (2015) 1b, 6-7
- Lemke, B. (2003).** *Nichtbewusste Informationsverarbeitungsprozesse und deren bedeutung für das Lernen Erwachsener.* REPORT – Zeitschrift für Weiterbildungsforschung 26 (2003) 3, 71-83
- Lengauer, A. (2023).** *Professionsempfinden von männlichen und weiblichen Chemielehrenden.* Chemie&Schule 38 (2023)1, 24-28
- Lenz, A.; Meretz, S. (1995).** *Neuronale Netze und Subjektivität – Lernen, Bedeutung und die Grenzen der Neuro-Informatik.* Braunschweig: Vieweg
- Lenzen, D. (2014).** *Bildung statt Bologna.* Berlin: Ullstein
- Lenzen, M. (2013).** *Das Hypothesen testende Gehirn.* Gehirn & Geist (2013) 4, 52-57
- Lenzen, M. (2015).** *Nur ein Haufen Neurone?* Gehirn & Geist (2015) 7, 68-72
- Leonard, G. (1994).** *Der längere Atem.* Wessobrunn: Integral
- Leonhard, T.; Moosmann, K. (2009).** *Gesellschaftskritisch-problemorientierter Chemieunterricht unter der Lupe.* chim. &ct. did. 35 (2009) 102, 80-94
- Lesch, H.; Forstner, U. (2020).** *Wie Bildung gelingt – Ein Gespräch.* Wbg: Theiss
- Lesgold, A. M. (1984).** *Acquiring expertise.* Anderson, J. R. & Kosslyn, S. M. (Eds.). *Tutorials in learning and memory* (p. 31-60). San Francisco: Freeman
- Levin, A. (2005).** *Lernen durch Fragen. Wirkung von strukturierenden Hilfen auf das Generieren von Studierendenfragen als begleitende Lernstrategie.* Münster: Waxmann.
- Levin, A.; Arnold, K.-H. (2004).** *Aktives Fragenstellen im Hochschulunterricht; Effekte des Vorwissens auf den Lernerfolg.* Unterrichtswissenschaft 32(2004)4, 295-307.
- Leutwyler, B.; Herzog, S. (2011).** *Perspektiven für Lehrpersonen. Konzept einer Entwicklungslandkarte.* journal für lehrerinnen- und lehrerbildung 11 (2011) 2, 11- 19
- Lichtenstein-Rother, I. (1963).** *Der Zusammenhang zwischen Unterrichtsstil und Leistungsbereitschaft.* Die Deutsche Schule 55 (1963) 120-141
- Lichtfeldt, M. (1992).** *Schülervorstellungen in der Quantenphysik und ihre möglichen Veränderungen durch Unterricht.* Kiel: IPN.
- Lidl, K. (2006).** *Der Pluskurs Chemie – Ein Zusatzangebot zum Chemieunterricht an bayerischen Realschulen.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2006.

- Liedtke, M. (1991).** *Evolution und Erziehung – Ein Beitrag zur integrativen pädagogischen Anthropologie*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Liessmann, K. P. (2006).** *Theorie der Unbildung*. Wien: Zsolnay
- Liessmann, K. P. (2014).** *Geisterstunde – Die Praxis der Unbildung – Eine Streitschrift*. Wien: Zsolnay
- Lind, G.; Sandmann, A. (2003).** *Lernstrategien und Domänenwissen*. Zeitschrift für Psychologie 211 (2003) 4, 171-192
- Lindemann, H.; Wicker, K. (1999).** *Kindliche Erklärungsweisen naturwissenschaftlicher Phänomene*. Sumfleth, E. (Hrsg.). *Chemiedidaktik im Wandel – Gedanken zu einem neuen Chemieunterricht* (S. 150-201). Münster: Lit
- Lipowsky, F.; Rzejak, D. (2015).** *Was wir über gelingende Lehrerfortbildungen wissen*. journal für lehrerInnenbildung 15 (2015) 4, 26-32
- Lippitz, W. (1993).** *Phänomenologische Studien in der Pädagogik*. Weinheim: Deutscher Studienverlag
- Lippitz, W. (1994).** *Die hermeneutisch-phänomenologische Pädagogik*. Gudjons, H.; Teske, R.; Winkel, R. (Hrsg.) (1994). *Erziehungswissenschaftliche Theorien* (S. 3-11). Hamburg: Bergmann und Helbig
- Lo, Mun Ling (2012).** *Variation Theory and the Improvement of Teaching and Learning*. Gothenburg Studies in Educational Science 323
- Lo, Mun Ling (2015).** *Lernen durch Variation – Implementierung der Variationstheorie in Schule und Bildungsforschung*. Münster: Waxmann
- Lohrmann, K. (2010).** *(Un-)Ähnlichkeit zwischen naturwissenschaftlichen Phänomenen aus der Sicht von Grundschulkindern: Interviewstudien zum Structural Alignment*. Empirische Pädagogik 24(2010)3, 264-285.
- Lombrozo, T. (2010).** *The Instrumental Value of Explanations*. Philosophy Compass (2010) 6, 539-551
- Lortie, D. C. (1975).** *Schoolteacher*. Chicago
- Loschen, P. (2013).** *Klimaschutz durch Biosprit? – Zeitungsartikel als Medium zur Förderung von Kompetenzen*. NiU-Ch 24 (2013) 138, 27-29
- Loser, F. W. (1968).** *Die Übung im Unterricht und ihr Beitrag zu einer pädagogischen Theorie des Lehrens und Lernens*. Dohmen, G.; Maurer, F. (Hrsg.). *Unterricht – Aufbau und Kritik* (S. 103-121). München: Piper.
- Loth, J. (1874).** *Entspricht die von den Universitäts-Professoren eingeführte und von den Lehrern der Realschulen fast allgemein befolgte Anordnung des Materials der Chemie der anorganischen Körper den Anforderungen der Wissenschaft und der Didaktik?* Zentralorgan für die Interessen des Realschulwesens 2(1874)4, 206-239.
- Lück, 2003 (2003).** *Handbuch der naturwissenschaftlichen Bildung – Theorie und Praxis für die Arbeit in Kindertageseinrichtungen*. Freiburg: Herder
- Lück, G. (2000a).** *Naturwissenschaften im frühen Kindesalter*. Münster
- Lück, G. (2000b).** *Interesse und Motivation bei Kindern im frühen Kindesalter – Untersuchungen zur Primärbegegnung mit Naturphänomenen im Vorschulalter*. Brechel, R. (2000). *Zur Didaktik der Physik und Chemie. Probleme und Perspektiven* (S. 32-44). Alsbach: Leuchtturm
- Lück, G. (2006).** *Animismen und Storytelling – Nicht nur unterhaltsames Beiwerk bei der Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte und Deutungen*. Lück, G.; Köster, H. (Hrsg.). *Physik und Chemie im Sachunterricht* (S. 15-26). Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Lück, G.; Wehmeier, M. (2015).** *„Experimentier‘ nach 4“ – Wie Kinder aus benachteiligten Schichten durch Nachmittagskurse für naturwissenschaftliche Themen interessiert werden können*. Chemie&Schule 30 (2015) 1, 5-9

- Lück, G.; Pahl, A. (2015).** *Diagnostik und Förderung naturwissenschaftlicher Kompetenzen durch differenzierte Experimentiereinheiten.* Erziehung und Unterricht (in press: Okt./Nov)
- Lüke, D.; Quarthal, D.; Oetken, M. (2021).** *Was machen die Ionen in einem Elektrolyten? – Der Leitfähigkeit im Experiment auf der Spur.* ChemKon 28 (2021) 1, 35-39
- Lütje-Klose, B. (2014).** *Kooperation in multiprofessionellen Teams.* Friedrich Jahresheft (2014) 26-29
- Lüttge, E. (1914).** *Didaktische Sprachkunst als ästhetische Selbstdarstellung der Lehrerpersönlichkeit.* Leipzig
- Luthiger, H.; Wilhelm, M.; Wespi, C. (2014).** *Entwicklung von kompetenzorientierten Aufgabensets – Prozessmodell und Kategoriensystem.* journal für lehrerInnenbildung 14 (2014) 3, 56-66
- Maasen, S.; Sutter, B. (2022).** *Wissenschaft und Gesellschaft: Neues zur Vertragsgestaltung.* APuZ 72 (2022) 26-27, 49-54
- Macedonia, M. (2013).** *Mit Händen und Füßen.* Gehirn & Geist (2013) 1/2, 32-36
- Mack, A.; Rock I. (1998).** *Inattentional Blindness.* Cambridge, MA: MIT Press
- McKenney, S.; Reeves, T. C. (2018).** *Conducting educational design research.* Routledge
- Mackowiak, K.; Dörr, G.; Baer, M.; Böheim, G.; Fain, V.; Guldemann, T.; Hecht, P.; Helfenstein, S.; Kocher, M.; Kucharz, D.; Smit, R.; Wyss, C. (2013).** *ALPHA: Entwicklung der Unterrichtskompetenz im Berufseinstieg von Lehrerinnen und Lehrern.* Unterrichtswissenschaft 41 (2013) 2, 98-107
- Madeja, M.; Müller-Jung, J. (Hrsg.) (2016).** *Hirnforschung - Was kann sie wirklich? – Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen.* München: Beck
- Madelung, E. (1926).** *Quantentheorie in hydrodynamischer Form.* Zeitschr. f. Physik 40 (1926) 322-326
- Mädefessel-Herrman, K.; Hammar, F.; Quadbeck-Seeger, H.-J. (GDCh: Hrsg.) (2004).** *Chemie rund um die Uhr.* Weinheim: Wiley-VCH
- Mahaffy, P. (2004).** *The future shape of chemistry education.* Chemistry Education: Research and Practice 3 (2004) 229-245.
- Mahaffy, P. (2006).** *Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry.* JCE 83 (2006) 1, 49-55
- Maltzahn, K. v. (2014).** *Mädchen und Naturwissenschaften – Zur Entwicklung von Interessen nach der Grundschule.* Weinheim: Beltz
- Mammes, I. (2008).** *Denkmuster von Lehrkräften als Herausforderung für Unterrichtsentwicklung.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Manzardo, G. G. G. (2004).** *Lernaufgabe zu einem Thema aus der Peptidchemie.* PdN-ChiS 53 (2004) 5, 43-45
- Maier, T. (2012).** *Vorstellung der Lehrmethode „Prozesskette“.* Chemie & Schule 27 (2012)1, 10-14
- Meier, M.; Mayer, J. (2014).** *Selbständiges Experimentieren – Entwicklung und Einsatz eines anwendungsbezogenen Aufgabendesigns.* MNU 67 (2014) 1, 4-10
- Malik, F. (2003).** *Systemisches Denken – Braucht man das?* Bioskop (2003) 1
- Malsen, F. v. (2014).** *Lernen lernen.* SZ vom 12./13.4.2014, 21
- Mandl, H.; Kopp, B. (2005).** *Situated learning: Theories and models.* Nentwig, P.; Waddington, D. (Eds.). (2005). *Making it relevant–Context based learning of science* (S. 15-34). Münster: Waxmann.

- Mandl, H.; Reinmann-Rothmeier, G. (1995).** *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten*. LMU Forschungsbericht 60
- Mandl, H.; Reinmann-Rothmeier, G. (1996).** *Lernen auf der Basis des Konstruktivismus – Wie lernen aktiver und anwendungsorientierter wird*. Computer und Unterricht 23 (1996) 41-44
- Mannß, S. et al. (2006).** *Chemie sinngebend verstehen: Können Narration und Subjektivität das Verständnis fachlicher Inhalte? Ergebnisse einer Unterrichtsstudie zum Thema „Massenerhalt“*. *Chimica didactica* 31 (2006) 96, 61-112; S. 72.
- Marais, P.; Jordaan, F. (2000).** *Are we Taking Symbolic Language for Granted?* *JChemEd.chem.wisc.edu* 77 (2000) 10, 1355-1357
- Markic, S.; Abels, S. (2013).** *Die Fachsprache der Chemie – Ein gemeinsames Anliegen von heterogenen Klassen*. *NiU-Ch* 24 (2013) 135, 10-14
- Markic, S.; Bruns, H. (2013).** *Stoffe erkunden – Materialien zum Umgang mit sprachlicher Heterogenität*. *NiU-Ch* 24 (2013) 135, 20-25
- Markic, S.; Broggy, J.; Childs, P. (2013).** *How to Deal with Linguistic Issues in Chemistry Classes*. Eilks, I.; Hofstein, A. (Eds.). *Teaching Chemistry – A Studybook* (p. 127-152). Sense Publishers
- Markic, S.; Eilks, I. (2008).** *Unterrichtsbezogene Vorstellungen von Lehramtsstudierenden der Chemie am Beginn ihres Studiums und ihre Einordnung*. *ChemKon* 15 (2008) 2, 69-74
- Markic, S.; Eilks, I. (2008).** *A case study on German first year chemistry student teacher's beliefs about chemistry teaching, and their comparison with student teachers from other science teaching domains*. *Chemistry Education Research and Practice*. (2008) 9, 25-34
- Markic, S.; Eilks, I. (2011).** *Zur Entwicklung der Vorstellungen zukünftiger Chemielehrkräfte über das Lehren und Lernen – Eine Cross-Level-Studie*. Höttecke, D. (Hrsg.) (2011). *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie*. GDGP-Tagung 2010 in Potsdam (S. 231-233). Münster: Lit
- Markic, S.; Burmeister, M. (2015).** *Clearasil & Co. – Was soll ich kaufen?* *MNU* 68 (2015) 2, 101-105
- Markic, S.; Eilks, I.; van Driel, J.; Ralle, B. (2009).** *Vorstellungen deutscher Chemielehrkräfte über die Bedeutung und Ausrichtung des Chemielernens*. *ChemKon* 16 (2009) 2, 90-95
- Markic, S.; Eilks, I.; Mamlok-Naaman, R.; Hugerat, M.; Kortam, N.; Dkeidek, I.; Hofstein, A. (2015).** *One country, two cultures – a multi-perspective view on Israeli chemistry teachers' beliefs about teaching and learning*. *Teachers and Teaching: theory and practice* (p. 1-17). Taylor & Francis
- Markman, A. B.; Gentner, D. (1996).** *Commonalities and differences in similarity comparisons*. *Memory and Cognition* 24(1997) 235-249.
- Markowitsch, H. J.; Staniloiu, A. (2014).** *Das (anti-)soziale Netzwerk*. *Gehirn&Geist* (2014) 3, 76-81
- Markram, H. (2012).** *Auf dem Weg zum künstlichen Gehirn*. *Spektrum der Wissenschaft* (2012) 9, 82-90
- Marks, R.; Eilks, I. (2009).** *Promoting Scientific Literacy Using a Socialcritical and Problem-Oriented Approach to Chemistry Teaching: Concept, Examples, Experiences*. *International Journal of Environmental & Science Education* 4 (2009) 3, 231-245
- Marks, R.; Thielmann, G. C.; Bastisch, E.; Bornkamp, I.; Siol, A.; Soevogarto; Eilks, I.; Gräber, W. (2010).** *Chitin und Chitosan – Fachliche Grundlagen, Experimente und die Kooperation mit außerschulischen Partnern und Lernorten (Teil 1)*. *MNU* 63 (2010) 6, 359-366.

- Marks, R.; Witte, N.; Eilks, I (2007).** *Riecht gut, aber ... - Chemie und Bewerten lernen am Beispiel Duschgels.* PdN-ChiS 56 (2007) 3, 11-15.
- Marohn, A. (1999).** *Falschvorstellungen von Schülern in der Elektrochemie – eine empirische Untersuchung.* Dissertation Universität Dortmund
- Marohn, A. (2008).** *Merksätze, Eselsbrücken und Vereinfachungen.* PdN-ChiS 57 (2008) 3, 46-49
- Marohn, A.; Parchmann, I.; Wlotzka, P. (2016).** *Schlüsselexperimente – hier macht's Klick!* NiU-Ch 27 (2106) 153, 2-7
- Marsh, H. W. (1987).** *The big-fish-little-pond effect on academic self-concept.* Journal of Educational Psychology 79 (1987) 280-295
- Marstaller, K. (2015).** *Vorwissensaktivierung durch die Initiierung von Schülerfragen im Chemieunterricht.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2015.
- Martial, I. v. (2002).** *Einführung in didaktische Modelle.* Hohengehren: Schneider
- Martin, E; Wawrinowski, U. (2014).** *Beobachtungslehre – Theorie und Praxis reflektierter Beobachtung und Beurteilung.* Weinheim: Beltz
- Martin-Beyer, W. (2003).** *Ein wenig beachteter Aspekt der Chemiedidaktik: Die Person des Didaktikers.* ChemKon 10 (2003) 1, 29-32
- Martius, T.; Delvenne, L.; Schlüter, K. (2016).** *Forschendes Lernen – Verschiedene Konzepte, ein gemeinsamer Kern?* MNU Journal (2016) 4, 220-228
- Marton, F.; Runesson, U. (2015).** *The idea and practice of learning study.* Wood, K.; Sithamparam, S. (Hrsg.). *Realising Learning. Teacher's professional development through lesson and learning study* (S. 103-121). London: Routledge
- Martschinke, S. (1995).** *Der Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen.* Z. f. Päd. 42 (1995) 2, 215-232
- Marx, M.; Anton, M. A. (2010).** *Handlungsorientierte Chemie in Jahrgangsstufe 1 der Grundschule.* PdN-ChiS 59 (2010) 6, 46-49
- Masin, C.; Grois, G. (2015).** *Experimentelle Schulchemie Unterstufe (ESCU).* Chemie & Schule 30 (2015) 1, 58
- Maslow, A. H. (1954).** *Motivation and Personality.* (1981) *Motivation und Persönlichkeit.* In deutscher Übersetzung von P. Krontorad. Reinbeck/Hamburg: Rowohlt
- Matthes, G. (2000).** *Förderdiagnostische Beobachtung des Lernens.* Lernchancen 3 (2000) 16, 18-23
- Mattox, A. C.; Reisner, B. A. (2007).** *What Happens When Chemical Compounds Are Added to Water? An Introduction to the Model-Observe-Reflect-Explain (MORE) Thinking Frame.* JChem Edu 83 (2006) 4, 622-624
- May, T. (2011).** *The Victorian Schoolroom.* Oxford: Shire Library
- Mayer, R. E. (2004).** *Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction.* American Psychologist 59 (2004) 14-19
- Mayer, R. E.; Wittrock, M. C. (2006).** *Problem solving.* Alexander, P. A.; Winne, P. H. (eds.). *Handbook of educational psychology* (pp. 287-303). Mahwah, NJ US: Erlbaum
- Mayoh, K.; Knutton, S. (1997).** *Using out-of-school-experience in science lessons: reality or rhetoric?* International Journal of Science Education 19 (1997) 7, 849-867
- Mayring, P. (2015).** *Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken.* Weinheim: Beltz
- Meadows, D. (1972).** *Grenzen des Wachstums.* Stuttgart: dva
- Meermann, H. (1987).** *Leistungszuwachs kein Garant für Lernfreude.* MPI-Spiegel 1, S. 4-7

- Meisert, A. (2008).** *Vom Modellwissen zum Modellverständnis – Elemente einer umfassenden Modellkompetenz und deren Fundierung durch lernerseitige Kriterien zur Klassifikation von Modellen.* ZfDN 14 (2008) 243-261
- Memmert, W. (1995).** *Didaktik in Grafiken und Modellen.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Menthe, J. (2006).** *Urteilen im Chemieunterricht. Eine empirische Untersuchung über den Einfluss des Chemieunterrichts auf das Lernen in Alltagsfragen.* Tönning, Lübeck & Marburg: Der andere Verlag
- Menzel, W. (1986).** *Üben.* Jahresheft Friedrich-Verlag (Hrsg.): Lernen - Ereignis und Routine (S. 38-51). Seelze: Friedrich.
- Mertens, D. (1974).** *Schlüsselqualifikationen – Thesen zur Schulung für die moderne Gesellschaft.* Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung 7 (1974) 1, 36-43
- Merzyn, G. (1998).** *Sprache im naturwissenschaftlichen Unterricht.* Physik in der Schule 36 (1998) 9, 284-287
- Merzyn, G. (2013).** *Fachsystematischer Unterricht – Eine umstrittene Konzeption.* MNU 66 (2013) 5, 265-269
- Merzyn, G. (2013).** *Guter Unterricht. Die Sicht von Schülern, Lehrern, Wissenschaftlern.* PdN-ChiS 62 (2013) 1, 37-41
- Merzyn, G. (2015).** *Das Unterrichtsgespräch in Biologie, Chemie, Physik – Fragend-entwickelnder Unterricht.* MNU 68 (2015) 1, 4-8
- Merzyn, G. (2016).** *Das Unterrichtsgespräch – Eigenschaften, Probleme, Mängel.* MNU-Journal (2016) 1, 51-57
- Merzyn, G. (2017).** *Merkmale guter Lehrer in Physik, Chemie, Biologie.* PhyDid 16 (2017) 1, 67-80
- Meschede, N.; Steffensky, M.; Wolters, M.; Möller, K. (2015).** *Professionelle Wahrnehmung der Lernunterstützung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht.* Unterrichtswissenschaft 43 (2015) 4, 317-335
- Meseth, W.; Proske, M.; Radtke, F.-O. (Hrsg.) (2011).** *Unterrichtstheorien in Forschung und Lehre.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Messig, D.; Zacher, T.; Groß, J. (2016).** *„Die Fotosynthese verstehen“ – ein lernerorientierter Versuch zum Thema Pflanzenernährung im Biologieunterricht.* MNU journal, 69 (2016), 2, 101-105
- Messner, R. (2007).** *Schülerwettbewerbe leisten methodische Pionierarbeit.* Fauser, P.; Messner, R. (Hrsg.). Fordern & Fördern – Was Schülerwettbewerbe leisten, S. 15-30. Edition Körberstiftung: Hamburg
- Messner, R.; Rumpf, H.; Buck, P. (1997).** *Natur und Bildung – Über Aufgaben des naturwissenschaftlichen Unterrichts und Formen des Naturwissens.* chim. did. 23 (1997) 1, 5-31
- Meßinger-Koppelt, J.; Schanze, S.; Groß, J. (Hrsg.) (2017).** *Lernprozesse mit digitalen Werkzeugen unterstützen – Perspektiven aus der Didaktik naturwissenschaftlicher Fächer.* Hamburg: Joachim Herz-Stiftung
- Metz, D.; Klassen, S.; McMillan, B.; Clough, M.; Olson, J. (2007).** *Building a Foundation for the Use of Historical Narratives.* Science & Education 16 (2007) 3-5, 313-334
- Metzler, B. (2016).** *Beeinflussung des chemischen Verständnisses durch spielerischen Umgang mit Grundwissensinhalten.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2016.
- Metzger, S.; Sommer, K. (2010).** *„Kochrezept“ oder experimentelle Methode? – Eine Standortbestimmung von Schülerexperimenten unter dem Gesichtspunkt der Erkenntnisgewinnung.* MNU 63(2010)1, 4-11.

- Metzke, C.; Steinhausen, H.-C. (2001).** *Merkmale der Schulumwelt und psychische Befindlichkeit.* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 33 (2001) 1, 30-41
- Meyer, H. (2004).** *Was ist guter Unterricht?* Berlin: Cornelsen.
- Meyer, H. (1987).** *Unterrichtsmethoden – Praxisband.* Berlin: Cornelsen
- Meyer, H. (1987).** *Unterrichtsmethoden I – Theorieband.* Berlin: Cornelsen
- Meyer, J. H. F.; Land, R. (2003).** *Threshold concepts and troublesome knowledge 1 – Linkages to ways of thinking and practising.* Rust, C. (Ed.). Improving student learning – Theory and practice ten years on (pp. 412-424. Oxford: Centre for Staff and Learning Development
- Meyer, J.; Precht, M. (2013).** *Step by step.* NiU 24 (2013) 133, 30-33
- Michalak, M. (2004).** *Sprache als Lernmedium im Fachunterricht.* Baltmannsweiler: Schneider
- Michalak, M.; Lemke, V.; Goeke, M. (2015).** *Sprache im Fachunterricht – Eine Einführung in Deutsch als Zweitsprache und sprachbewussten Unterricht.* Tübingen: Narr Francke Attempto
- Michel, H. (2018).** *Philosophie im Physikunterricht?* IPN-Journal 2 (2018) 4, 21-25
- Middlecamp, C. H.; Nickel, A.-M., L. (2000).** *Doing Science and Asking Questions: An Interactive Exercise.* Journal of Chemical Education 77 (2000)1, 50-52.
- Middlecamp, C. H.; Nickel, A.-M., L. (2003).** *Doing Science and Asking Questions II: An Exercise that Generates Questions.* Journal of Chemical Education 82 (2003)8, 1181-1186
- Miko-Schefzig, K. (2024).** *Forschen mit Vignetten – Gruppen, Organisationen, Transformationen.* Weinheim: Beltz Juventa
- Miller, G. D. (1956).** *The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for processing information.* Psychological Review, **63**, S. 81-97
- Minssen, M. (1986).** *Der sinnliche Stoff – Vom Umgang mit Materie.* Stuttgart: Klett
- Mishra, P.; Köhler, M. J. (2006).** *Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge.* Teachers College Record 108 (2006) 6, 1017-1054
- Mittelstraß, J.; Stock, G. (Hrsg.) (1992).** *Chemie und Geisteswissenschaft – Versuch einer Annäherung.* Berlin: Akademie-V.
- MNU 63(2010)7, 422-428
- Moffitt, T. E.; Caspi, A.; Poulton, R. (2014).** *Ein besseres Leben dank früher Selbstbeherrschung.* Spektrum der Wissenschaft (2014) 12, 40-47
- Mohn, Th. M. (1996?).** *Komplementäre Bereiche des Lernprozesses – Fallstudien zum Lernen chemischer Sachinhalte.* Diss. Der GH Siegen
- Mohr, H. (1996).** *Wachsen uns die neuen Technologien über den Kopf? – Die ethische Dimension des wirtschaftlichen Fortschritts.* Vortragsmanuskript, 5.11.1996 Kester-Haeusler-Stiftung; Fürstenfeldbruck
- Moll, F. (2010).** *Die Umgestaltung des Schulversuchskoffers der WACKER Chemie AG für Schülerinnen und Schüler des Gymnasiums.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2010.
- Möller, D. (1999).** *Förderung vernetzten Denkens im Unterricht. Grundlagen und Umsetzung am Beispiel der Leittextmethode.* Münster: Lit
- Möller, J. (2007).** *Selbstvertrauen – Wie es entsteht und wie man es fördern kann.* Schulmagazin 5 bis 10 (2007)11, 5-7.
- Möller, J.; Köller, O. (Hrsg.) (1996).** *Emotionen, Kognitionen und Schulleistung.* Weinheim: Beltz

Möller, K. (2010). *Lernen von Naturwissenschaft heißt: Konzepte verändern.* Labudde, P. (2010). Fachdidaktik Naturwissenschaft 1.-9. Schuljahr (S. 57-72). Stuttgart: Hauptverlag

Möller, K. (2012). *Männlichkeit, Mannhaftigkeit und Mannbarkeit: Wie aus Jungen Männer werden.* APuZ-Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament 62 (2012) 40, 41-46

Montaigne, M. E. (....). *Von der Kinderzucht bis zum Sterbenlernen.* München: A. Langen-V. (Bücher der Bildung)

Morawietz, H. (1996). *Offener Unterricht im Meinungsstreit von Haupt- und Realschülern.* Päd. Welt (1996) 7, 302-306

Moser, H. (1978). *Aktionsforschung als kritische Theorie der Sozialwissenschaften.* München: Kösel

Moser, H. (1995). *Grundlagen der Praxisforschung.* Freiburg i.B.: Lambertus

Muckenfuß, H. (2003). *Themen oder Kontexte als Strukturelemente des naturwissenschaftlichen Unterrichts.* PLUS LUCIS (2003) 2, 4-10

Mulford, D. R.; Robinson, W. R. (2002). *An Inventory for Alternate Conceptions among First-Semester General Chemistry Students.* Journal of Chemical Education 79(2002)6, 739-744.

Mühlhausen, U. (1994). *Überraschungen im Unterricht – Situative Unterrichtsplanung.* Weinheim: Beltz

Müller, E. P. (1983). *Offener Unterricht – eine neue Utopie?* Lehrerjournal 51 (1983) 4, 146-152

Müller, A. (2013). *Entwicklung logisch-mathematischen Denkens.* MNU 66 (2013) 5, 260-264

Müller, A. (2014). *Eigene Ziele – eigenes Tempo.* Friedrich Jahresheft 2014, 119-122 München: Olzog.

Münzinger, W.; Frey, K. (Hrsg.) (1990). *Chemie in Projekten* (S. 11-27). Köln: Aulis

Murmann, L. (2008). *Phänomenographie und Didaktik.* Meyer, M. A.; Prenzel, M.; Hellekamps, S. (Hrsg.). Perspektiven der Didaktik. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 10 (2008) 8, 188-199

Musil, R. (2019). *Über die Dummheit.* Stuttgart: Reclam

Nachreiner, K.; Spangler, M.; Neuhaus, B. J. (2015). *Begründung eines an Basiskonzepten orientierten Unterrichts.* MNU 68 (2015) 3, 172-177

Nagy, G.; Trautwein, U.; Maaz, K. (2012). *Fähigkeits- und Interessenprofile am Ende der sekundarstufe I: Struktur, Spezifikation und Zusammenhang mit Gymnasialzweigwahlen.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 26 (2012) 2, 79-99

National Research Council (NRC) (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning.* Washington, DC: The National Academies Press

Nazlic, T.; Frey, D. (2009). *Psychologie des Erfolgs.* Gehirn und Geist (2009) 3, 34-41

Neber, H. (1975). *Fragen und kognitives Lernen.* Bildung und Erziehung 28 (1975) 297-305.

Neber, H. (1988). *Elemente entdeckenden Lernens.* Z.f.Heilpädagogik (1988) 14,59-64

Neber, H. (1993). *Training der Wissensnutzung als objektgenerierende Instruktion.* Klauer, K.J. (Hrsg.) (1993/4). Kognitives Training (S. 217-243). Göttingen: Hogrefe

Neber, H. (1996). *Psychologische Prozesse und Möglichkeiten zur Steuerung remedialen Lernens.* Weinert, F. E. (Hrsg.). Psychologie des Lernens und der Instruktion (403-443). Göttingen: Hogrefe

- Neber, H. (1999).** *Aktives Lernen durch epistemisches Fragen: Generieren versus Kontrollieren im Kontext des Geschichtsunterrichts.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 13, 212-223.
- Neber, H. (2000).** *Nutzbare Wissen durch konditionalisierte und funktionalisierte technische Erklärungen: Rezeptives Lernen oder Entdecken durch Generieren?* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 14, 125-137
- Neber, H. (2001).** *Begabtenförderung – Begründungen, Ziele, Richtungen.* Schriftenreihe der Sächsischen Akademie für Lehrerfortbildung
- Neber, H. (2004a).** *Entdeckendes Lernen durch Experimentieren im Chemieunterricht.* Beitrag zur Bundeskonferenz für Schulpsychologie, Nürnberg.
- Neber, H. (2004b).** *Förderung epistemischen Fragens im Religionsunterricht.* Unterrichtswissenschaft 32(2004)4, 308-320.
- Neber, H. (2006a).** *Entdeckendes Lernen.* Rost, D. A. (Hrsg.) (2006). Handwörterbuch Pädagogische Psychologie. Weinheim
- Neber, H. (2006b).** *Fragenstellen.* Mandl, H.; Friedrich, H. F. (Hrsg.). Handbuch Lernstrategien (S. 50-58). Göttingen: Hogrefe.
- Neber, H. (2007a).** *Entdeckung, Erfahrungsorientierung und Problemlösen.* Standop, J.; Jürgens, E. (Hrsg.) Taschenbuch Grundschule. Hohengehren: Schneider.
- Neber, H. (2007b).** *Problemlösen.* Arnold, K.-H.; Sandfuchs, U.; Wiechmann, J.: Handbuch Unterricht. Bad Heilbronn: Klinkhardt
- Neber, H. (2008).** *Epistemic Questions: Fostering Knowledge-Generation by the Students.* The Korean Journal of Thinking & Problem Solving 18 (2008) 1, 7-20.
- Neber, H. (2010).** *Entdeckendes Lernen.* Rost, D. A. (Ed.) Handwörterbuch Pädagogische Psychologie, S. 124-132. Weinheim: Beltz
- Neber, H.; Anton, M. A. (2008a).** *Promoting Pre-experimental Activities in High-school Chemistry: Focusing on the role of students' epistemic questions.* International Journal of Science Education 30(2008)13, 1801-1821.
- Neber, H.; Anton, M. A. (2008b).** *Förderung präexperimenteller epistemischer Aktivitäten im Chemieunterricht.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 22 (2008) 2, 143-150.
- Neill, A. S. (1969).** *Theorie und Praxis der antiautoritären Erziehung – Das Beispiel Summerhill.* Amburg: Rowohlt
- Nentwig, P.; Parchmann, I.; Demuth, R.; Gräsel, C.; Ralle, B. (2005).** *Chemie im Kontext – From situated learning in relevant contexts to systematic development of basic chemical concepts.*
- Nentwig, P.; Waddington, D. (Eds.) (2005).** *Making it relevant – Context based learning of science* (S. 155-173). Münster: Waxmann.
- Nestler, E. (2013).** *Ins Erbgut eingebrannt.* Gehirn&Geist (2013) 11, 72-75
- Neubauer, A.; Stern, E. (2007).** *Lernen macht intelligent.* München: DVA
- Heuhaus-Siemon, E. (1988).** *Geschlossener und offener Unterricht.* BLLV (Hrsg.). Studienhelfer 6 Manuskript zum Vortrag am 15.10.1988 auf dem ersten oberbayerischen Grundschultag in Markt Schwaben (2. Teil des Vortrags: Päd. Welt 43 (1988) 9, 406-411)
- Neumann, K.; Parchmann, I. (2016).** *Learning Progressions – Einführung in das Symposium.* Maurer, C. (Hrsg.). Tagungsband zur GDGP Tagung 2015, Berlin (S. 220-222). http://www.gdcp.de/images/tb2016/TB2016_220_Parchmann.pdf
- Neuweg, G. H. (2000).** *Mehr lernen, als man sagen kann: Konzepte und didaktische Perspektiven impliziten Lernens.* Unterrichtswissenschaft 28 (2000) 3, 197-217
- Neuweg, G. H. (2002).** *Lehrerhandeln und Lehrerbildung im Lichte des Konzepts des impliziten Wissens.* Zeitschrift für Pädagogik 48 (2002) 1, 10-29

- Neuweg, G. H. (2015).** *Evidenzbasierte Lehrerbildung.* journal für lehrerInnenbildung 15 (2015) 4, 54-58
- Nguyen-Kim, Mai Thi (2019).** *Komisch, alles chemisch!* München: Droemer
- Nickel, H. (2017).** *Fehler sind Helfer – Über den Einsatz von Fehlersuchbildern im Chemieunterricht.* Chemie&Schule 32 (2017) 3, 9-12
- Nickel, H. (2018).** *Fehlersuchbilder als Mittel zum konzentrierten Reflektieren - Teil 4: Destillation eines Ethano-Wasser-Gemisches.* Chemie&Schule 33 (2018) 3, 19-24
- Nida-Rümelin, J. (2013).** *Philosophie einer humanen Bildung.* Hamburg: edition Körber-Stiftung
- Nida-Rümelin, J. (2020).** *Die gefährdete Rationalität der Demokratie – Ein politisches Traktat.* Hamburg: Edition Körber
- Nida-Rümelin, J.; Weidenfeld, N. (2018).** *Digitaler Humanismus – Eine Ethik für das Zeitalter der Künstlichen Intelligenz.* München: Piper
- Niegemann, H. (2001).** *Hat noch jemand eine Frage? Systematische Unterrichtsbeobachtung zu Häufigkeit und kognitivem Niveau von Fragen im Unterricht.* Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 2, 171-192.
- Niegemann, H. (2004).** *Lernen und Fragen: Bilanz und Perspektiven der Forschung.* Unterrichtswissenschaft 32 (2004) 4, 345-356.
- Niegemann, H.; Stadler, S. (2001).** *Hat noch jemand eine Frage? Systematische Unterrichtsbeobachtung zu Häufigkeit und kognitivem Niveau von Fragen im Unterricht.* Unterrichtswissenschaft 29 (2001) 2, 171-192
- Niegemann, H. M.; Domagk, S.; Hessel, S.; Hein, A.; Hupfer, M.; Zobel, A. (2008).** *Kompendium multimediales Lernen.* Berlin: Springer
- Nieswandt, M. (1998).** *Lernen im Chemieunterricht durch eigenständiges Schreiben. Fallanalysen.* ZfDN 4 (1998) 2, 21-39
- Nietzsche, F. (1967).** *Vom Nutzen und Nachteil der Historie.* Stuttgart: Reclam
- Nisbett, R. E. (2009).** *Intelligence and how to get it.* New York: Norton
- Nitsche, S.; Dickhäuser, O.; Dresel, M.; Fasching, M. S. (2013).** *Zielorientierungen von Lehrkräften als Prädiktoren lernrelevanten Verhaltens.* Z. Pädagog. Psychol. 27 (2013) 1/2, 95-103
- NiU-Ch 20(2009)5, 35-39.**
- Noack, K. (1892).** *Leitfaden für physikalische Schülerübungen.* Berlin.
- Nonnenmacher, F. (2000).** *Praxisbezug in der Lehrerbildung.* PÄD Forum (2000) 8, 330-335
- Nordine, J. (2017).** *Teaching Science With Coherence.* IPN-Journal 1 (2017) 1, 12-16
- Nord-Rüdiger, D. (1993).** *Bewältigung sozial-emotionaler Belastungen im Schulalltag FLASH – Ein Selbsthilfe-Programm für Lehrer.* Zeitschrift für internationale erziehungs- und sozialwissenschaftliche Forschung 10 (1993) 2, 289-297
- Nørretranders, T. (1997).** *Spüre die Welt.* Reinbeck: Rowohlt
- NutHall, G. (2000).** *The Anatomy of Memory in the Classroom: Understanding How Students Acquire Memory Processes from Classroom Activities in Science and Social Units.* American Educational Research Journal 37 (2000) 247-304
- Obst, H. (1997).** *Fächerübergreifender Unterricht.* NiU-C 8 (1997) 40, 4-7
- Odau, S.; Ehmke, T.; Czerwenka, K. (2015).** *Förderung von Hauptschülerinnen und Hauptschülern über die Sommerferien zur Vorbereitung auf den Übergang von der Schule in den Beruf.* Unterrichtswissenschaft 43 (2015) 4, 336-353
- Oelkers, J. (1998).** *Über die Wirksamkeit der heutigen Lehrerbildung.* PÄD Forum (1998) 2, 47-57

- Oelkers, J. (2006).** *Wie lernt man den Beruf.* Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft: Wirtschaft & Wissenschaft 1, 44-55.
- Oellers, M. (2014).** *Voll aggro! – Warum Kinder immer aggressiver werden und was wir dagegen tun können.* München: Piper
- Oelze, H. (1999).** *Dem Lernen auf der Spur.* Lernende Schule 2 (1999) 7, 1
- Oerter, R. (2000).** *Implizites Lernen beim Sprechen, Lesen und Schreiben.* Unterrichtswissenschaft 28(2000) 3, 239-256
- Oerter, R. (2001).** *Was können Kinder und Jugendliche? Was können sie verantworten?* Oerter, R.; Höfling, S. (Hrsg.) (2001). *Mitwirkung und Teilhabe von Kindern und Jugendlichen.* München: Hanns-Seidel-Stiftung.
- Oerter, R. (2005).** *Lernen und Verstehen: Barrieren und ihre Überwindung, Teil 1.* BLLV-Beihefter (2005) 4, I-IV
- Oerter, R. (2005).** *Lernen und Verstehen: Barrieren und ihre Überwindung, Teil 2.* BLLV-Beihefter (2005) 5, I-IV
- Oesterheld, D. (1998).** „Werkstatt-Unterricht“ –mehr lernen durch weniger Belehren? PÄDForum (1998) 6, 256-257
- Öxler, F. K. (2010).** *Vom tragbaren Labor zum Chemiebaukasten.* Stuttgart: WWG
- Ofenbach, B. (1998).** *Lehrerbildung zwischen Provinzialität und Globalität* Rudolf Lassahn zum 70. Geburtstag. Frankfurt a. M.
- Öhding, N. et al. (2008).** *Selbstständiges Arbeiten im Chemie-Experimentalunterricht.* MNU 61(2008)7, 433-437.
- Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (özbfb) (Hrsg.) (2017).** *Wege in die Begabungsförderung.* Salzburg
- Oehlhaber, F.; Wernet, A. (Hrsg.) (1999).** *Schulforschung Fallanalyse Lehrerbildung.* Opladen: Leske+budrich
- Ophuysen, S. v. (2008).** *Zur Veränderung der Schulfreude von Klasse 4 bis 7 – Eine Längsschnittanalyse schulformspezifischer Effekte von Ferien und Grundschulübergang.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 22 (2008) 3-4, 293-306
- Ortega y Gasset, J. (1940?).** *Signale unserer Zeit.* Zürich: Buchclub Ex Libris
- Osborn, A. (1953).** *Applied imagination.* New York: Charles Scribner's Sons
- Oser, F. K.; Patry, J.-L. (1990).** *Choreographien unterrichtlichen Lernens, Basismodelle des Unterrichts.* Berichte zur Erziehungswissenschaft Nr. 89. PI Universität Freiburg (CH)
- Oser, F.; Sarasin, S. (1995).** *Basismodelle des Unterrichts: Von der Sequenzierung als Lernerleichterung.* Uni Potsdam
- Oser, F. K.; Patry, J.-L.; Elsässer, T.; Sarasin, S.; Wagner, B. (1997).** *Choreographien unterrichtlichen Lernens. Schlussbereich an den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.* Freiburg: Päd. Institut der Universität Freiburg
- Oser, F. K.; Baeriswyl, F. J. (2001).** *Choreographies of teaching. Bridging instruction to learning.* Richardson, V. (Ed). (2001). *AERA's Handbook of Research on Teaching.* Washington: American Educational Research Association
- Ostwinkel, C.; Raufeisen, J.; Ortlieb, D. (2015).** *NaWiLab – Die App für den forschend-entwickelnden Unterricht.* MNU 68 (2015) 6, 351-356
- Oswald, F.; Weilguny, W. M. (2005).** *Schulentwicklung durch Begabungs- und Begabtenförderung – Impulse zu einer begabungsfreundlichen Lernkultur.* Salzburg: Österreichisches Zentrum für Begabtenförderung und Begabungsforschung (ÖZBF)
- Oswald, P.; Schulz-Benesch, G. (Hrsg.)(1996).** *Montessori, M. Die Entdeckung des Kindes.* Freiburg
- Otero, J.; Ishiwa, K.; Caldeira, M. H.; Macias, A.; Maturano, C.; Sanjosé, V. (2004).** *Question Asking on Scientific Texts.* Manuskript zum Vortrag beim "1st International

Seminar on Research on Questioning" an der Universidade de Aveiro (17.-20.11.2004)

Paeschke, D.; Anton, M. A. (2016). „Was hat Chemieunterricht mit Imagepflege zu tun?“ Chemie&Schule 31(2016) 3, 20-22

Paivio, A. (1986). *Mental representations. A dual coding approach.* New York: Oxford University Press

Paland, H. (2008). *Zum Verhältnis von Didaktik und Methodik im Chemieunterricht.* PdN-ChiS 57 (2008) 6, 36-39

Parchmann, I.; Demuth, R., Ralle, B.; Huntemann, H. (2001). *Chemie im Kontext – Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten.* PdN-ChiS 50 (2001) 1, 2-7

Parchmann, I.; Bernholt, S. (2014). *Energieverständnis fördern, im Großen wie im Kleinen – Studien aus der Chemieabteilung.* IPN-Blätter 31 (2014) 2, 5

Parchmann, I.; Lühken, A.; Haucke, K.; Pietzner, V. (2014). *Chemie als Beruf – Chemie in Berufen – Vielfalt chemischer Perspektiven zur Berufsorientierung.* NiU-Ch 26 (2014) 140, 2-6

Paseka, A.; Schritteser, I. (2011). *Pfade der Professionalisierung – Roads (not) Taken.* Journal für lehrerinnen- und lehrerbildung 11 (2011) 2, 5-10

Patry, J.-L. (2016). *Thesen zur konstruktivistischen Didaktik.* journal für lehrerinnenbildung 16 (2016) 2, 9-17

Paul, J. (1806/1963). *Levana oder Erziehlehre.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt

Paulus, J. (2003). *Neurodidaktik – Lernrezepte aus dem Hirnlabor.* Die Zeit (2003)38

Pawlak, F.; Groß, K. (2021). *Einsatz von Schülerexperimenten im inklusiven Chemieunterricht – Chancen und Herausforderungen aus Sicht der Chemielehrenden.* ChemKon 28 (2021) 1, 96-102

Pedrosa de Jesus, H.; Watts, M. (2003). *Questions of Chemistry.* International Journal of Science Education 25 (2003) 8, 1015-1034.

Pease, A.& B. (2020). *Das grosse Buch der Körpersprache.* München: Anaconda

Peleg, R.; Dittmar, J.; Katchevich, D.; Yayon, M.; Mamlok-Naaman, R.; Eilks, I. (2015). *TEMI – Forschendes Lernen mit Mysteries.* PdN-ChiS 64 (2015) 6, 14-17

Perner, J. (1991). *Understanding the representational mind.* Cambridge: MIT Press

Peters, O. (1973). *Soziale Interaktion in der Schulklassse.* Ingenkamp, K. (Hrsg.). *Lehrer und soziale Interaktion in der Unterrichtsforschung* (S. 99-187). Weinheim: Beltz

Petermann, K.; Friedrich, J.; Oetken, M. (2008). „Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren“ *Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht.* ChemKon 15 (2008) 3, 110-118

Peterßen, W. H. (1999). *Kleines Methoden-Lexikon.* München, Oldenbourg

Piaget, J. (1969). *Das Erwachen der Intelligenz im Kinde.* München: dtv

Piaget, J. (1973). *Memory and intelligence.* New York: Basic Books

Pieper, H.; Wöhlk, D. (1993). *Annäherung an offenen Unterricht.* NiU-Ph (1993) 4, 26-29

Pietsch, S.; Barke, H.-D.) (2014). „Male Dein Bild zur Chemie“ - *Wie Jugendliche die Chemie sehen.* ChiuZ 48 (2104) 4, 312-316

Pietsch, A. (2017). *Muss ich in Chemie auch noch Deutsch unterrichten?* Chemie&Schule 32 (2017) 2, 10-12

Pietsch, A. (2021). *Sprachbewusst „lösen“ – Experimente zum Thema Löslichkeit für die Sekundarstufe 1.* Chemie&Schule 36 (2021) 2, 20-27

Pietschmann, C. (2023). *Navi im Kopf.* Max Planck Forschung (2023) 3, 22-27

- Pietschmann, H. (2005).** *Wie viel naturwissenschaftliche Bildung braucht der Mensch?* Pluslucis (2005) 1/2, 2-4.
- Pior, R. (1998).** *Selbstkonzepte von Vorschulkindern.* Münster: Waxmann
- Podszun, R. (2003).** *Unsere Experten von morgen.* P.M. (2003)11, 58
- Poelchau, S. (1997).** *Hoch hinaus – Intelligenz fördern und trainieren.* TR-Verlagsunion. Trau keinem über 130 (S. 25-34). Manuskript zur Hörfunkreihe des Bayerischen Rundfunks München
- Pöppel, E. (2000).** Vortragsmanuskript (b. Verf.)
- Pöppel, E.; Wagner, B. (2012).** *Je älter, desto besser – Überraschende Erkenntnisse aus der Hirnforschung.* München: Goldmann
- Polák, V. (1996).** *Einige Überlegungen zu einem veränderten Lernverständnis.* Landesinstitut für Schule und Weiterbildung (Hrsg.). Akademiebericht 37. Soest
- Polanyi, M. (1958).** *Personal Knowledge. Towards a Post Critical Philosophy.* Chicago: The University of Chicago Press
- Pólya, G. (1945).** *How to Solve It.* Princeton University Press
- Popham, W. J. (2008).** *Transformative Assessment.* Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development
- Posch, P. (2018).** *Learning Studies – eine Herausforderung für die Fachdidaktik.* Posch, P.; Rauch, F.; Zehetmeier, S. (Hrsg.). *Das Lernen von Lehrerinnen und Lehrern, Organisationen und Systemen* (S. 21-35). Münster: Waxmann
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W.; Gertzog, W. A. (1982).** *Accommodation of a scientific conception: Towards a theory of conceptual change.* Science Education 66 (1982) 2, 211 – 227
- Postman, N. (1995).** *Keine Götter mehr.* Berlin
- Pousset, Y. (2013).** *Die Betonung des alltagsorientierten Unterrichts – Eine Untersuchung am naturwissenschaftlich-technologischen Gymnasium.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2013
- Precht, R. D. (2018).** *Jäger, Hirten, Kritiker.* München: Goldmann
- Precht, R. D. (2020).** *Künstliche Intelligenz und der Sinn des Lebens.* München: Goldmann
- Prediger, S.; Link, M.; Hinz, R.; Hussmann, S.; Ralle, B.; Thiele, J. (2012).** *Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen – Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell.* MNU 65 (2012) 8, 452-457
- Preiser, S. (2010).** *Förderung von Kreativität.* Huber, G. L. (Hrsg.). Enzyklopädie Erziehungswissenschaft Online (EEO). Fachgebiet Pädagogische Psychologie, Konstruktion und Evaluation von Lernumwelten. Weinheim: Juventa (www.erzwissonline.de)
- Preller, C.; Böhm, M.; Wagner, W. (2015).** *„Operatoren zu Kompetenz- und Anforderungsbereiche“.* Auszüge aus Master-Arbeiten der Chemiedidaktik der Universität Bayreuth.
- Prenner, E. (2023).** *Die Inhalte des Lehrplans und die Motiviertheit der Schüler*innen im Unterrichtsfach Chemie in der Sekundarstufe I. – Didaktische und mathetische Herausforderungen an eine angepasste Jahresplanung.* Master-Arbeit am Institut für Didaktik der Chemie (IDC), Uni Wien
- Prenzel, M. (1994).** *Mit Interesse in das 3. Jahrtausend! Pädagogische Überlegungen.* Seibert, N.; Serve, H. J. (Hrsg.). *Erziehung und Bildung an der Schwelle zum dritten Jahrtausend* (S. 1314-1339). München: PimS-Verlag
- Prenzel, M. (2001).** *Untersuchungen zur naturwissenschaftlichen Grundbildung im OECD Programme for International Student Assessment (PISA).* Weitze, M.-D. (Hrsg.).

Public Understanding of Science im deutschsprachigen Raum: Die Rolle der Museen (S.49-61). Deutsches Museum: München

Prenzel, M. et al. (2006). *PISA 2003. Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres (Zusammenfassung)*. Sonderdruck zur Präsentation der Ergebnisse bei der Fachtagung der KMK „PISA 2003-I plus (Längsschnitt): Untersuchungen ... am 17.11.2006 in Berlin.

Prenzel, M. et al. (Hrsg.) (2008). *PISA 2006 in Deutschland – Die Kompetenzen der Jugendlichen im dritten Ländervergleich*. Zusammenfassung. www.kmk.org.

Prenzel, M. et al. (Hrsg.) (2006). *PISA 2003 – Untersuchungen zur Kompetenzentwicklung im Verlauf eines Schuljahres – Zsfg aus Waxman*

Pressley, M.; Borkowski, J. G.; Schneider, W. (1989). *Good Information Processing. What it is and how education can promote it*. *Journal of Educational Research* 2 (1989) 857-867

Price, C. et al. (2011): Sue Ramsden, Fiona M. Richardson, Goulven Josse, Michael S. Rau, M. A. (2017). Rau, M. A.; Aleven, V.; RummC. Thomas, Caroline Ellis, Clare Shakeshaft, Mohamed L. Seghier, Cathy J. **Price** (2011) Verbal and non-verbal intelligence changes in the teenage brain. *Nature*, Published online 19. Oktober 2011

Priemer, B.; Kirchner, S. (2008). *Welche Kenntnisse haben Schüler, um Experimente selber zu entwerfen?* GDGP-Tagungsband 2008, S. 296-298. Münster: Lit

Priemer, B. (2006). *Deutschsprachige Verfahren der Erfassung von epistemologischen Überzeugungen*. *ZfDN* 12 (2006) 159-175

Priemer, B. (2011). *Was ist das Offene beim offenen Experimentieren?* *ZfDN* 17 (2011) 315-337

Priesemann, G. (1971). *Zur Theorie der Unterrichtssprache*. Düsseldorf: Schwann

Pringle, H. (2013). *Die Geburt der Kreativität*. *Spektrum d. Wissenschaft* (2013) 6, 23-29

Pröll, O. (1912). *Über obligatorische Schülerübungen als Grundlage des Chemieunterrichts auf der Oberstufe der Realanstalten*. Programmabhandlung 1912 der Oberrealschule St. Georg zu Hamburg.

Procter, R. N. (2007). *Tabakfreie Zone – Deutschlands Schwierigkeit mit dem Nichtrauchen*. *SZ* v. 2.1.2007, S. 11

Prokoph, K. (1997). *Entstehung und Veränderung von Stoffen in der Natur*. *NiU-C* 8 (1997) 40, 46-48

Prondcynsky, A. v. (1998). *Universität und Lehrerbildung?* *Z. f. Päd.* 44 (1998) 1, 61-82

Puchinger, I.; Anton, M. A. (2016). *Hoher Aufwand lohnt sich – bei guter didaktischer Aufbereitung – Die Rolle vernetzter Lernorte für die Entwicklung didaktischer Kompetenzen von Lehramtsstudierenden*. *CLB* 67 (2016) 9, 392-399

Pütz, N.; Mülhausen, J.; Behrens, P. (2015). *Spannend, packend, mysteriös – das Mystery*. *MNU* 68 (2015) 2, 114-117

Pütz, N. et al. (2016). *„Das ist doch nur ein Nebenfach!“*. *MNU* (2016) 1, 4-8

Punk; A.; Anton, M. A. (2010). *Portfolio*. *PdN-ChiS* 59(2010)3, 39-41.

Quintana, C.; Zhang, M.; Krajcik, J. (2005). *A Framework for Supporting Metacognitive Aspects of Online Inquiry Through Software-Based Scaffolding*. *Educational Psychologist* (2005) 235-244.

Quiroga, R. Q.; Fried, I.; Koch, C. (2013). *Wie das Gehirn die Großmutter erkennt*. *Spektrum der Wissenschaft* (2013) 3, 28-33

Rakoczy, K.; Klieme, E.; Drollinger-Vetter, B.; Lipowsky, F.; Pauli, C.; Reusser, K. (2007). *Structure as a quality feature in mathematics instruction*. Prenzel, M. (Hrsg.). *Studies on the educational quality of schools* (S. 101-120). Münster: Waxmann

Ralle, S.; Prediger, S.; Hammann, M.; Rothgangel, M. (Hrsg.) (2014). *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen – Ergebnisse und Perspektiven fachdidaktischer Forschung.* Münster: Waxmann

Ram, P. (1999). *Problem-Based Learning in Undergraduate Education.* Journal of Chemical Education 76, 8, 1122-1126

Rampillon, U. (1996). *Schüler beurteilen sich selbst – Ein Zugang zum selbstgesteuerten Lernen.* Friedrich Jahresheft 1996, S. 38-39

Ramseger, J. (1977). *Offener Unterricht in der Erprobung. Erfahrungen mit einem didaktischen Modell.* München:

Randler, C.; Ekler, S.; Tempel, B. J.; Rehm, M. (2015). *Missachtete Aspekte der Experimentierkompetenz.* MNU 68 (2015) 5, 260-264

Rapp, G. (1982). *Aufmerksamkeit und Konzentration: Erklärungsmodelle – Störungen-Handlungsmöglichkeiten.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt

Rasfeld, M. (2022) *Frei Day – Die Welt verändern lernen! Für eine Schule im Aufbruch.* München: oekom

Rau, M. A. (2017). *Conditions for the Effectiveness of Multiple Visual Representations in Enhancing STEM Learning.* Edu. Psychol. Rev. 29 (2017) 717-761

Rau, M. A.; Aleven, V.; Rummel, N. (2015). *Successful Learning With Multiple Graphical Representations and Self-Explanation Prompts.* Journal of Educational Psychology 107 (2015) 1, 30-46

Rauber, D.; Huwer, J.; Natter, H.; Hempelmann, R. (2018). *Nachhaltige Chemie mit Ionischen Flüssigkeiten für Schule und Schülerlabor.* Berlin: LernortLabor

Rautenstrauch, H.; Busker, M. (2021). *Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht und Fachunterricht Chemie im Vergleich – Eine Studie zu Schülerinteressen und fachinhaltsbezogenen Selbstwirksamkeitserwartungen.* ChemKon 28 (2021) 1, 6-16

Read, J. R. (2004). *Children's Misconceptions and Conceptual Change in Science Education.* Available from <http://acell.chem.usyd.edu.au/Conceptual-Change.cfm>

Rechter, Y. (2011). *Bedeutung individueller Lernförderung als Unterstützung schulischen Lernens. Einfluss auf die Selbstwirksamkeitserwartung, die Einschätzung der Lernfreude und die fachliche Leistung von Schülerinnen und Schüler in der Grundschule.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt

Regelein, S. (1997). *So läuft Ihr Unterricht. Der Ratgeber von A bis Z für die Unterrichtspraxis.* München

Reheis, F. (2001). *Ich bin doch noch nicht fertig!* PÄD Forum (2001) 2, 70-72

Reheis, F. (2015). *Unterricht als Resonanzgeschehen.* Bayerische schule 68 (2015) 2, 22-37

Reich, K. (2004). *Konstruktivistische Didaktik. Lehren und Lernen in interaktionistischer Sicht.* München: Luchterhand.

Reich, K. (2014). *Inklusive Didaktik – Bausteine für eine inklusive Schule.* Weinheim: Beltz

Reichholf, J. H. (2008). *Stabile Ungleichgewichte – Die Ökologie der Zukunft.* Frankfurt: Edition unseld, Suhrkamp.

Reid, D. J.; Zhang, J.; Chen, Q. (2003). *Supporting scientific discovery learning in a simulation environment.* Journal of Computer Assisted Learning 19(2003) 9-20.

Reid, N. (2008). *A scientific approach to the teaching of chemistry.* Chemistry Education Research and Practice (2008)9, 51-59.

- Reid, M. K.; Borkowski, J. G. (1987).** *Causal attributions of hyperactive children: Implications for training strategies and self-control.* Journal of Educational Psychology 76 (1987) 225-235
- Reinberger, S. (2016).** *Erst reden, dann denken.* MaxPlanckForschung (2016) 1, 26-33
- Reindl, W.; Binder, J. (2000).** *Offene Lernformen im PC-Unterricht.* PLUS LUCIS (2000) 2, 7-13
- Reiners, Ch. S. (1989).** *Die Bindung in Koordinationsverbindungen – Erkenntnistheoretische und lernpsychologische Merkmale der Modellmethode.* Essen: Westarp
- Reiners, Ch. S. (1989).** *Ziele einer didaktischen Konzeption.* Reiners, Ch., S.; Wambach H. (Hrsg.). Chemiedidaktik in der Unterrichtspraxis - Festschrift für Hans Otto Hammer (S. 13-32). Essen: Westarp
- Reiners, Ch. S. (1996).** *Von der Stoffsystematik zu systemischen Aspekten der Naturwissenschaft Chemie.- Zur Konzeption eines Praktikums für Lehramtskandidatinnen und -kandidaten, das zu komplexem Denken und entsprechend differenziertem Urteil hinführen soll.* ZfDN 2 (1996) 1, 11-20
- Reiners, Ch. S. (1994).** *Zur Konzeption einer methodologisch-kritischen Chemiedidaktik.* Würzburg: Königshausen und Neumann.
- Reiners, Ch. S. (1999).** *Die Konstanz der Phänomene und der Wandel ihrer Deutung.* ChemKon 6(1999)2, 67-74.
- Reiners, Ch. S. (2000).** *Chemiedidaktik – Quo vadis?* Chemkon 7 (2000) 2, 91-92.
- Reiners, Ch. S. (2001).** *Wissenschaftstheoretische Grundbildung in der Lehramtsausbildung Teil 1.* PdN-ChiS 50 (2001) 5, 39-45; *Teil 2.* PdN-ChiS 50 (2001) 6, 31-37
- Reiners, Ch. S. (2003).** *Die chemische Bindung – Lernhindernisse und mögliche Lernhilfen.* ChemKon 10 (2003) 1, 17-22
- Reiners, Ch. S. (2017).** *Chemie vermitteln - Fachdidaktische Grundlagen und Implikationen.* Berlin: Springer
- Reiners, Ch. S.; Bruns, J. (2007).** *Auf dem Weg zu authentischen Lernumgebungen.* PdN-ChiS 56(2007)2, 44-49.
- Reiners, Ch. S.; Tausch, M. W. (2009).** *Curricula für das Lehramt Chemie an der Universität.* PdN-ChiS 58 (2009) 2, 29-31
- Reiners, Ch. S.; Meyer, M.; Schneider, A.; Schäbitz, F.; Struve, H. (2018).** *Zum Gebrauch der Begriffe Experiment, Theorie, Modell und Gesetz in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern.* CHEMKON 25 (2018) 8, 324-333
- Reinhard, M.A. (2013).** *Wer kann den Lügner entlarven? Need for Cognition und die Fähigkeit von Lehramtsstudierenden Wahrheit und Lüge zu erkennen.* Z. Pädagog. Psychol. 27(2013) 1/2, 63-75
- Reinmann, G. (2005).** *Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung.* Unterrichtswissenschaft 33 (2005) 1, 52-69
- Reinmann-Rothmeier, G.; Mandl, H. (1996).** *Lernen auf der Basis des Konstruktivismus.* Computer und Unterricht 23 (1996) 41-44
- Reinmann-Rothmeier, G.; H. Mandl (1999).** *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten* (überarb. Fassung); Forschungsbericht 60 des LS für Empirische Päd. und Päd. Psychologie, LMU München
- Reinmann-Rothmeier, G.; Mandl, H. (2001):** *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten.* Krapp, A. und Weidenmann, B. (Hrsg.) (2001). Pädagogische Psychologie (S. 601-646). München: Beltz

- Reis, S. M.; Renzulli, J. S. (2009).** *Myth 1: The Gifted and Talented Constitute One Single Homogeneous Group Is a Way of Being That Stays in the Person Over Time and Experience.* *Gifted Child Quarterly* 53 (2009) 4, 233-235
- Reiter, M. (2014).** *Sag's einfach! Gehirn & Geist* (2014) 1&2, 62-67
- Reitinger, J. (2013).** *Forschendes Lernen – Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements.* Immenhausen: Prolog
- Reitmayer, V. (1989).** *Fördereinrichtungen für besonders begabte Schülerinnen und Schüler.* ISB (Hrsg.) *Förderung besonderer Schülergruppen in Bayern* (S. 69-110). München: Ehrenwirth
- Rekus, J. (1993).** *Bildung und Moral.* Weinheim
- Remenyi, C.; Anton, M.; Parchmann, I.; Wormer, H. (2017).** *Chemiekommunikation: Didaktik und Wissenschaftsjournalismus im Gespräch.* Waitze, M.-D.; Schummer, J.; Geelhaar, T. (Hrsg.) (2017). *Zwischen Faszination und Verteufelung: Chemie in der Gesellschaft* (S. 113-119). Berlin: Springer
- Renkl, A. (1997).** *Lernen durch Lehren – Zentrale Wirkmechanismen beim kooperativen Lernen.* Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag
- Renkl, A. (1997).** *Lernen durch Lehren.* Wiesbaden
- Renkl, A. (2011a).** *Aktives Lernen = gutes Lernen? Reflektion zu einer (zu) einfachen Gleichung.* *Unterrichtswissenschaft* 39 (2011) 3, 194-196
- Renkl, A. (2011b).** *Aktives Lernen: Von sinnvollen und weniger sinnvollen theoretischen Perspektiven zu einem schillernden Konstrukt.* *Unterrichtswissenschaft* 39 (2011) 3, 197-211
- Renkl, A. (2014).** *Lernaufgaben zum Erwerb prinzipienbasierter Fertigkeiten: Lernende nicht nur aktivieren, sondern aufs Wesentliche fokussieren.* Ralle, B.; Prediger, S.; Hammann, M.; Rothgangel, M. (Hrsg.) (2014). *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen – Ergebnisse und Perspektiven fachdidaktischer Forschung* (S. 12-22). Münster: Waxmann
- Renkl, A. (2016).** *Multiple Ziele: Warum Lernende oft (zu) viel beachten müssen und wie Lehrende damit umgehen können.* *Unterrichtswissenschaft* 44 (2016) 3, 239-251
- Renkl, A. (2022).** *Meta-analyses as a privileged information source for informing teachers' practice? A plea for theories as primus inter pares.* *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 36 (2022) 4, 217-231
(online first) <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000345>
- Rentzsch, W.; Grois, G. (2010).** *Science im Kindergarten – Die Umsetzung einer Idee.* *Chemie & Schule* 25(2010)3, 12-15.
- Renzulli, J. S. (1978).** *What makes giftedness? Reexamining a definition.* *Phi Delta Kappan* 60 (1978) 180-184, 261
- Resch, C. (2012).** *Die Genom-Umwelt-Debatte – Eine Zusammenfassung wissenschaftlicher Erkenntnisse.* *özbF-News & Science - Begabtenförderung und Begabungsforschung* 32 (2012) 3, 10-16
- Ressel, C. (2008).** *Beispiele für die praktische Realisierung eines Pluskurses Chemie.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2008.
- Reusser, K.; Reuser-Weyeneth, M. (1994).** *Verstehen als psychologischer Prozess und als didaktische Aufgabe. Einführung und Überblick.* Reusser, K.; Weyeneth, M. (Hrsg.). *Verstehen – Psychologischer Prozess und didaktische Aufgabe* (S. 9-35). Bern: Huber
- Reusser, K. (2001).** *Co-constructivism in Educational Theory and Practice.* *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (S. 2058-2062). Elsevier Science Ltd.

- Reusser, K. (2016).** *Jenseits der Beliebigkeit – “Konstruktivistische Didaktik” auf dem Prüfstand der empirischen Unterrichtsforschung.* Journal für Lehrerinnenbildung 16 (2016) 2, 40-48
- Reusser, K.; Pauli, C. (2010).** *Unterrichtsgestaltung und Unterrichtsqualität – Ergebnisse einer internationalen und schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht. Einleitung und Überblick.* Reusser, K.; Pauli, C.; Waldis, M. (Hrsg.) (2010). Unterrichtsgestaltung und Unterrichtsqualität – Ergebnisse einer internationalen und schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht (S. 9-32). Münster: Waxmann
- Reusser, K.; Reusser-Weyeneth, M. (1994).** *Verstehen als Prozess und Bildungsaufgabe.* Als CD; www.didac.unizh.ch
- Reusser, K.; Reusser-Weyeneth, M. (Hrsg.) (1997).** *Verstehen – Psychologischer Prozess und didaktische Aufgabe.* Bern: Huber
- Reyer, Th. (2003).** *Oberflächenmerkmale und Tiefenstrukturen im Unterricht – Exemplarische Analysen im Physikunterricht der gymnasialen Sekundarstufe I.* Dissertation Universität Dortmund
- Rheinberg, F.; Fries, S. (1998).** *Förderung der Lernmotivation: Ansatzpunkte, Strategien und Effekte.* Psychologie in Erziehung und Unterricht 44 (1998) 3, 168-184
- Rheinberg, F. (1996).** *Von der Lernmotivation zur Lernleistung. Was liegt dazwischen?* Möller, J.; Köller, O. (Hrsg.) (1996). Emotionen, Kognitionen und Schulleistung (S. 23-52). Weinheim: PVU
- Rheinberg, F. (2007).** *Förderung realistischer Selbstvertrauens – Optimismus ist gut – realistischer Optimismus ist besser.* Schulmagazin 5 bis 10 (2007) 11, 9-12.
- Rickey, D.; Stacy, A. M. (2000).** *The role of Metacognition in Learning Chemistry.* JChemEd.chem.wisc.edu 77 (2000) 7, 915-920
- Riedel, E. (1999).** *Anorganische Chemie.* Berlin: W. de Gruyter
- Riedel, K. (1973).** *Lehrhilfen zum entdeckenden Lernen.* Hannover: Schroedel
- Rieder, O. (1968).** *Die Entwicklung des kindlichen Fragens.* München: E. Reinhardt-Verl.
- Riedl, R. (1996).** *Zur Einführung.* Riedl, R.; Delpo, M. (Hrsg.). Die Ursachen des Wachstums – Unsere Chancen zur Umkehr (S. 11-13). Wien: Kremayr & Scheriau
- Risse, E. (1999).** *Leistung und Qualitätssicherung im offenen Unterricht an Gymnasien.* Pädagogische Führung (1999) 1, 17-22
- Ritzer, U. (2014).** *Schreiben? Mit der Hand!* SZ v. 30./31.8.14, S. 23
- Rodriguez, A. J. (1993).** *A Dose of Reality: Understanding the Origin of the Theory/Practice Dichotomy in Teacher Education from the Students’ Point of View.* Journal of Teacher Education 44 (1993) 3, 213-222
- Roeder, P. M. (2002).** *Zwischen Wissenschaftsorientierung, Individualisierung und Öffnung des Unterrichts.* ZfPP 16 (2002) 1, 7-13
- Roedinger III, H. L.; Butler, A. (2010).** *The critical role of retrieval practice in long-term retention.* Trends in Cognitive Sciences (2010) 1-8
- Rogalla, M.; Vogt, F. (2008).** *Förderung adaptiver Lehrkompetenz: Eine Interventionsstudie.* Unterrichtswissenschaft 36 (2008) 1, 17-36
- Rolletschek, H. (2012).** *Vom Lehren zum Lernen.* BLLV (Hrsg.). „L“ wie Lernen in der Schule – Der moderne Lernbegriff in Theorie und Praxis – Praxisheft (S. 46-89). München: Domino
- Rolling, J. H. (2013).** *Arts-Based Research.* Frankfurt: Peter Lang
- Röhner, Ch.; Hövelbrinks, B. (Hrsg.) (2013).** *Fachbezogene Sprachförderung in Deutsch als Zweitsprache – Theoretische Konzepte und empirische Befunde zum Erwerb bildungssprachlicher Kompetenz.* Weinheim: Beltz

- Rösch, F. (2013).** *Förderung experimenteller Problemlösefähigkeit!? Welche Rolle spielen aktuelle Schulbücher und Lehrerhandreichungen?* MNU 66 (2013) 5, 299-305
- Rösch, H. (2013).** *Das Gedächtnis hinterlässt Spuren.* MaxPlanckForschung (2013) 1, 20-26
- Rolff, H.-G. (2015).** *Professionelle Lerngemeinschaften als Königsweg.* Rolff, H.-G. (Hrsg.). Handbuch Unterrichtsentwicklung (S. 564-575). Weinheim: Beltz
- Roloff Henoch, J. (2015).** *Wer wird Lehrkraft?* IPN Blätter 32 (2015) 1, 1-3
- Roos, M.; Leutwyler, B. (2011).** *Wissenschaftliches Arbeiten im Lehramtsstudium – Recherchieren, schreiben, forschen.* Bern: Huber
- Roos, M. (2020).** *Nur Geduld!* Max Planck Forschung (2020) 1, 66-70
- Ropohl, M.; Sumfleth, E.; Walpuski, M. (2014).** *Lehrpläne, Kerncurricula, Bildungspläne usw. – Gibt es seine Einheit in der Vielfalt inhaltlicher Vorgaben für das Fach Chemie?* CHEMKON 21 (2014) 1, 7-14
- Ropohl, M.; Rönnebeck, S.; Scheuermann, H. (2015).** *Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht.* PdN-ChiS 64 (2015) 6, 5-8
- Ropohl, M.; Schönau, K.; Parchmann, I. (2016).** *Welche Wünsche und Erwartungen haben Lehrkräfte an aktuelle Forschung als Gegenstand von Fortbildungsveranstaltungen? Ergebnisse einer Befragung im Rahmen des Fortbildungsprogramms „Transfer Wissenschaft – Schule“.* ChemKon 23 (2016) 1, 25-33
- Rosa, H.; Endres, W. (2016).** *Resonanzpädagogik – Wenn es im Klassenzimmer knistert.* Weinheim: Beltz
- Rosenshine, B.; Meister, C.; Chapman, S. (1996).** *Teaching Students to Generate Questions: A Review of the Intervention Studies.* Review of Educational Research 66(1996)2, 181-221.
- Ross, B., H. (1989).** *Reminders in learning and instruction.* Vosniadou, S.; Ortony, R. (Eds.). Similarity and analogical reasoning (438-469). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Ross, W. (1991).** *Der Schulmeister.* SZ v. 16./17.2.1991
- Ross, P. E. (2007).** *Wie Genies denken.* Spektrum der Wissenschaft (2007) 1, 36-43
- Rossa, E. (1992).** *Vom fremd- zum selbstbestimmten chemischen Experimentieren.* NiU-Chemie 14 (1992) 3, 12-15
- Roß, J. (2020).** *Bildung – Eine Anleitung.* Berlin: Rowohlt
- Rost, D. H. (Hrsg.) (1998).** *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie.* Beltz
- Rost, D. H. (2008).** *Hochbegabung – Fakten und Fiktionen.* G & G (2008) 3, 44-50
- Rötger, A. (2004).** *Chronos und Psyche – vom Zeitmaß des Denkens.* Max-Planck-Forschung (2004)1, 36-41.
- Roth, A.; Roth, H.-G. (1973).** *Die Elemente der Unterrichtsmethode.* München: List
- Roth, G. (2001).** *Fühlen, Denken, Handeln – Wie das Gehirn unser Verhalten steuert.* Frankfurt: Suhrkamp
- Roth, G. (2003).** *Warum sind Lehren und Lernen so schwierig?* Report 26 (2003) 3, 20-28 (https://www.die-bonn.de/esprid/dokumente/doc-2003/nuissl03_07.pdf#page=1)
- Roth, G. (2012).** *Psychologische und neurobiologische Grundlagen des Lehrens und Lernens.* BLLV (Hrsg.). „L“ wie Lernen in der Schule – Der moderne Lernbegriff in Theorie und Praxis – Praxisheft (S. 4-9). München: Domino
- Roth, G. (2013).** *Welchen Nutzen haben die Erkenntnisse der Hirnforschung für die Pädagogik?* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 27 (2013) 3, 123-133
- Roth, G. (2016).** *Seele – Wie das Gehirn die Seele formt.* Madeja, M.; Müller-Jung, J. (Hrsg.) (2016). Hirnforschung - Was kann sie wirklich? Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen (S. 99-107). München: Beck
- Roth, G. (2017).** *Was das Gehirn zum Lernen braucht.* BiuZ 47 (2017) 5, 326-331

- Roth, H. (1952).** *Begabung und Begabung*. Neue Sammlung 7 (1952) 395
- Rubitzko, T.; Staraushek, E.; Wodzinski, R. (2015).** *Leistungsbewertung mit Klassenarbeiten – Funktion, Einsatz und Konzeption von Klassenarbeiten im Fach Physik*. NiU-Ph (2015) 147/148, 16-19
- Rühle, A. (2013).** *Motivationsdroge Mensch – Lobrede auf den Lehrer*. SZ vom 19.2.2013
- Rüppell, H.; Schrankel, Ph. S.; Garbert, A. Huber, J.; Klieme, E. (1982).** *Die Lehre komplexen Denkverhaltens*. Manuskript aus dem Psychologischen Institut der Universität Bonn
- Ruch, W.; Wagner, L. (2016).** *Charakterstärken und Schule*. journal für lehrerInnenbildung 16 (2016) 1, 23-27
- Ruffo, E. (2010).** *Das Lernen angehender Lehrpersonen – Eine empirische Untersuchung an der Pädagogischen Hochschule Zürich*. Frankfurt: P. Lang
- Rumpf, H. (1994).** *Das Verstehen und sein lebensweltliches Fundament*. Reusser, K.; Reusser-Weyeneth, M. (Hrsg.). Verstehen, S. 113-141. Bern: Huber
- Rumpold, V. (2015).** *Ein Ziel sucht seinen Weg – die Vorbereitung angehender Lehrkräfte auf Inklusion*. Siedenbiedel, C.; Theurer, C. (Hrsg.) (2015). Grundlagen inklusiver Bildung Teil 2 Inklusive Unterrichtspraxis und –entwicklung (S. 270-281). Immenhausen: Prolog
- Ryan, R. M.; Deci, E. L. (2000).** *Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development and Well-Being*. American Psychologist 55 (2000) 1, 68-78.
- Salner-Gridling, I. (2009).** *Querfeldein: individuell lernen – differenziert lernen*. Österreichisches Zentrum für Persönlichkeitsbildung und soziales Lernen (ÖZEPS). Wien (<http://www.oezeeps.at/a219.html>)
- Salzberger-Wittenberg, I.; Henry-Williams, G.; Osborne, E. (1997).** *Die Pädagogik der Gefühle – Emotionale Erfahrungen beim Lernen und Lehren*. Wien: Universitätsverlag
- Sander, E.; Ferdinand, P. (2013).** *Empirische Befunde und pädagogische Chancen im Kontext selbstgesteuerten, experimentellen Lernens in den Naturwissenschaften*. Empirische Päd. 27 (2013) 1, 47-85
- Sander, W. (2020).** *Bildung: Zur Aktualität einer traditionsreichen Leitidee*. Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ) 70 (2020) 14-15, 16-21
- Sandner, N.; Wimmer, K. (2011).** *Können Grundschüler selbständig chemische Experimente aus Problemstellungen entwickeln und durchführen?* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2011
- Sandt, N. (2015).** *Animationen im Chemieunterricht*. Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2015.
- Sanger, M. J. (2000).** *Using Particulate Drawings to Determine and Improve Students' Conceptions of Pure Substances and Mixtures*. Journal of Chemical Education 77 (2000) 6, 762-766
- Sauermann, D.; Barke, H.-D. (1997).** *Chemie für Quereinsteiger. Bd. 1: Strukturchemie und Teilchensystematik*. Münster: Schöningh
- Sauermann, D.; Barke, H.-D. (1997).** *Chemie für Quereinsteiger. Bd. 2: Struktur der Metalle und Legierungen*. Münster: Schöningh
- Sauermann, D.; Barke, H.-D. (1998).** *Chemie für Quereinsteiger. Bd. 3: Moleküle und Molekülstrukturen*. Münster: Schöningh
- Sauermann, D.; Barke, H.-D. (1999).** *Chemie für Quereinsteiger. Bd. 4: Ionenkristalle mit einfachen Gitterbausteinen*. Münster: Schöningh

- Schabauer, W. A. (2015).** *Naturwissenschaftliches Lernen in der Kooperation der Fächer Sachunterricht und Technische Werkerziehung.* IMST-NL 14 (2015) 44, 16-17
- Schaefer, H. (2002).** *Vom Nutzen des Salutogenese-Konzepts.* Bd. 11 Schriftenreihe der Landeszentrale für Gesundheit in Bayern. Münster: Daedalus
- Schäfer, G. E. (Hrsg.) (2005).** *Bildung beginnt mit der Geburt. Offener Bildungsplan für Kindertageseinrichtungen in Nordrhein-Westfalen.* Weinheim: Beltz
- Schanze, S.; Busse, M. (2015).** *Peer-Interaction – Förderung des Konzeptverständnisses durch ein kollaboratives Aufgabenformat.* NiU-Ch 26 (2015) 149, 26-34
- Scharf, V. (1994).** *Urteile und Vorurteile über Chemie – Zu den Problemen des Verstehens und Verständigens aus der Sicht eines Chemiedidaktikers.* ChemKon 1 (1994) 1, 8-14.
- Scharf, V. (19).** „Über der Veränderung liegt stets ein Hauch von Unbegreiflichkeit“. Chim. did. 134-143
- Scharf, V. (1996).** *Die Hypothese der 'Affektlogik' von Ciompi – eine chemiedidaktisch bedeutsame Interpretationsgrundlage für Einstellungen von Lernenden zu den Konzepten Mensch, Chemie, Natur?* chim. did. 22 (1996) 2, 168-183
- Schauble, L.; Klopfer, L.E.; Raghavan, K. (1991).** *Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation.* Journal of Research in Science Teaching 28 (1991) 859-882
- Schecker, H. et al. (1996). *Naturwissenschaftlicher Unterricht im Kontext allgemeiner Bildung.* AG „Allgemeinbildung“ im Landesverband Bremen des MNU. <http://didaktik.physik.uni-bremen.de/niedderer/download/mnualg.html>
- Schecker, H.; Parchmann, I. (2006).** *Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz.* ZfDN 12 (2006) 45-66
- Schecker, H.; Starauschek, E. (2016).** *Fachlichkeit der Fachdidaktik.* MNU (2016) 5, 291
- Scheiber, E. (2008; 2009).** *Guter naturwissenschaftlicher Unterricht in IMST-Projekten.* Teil 1: Chemie & Schule 26(2008)4, 12-16. Teil 2: Chemie & Schule 27 (2009) 1, 10-12.
- Scheiber, E. (2010).** *Austria – Basic Structure of the Educational System.* Risch, B. (Ed.). Teaching Chemistry around the World (S. 209-227). Münster: Waxmann
- Scheider, W. (1988).** *Zur Rolle des Wissens bei kognitiven Höchstleistungen.* Psychologie in Erziehung und Unterricht 35 (1988) 161-172
- Scherer, R. (2014).** *Komplexes Problemlösen im Fach Chemie: Ein domänenspezifischer Zugang.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 28 (2014) 4, 181-192
- Scherer, G. A. C.; Wertheimer, M. (1964).** *A psycholinguistic experiment in foreign-language teaching.* New York: McGraw Hill Book Comp.
- Schiefele, H. (1971).** *Schule und Begabung.* München: Oldenbourg
- Schiefele, H. (1986).** *Interesse – Neue Antworten auf ein altes Problem.* Zeitschrift für Pädagogik 32 (1986) 153-162
- Schiefele, U.; Köller, O. (Hrsg.) (2003).** *Selbstreguliertes Lernen im Kontext von Schule und Hochschule.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 17 (2003) 3, 4, 155-157. Themenheft.
- Schiepe-Tiska, A.; Schmidtner, S.; Prenzel, M. (2014).** *Naturwissenschaftsleistungen 15-Jähriger.* MNU 67 (2014) 4, 202-207
- Schlegel, B.; Niethammer, M. (2007).** *Lehrmaterialien im Experimentalunterricht – Unterstützung für den Lehrenden? Analyse von Versuchsvorschriften aus Lehrmaterialien – Ein Resümee.* PdN-ChiS 56 (2007) 3, 40-43

- Schlegel, C. M. (2016).** *Schulpraktika begleiten – Handreichungen und Arbeitsmaterialien für Mentorinnen und Mentoren in der Lehrerbildung* (Bd. 1 & 2). Stuttgart: Raabe
- Schletter, J. C. (1999).** *Lernen und Gedächtnis – Analyse und Veränderung von Schülervorstellungen*. Kiel: IPN.
- Schletter, J. C.; Bayrhuber, H. (1998).** *Lernen und Gedächtnis – Kompartimentalisierung von Schülervorstellungen und wissenschaftlichen Konzepten*. ZfDN 4 (1998) 3, 19-34
- Schmayl, W. (2013).** *Didaktik des allgemeinbildenden Technikunterrichts*. Hohengehren: Schneider
- Schmid, C. (2016).** *Akzente der Expertiseforschung und ihr Ertrag für den Lehrberuf*. journal für lehrerInnenbildung 16 (2016) 4, 7-13
- Schmidkunz, H. (2005).** *Das vortragend-darstellende Unterrichtsverfahren*. PdN-ChiS 54 (2005) 8, 18-22
- Schmidkunz, H. (2006).** *Experimentieren bewerten – Ein Kompetenzprofil für experimentelles Arbeiten*. NiU-Chemie 17 (2006) 94/95, 91-93
- Schmidkunz, H.; Lindemann, H. (1976).** *Das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren*. München: List.
- Schmidkunz, H.; Büttner, D. (1992).** *Aufbau und Durchführung chemischer Demonstrationsexperimente*. NiU-Ch 14 (1992), 3, 7- 11
- Schmidkunz, H.; Klaetsch, H. (1996).** *Zum Einfluß der Hintergrundfarben auf die visuelle Wahrnehmung von chemischen Experimentieranordnungen*. Chemkon 3 (1996) 3, 120-122
- Schmidt, H.-J. (1994).** *Stolpersteine beim Verstehen chemischer Grundlagen*. ChemKon 1(1994)4, 189-192.
- Schmidt, H.-J. (2004).** *Die Rolle chemiedidaktischer Forschung für die Ausbildung von Chemielehrern an Gymnasien*. MNU 57 (2004) 1, 50-54
- Schmidt, F. T. C. (2018).** *Anstrengung zahlt sich aus! – Die Bedeutung von Grit im Zusammenhang von Schule und Bildung*. IPN-Journal 2 (2018) 4, 18-20
- Schmidt-Hönig, K. (2015).** *Sachunterricht in altersheterogenen Lerngruppen*. IMST-NL 14 (2015) 44, 6-8
- Schmit, S.; Kizil, A. (2014).** *Curriculum Enactment – Zur Umsetzung von Unterrichtsvorschlägen im Unterricht*. MNU 67 (2014) 5, 260-265
- Schmit, S.; Peters, S.; Kiper, H. (2014).** *Wissenserwerb durch Lernaufgaben*. Blumstein, P. (Hrsg.). *Lernaufgaben – Didaktische Forschungsperspektiven* (S. 24-34). Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Schmitt-Sody, B.; Kometz, A. (2013).** *sauer + Stoff = Sauerstoff – Kommunikation mittels Gebärdensprache im Chemieunterricht*. NiU-Ch 24 (2013) 138, 36-39
- Schmitz-Keil, E. (1990).** *Ein Lehrer muss begeistern können – Gedanken zur Lehrerbildung*. Die Höhere Schule (1990) 8, 208-209
- Schmitz-Wallrafen, N. (2003).** *Chemiedidaktik und Chemielehrer in der Mitte des 19. Jahrhunderts*. ChemKon 10 (2003) 2, 80-84
- Schnabel, U. (2017).** *Wie stoppt man Fake-News?* Die Zeit Nr. 40 vom 28.9.17, S. 40
- Schneider, C. (2014).** *Diversitätsorientierte Öffnung von Schule*. IMST Newsletter 13 (2014) 41, 5-8
- Schneider, F. J. (2008).** *Gehirn, Gesundheit, Gymnasion – Zur zerebralen Leistungsförderung in Schule und Sport*. Göttingen: Cuvillier
- Schneider, I. K. (2009).** *Lernfenster Kindergarten*. Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament (2009)45, 32-38.
- Schneider, M. (2006).** *Teflon, Post-it und Viagra – Große Entdeckungen durch kleine Zufälle*. Weinheim: WILEY-VCH

- Schneider, U. (2006).** *Das Management der Ignoranz. Nichtwissen als Erfolgsfaktor.* Wiesbaden
- Schneider, W. (2003).** *Der Einfluss von Begabung, Wissen und Motivation auf schulische und akademische Leistungsentwicklung. Teil I und II.* Bayerische Schule (2003) 11, 347-349 & (2004)1+2, 33-36.
- Schneider, M.; Grabner, R. H.; Saalbach, H.; Schalk, L. (Hrsg.) (2023).** *Wie guter Unterricht intelligentes Wissen schafft – Handlungswissen aus der Lehr-Lernforschung. Eine Festschrift für Elsbeth Stern.* Stuttgart: Kohlhammer
- Schnitker, J. (2016).** *Das Unsichtbare sichtbar machen – Chemie lehren mit Simulationen auf der Teilchenebene.* MNU Journal (2016) 6, 392-399
- Schöler, W. (1970).** *Geschichte des naturwissenschaftlichen Unterrichts im 17. bis 19. Jahrhundert – Erziehungstheoretische Grundlegung und schulgeschichtliche Entwicklung.* Berlin: Walter de Gruyter
- Schönborn, A.; Kremer, M.; Götz, T. (2012).** *Von Einstellungen und Haltungen ... im naturwissenschaftlichen Unterricht.* MNU 65 (2012) 5, 309-314
- Schott, F.; Ghanbari, S. A. (2012).** *Bildungsstandards, Kompetenzdiagnostik und kompetenzorientierter Unterricht zur Qualitätssicherung des Bildungswesens – Eine problemorientierte Einführung in die theoretischen Grundlagen.* Münster: Waxmann
- Schrader, F.-W. (1997).** *Lern- und Leistungsdiagnostik im Unterricht.* Weinert, F. E. (Hrsg.) (1997). *Enzyklopädie der Psychologie D-Serie I-Band 3. Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 659-699). Göttingen: Hogrefe.
- Schrader, F.-W.; Helmke, A. (1987).** *Diagnostische Kompetenz von Lehrern: Komponenten und Wirkungen.* Empirische Pädagogik 1 (1987) 1, 27-52.
- Schratz, M. (1999).** *Abenteuer Lernen – Annäherungen aus theoretischer Sicht.* Lernende Schule (1999) 7, 4-9
- Schratz, M. (2015).** *LehrerbildnerInnen – Die „unsichtbare Profession“ aus der Policy-Perspektive.* jlb 15 (2015) 2, 40-44
- Schrempp, I.; Sodian, B. (1999).** *Wissenschaftliches Denken im Grundschulalter. Die Fähigkeit zur Hypothesenprüfung und Evidenzevaluation im Kontext der Attribution von Leistungsergebnissen.* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 31 (1999) 2, 67-77
- Schröder, H. (1985).** *Grundwortschatz Erziehungswissenschaft – Ein Wörterbuch der Fachbegriffe.* München: Ehrenwirth
- Schroedter, S.; Körner, H.-D. (2015).** *Experimentelle Daten und Lernprozesse.* MNU 68 (2015) 5, 300-307
- Schöber, C. (2018).** *Die Bedeutung selbstbezogener Kognitionen für die Leistungsentwicklung.* IPN-Journal 2 (2018) 4, 28-31
- Schönborn, A.; Kremer, M.; Götz, T. (2012).** *Von Einstellungen und Haltungen ... im naturwissenschaftlichen Unterricht.* MNU 65 (2012) 5, 309-314
- Schratz, M.; Posse, N. (1999).** *Unterrichtsqualität als Führungsaufgabe.* Schulleitung in der lernenden Schule (1999) 7, 1-4
- Schratz, M. (2009).** *„Lernseits“ von Unterricht. Alte Muster, neue Lebenswelten – was für Schulen?* Lernende Schule 12 (2009) 64-65, 16-21
- Schratz, M.; Westfall-Greiter, T. (2010).** *Das Dilemma der Individualisierungsdidaktik. Plädoyer für personalisiertes Lernen in der Schule.* Journal für Schulentwicklung 18 (2010) 1, 11-17
- Schrittemsser, I.; Köhler, J.; Holzmeyer, M. (2022).** *Lernen verstehen – Unterricht gestalten.* Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Schrott, R.; Jacobs, A. (2011).** *Gehirn und Gedicht.* München: Hanser
- Schulmeister, R. (1997).** *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme.* München

- Schumacher, R. (2009).** *Was heißt es, etwas verstanden zu haben? Menschliches Lernen aus der Sicht der Psychologie.* Forschung & Lehre (2009) 12, 882-883
- Schummer, J. (2017).** *Chemie als Teufelswerk? 2300 Jahre Chemiekritik.* Waitze, M.-D.; Schummer, J.; Geelhaar, T. (Hrsg.) (2017). Zwischen Faszination und Verteufelung: Chemie in der Gesellschaft (S. 9-21). Berlin: Springer
- Schuster, K. (2021).** *Eigenverantwortliches Arbeiten (EVA) im Distance Learning. – Entwurf und Evaluation eines Konzepts zum Lehrplaninhalt „Treibhauseffekt“.* Masterarbeit zur Didaktik der Chemie, IDC Universität Wein
- Schwarz, N. (2020).** *Mit psychischer Gesundheit gute Schule entwickeln.* MINTZirkel 9 (2020) 1, 13
- Schwarz, P.; Heimann, R. (2016).** *Trainieren von kognitiven Grundfertigkeiten im Chemieunterricht – eine Möglichkeit zur Förderung des naturwissenschaftlichen Denkens?* ChemKon 23 (2016) 2, 79-85
- Schwarz, B.; Prange, K. (Hrsg.) (1997).** *Schlechte Lehrer/innen. Zu einem vernachlässigten Aspekt des Lehrberufs.* Weinheim: Beltz.
- Schwarzer, S.; Liedtke, P.; Adelung, R. (2017).** *Untouchable: Erstaunliches auf der Oberfläche - Benetzbarkeit von unpolaren, mikro- und nanostrukturierten sowie heißen Oberflächen im Chemie- und Physikunterricht untersuchen.* MNU 70, (2017) 5, 327-334.
- Schweder, S. (2012).** *Forschendes Lernen strukturiert planen und durchführen – Die Potentiale eines Forschungsplans als Unterstützungsinstrument.* Pädagogik (2012) 7/8, 70-74
- Schwedler, S. (2017).** *Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? – Eine qualitative Analyse zur Ausprägung des Stresserlebens und Ursachen der Fehlbeanspruchung im Studium der Chemie und chemienaher Fächer.* ZfDN (2017) online
- Schwedler, S.; Riewerts, K. (2019).** *Mein Unterricht als Experiment – Ein quasi-experimenteller Ansatz zum Forschenden Lernen in der chemiedidaktischen Lehramtsausbildung.* Basten, M.; Mertens, C.; Wolf, E. (Hrsg.). Forschendes Lernen in Bielefeld – Fachdidaktische Profile. Herausforderung Lehrer_innenbildung (HLZ), So.heft
- Schwedt, G. (2002).** *Liebig und seine Schüler.* Berlin: Springer.
- Schwenk, E. F. (1998).** *Sternstunden der frühen Chemie von Johann Rudolph Glauber bis Justus von Liebig.* München: C. H. Beck.
- Schwenkenbecher, J. (2019).** *Hartnäckig leidenschaftlich.* SZ v. 15.2.2019, S. 18
- Schwinger, M.; Stiensmeier-Pelster, J. (2010).** *Zusammenhänge zwischen Self-Handicapping, Lernverhalten und Leistung in der Schule.* Unterrichtswissenschaft 38 (2010) 3
- Schwuchow, K. (2009).** *Howard Gardner: Abschied vom IQ.* Managerseminare (2009) 12, 24-29
- Scobel, G. (2016).** *Betrachtungen eines Philosophen – Ein Wesen, das auch außerhalb des Labors lebt.* Madeja, M.; Müller-Jung, J. (Hrsg.) (2016). Hirnforschung - Was kann sie wirklich? Erfolge, Möglichkeiten und Grenzen (S. 199-209). München: Beck
- Seidel, T.; Schweindt, K.; Rimmele, R.; Prenzel, M. (2008).** *Konstruktivistische Überzeugungen von Lehrpersonen: Was bedeuten sie für den Unterricht?* Meyer, M. A.; Prenzel, M.; Hellekamps, S. (Hrsg.). Perspektiven der Didaktik. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft 10 (2008) 8, 259-276
- Seidl, C. (2005).** *Warum wir nicht mehr älter werden.* APuZ 49, 50 (2005) 3-9
- Seiffert, A. (2008).** *Evaluation der Hochbegabten-Kurse von 2000-2007 unter der Fragestellung: „Was lernen hochbegabte Kinder beim Experimentieren?“* Zulassungsarbeit aus der Chemiedidaktik an der LMU München

- Seiler, Th. B. (1994).** *Zur Entwicklung des Verstehens – oder wie lernen Kinder und Jugendliche verstehen?* R-Weyeneth, M. (Hrsg.) (1994). *Verstehen – Psychologischer Prozeß und didaktische Aufgabe* (S. 69-88). Bern: H. Huber
- Seilnacht, T. (1995).** *Durchführung eines Rollenspiels: Düngemittel, zum Wohle der Menschheit?* chim. didact. 21 (1995) 3, 200-214
- Seilnacht, T. (1998).** *Komplementäres Lernen und Verstehen im naturwissenschaftlichen Unterricht – Versuch, eine zugleich pädagogische und didaktische Position zu begründen.* chim. didactica 24 (1998) 3, 196-221
- Sejnowski, T.; Delbrück, T. (2013).** *Die Sprache des Gehirns.* (2013) 3, 22-27
- Sembill, D.; Gut-Sembill, K. (2004).** *Fragen hinter Schülerfragen – Schülerfragen hinterfragen.* Unterrichtswissenschaft 32 (2004) 4, 321-333.
- Sennebogen, S. (2012).** *Kooperatives Lernen mit Wettbewerb im Biologieunterricht – Entwicklung und Evaluation biologischer Egg-Races als problem- und kontextorientierte Unterrichtseinheiten mit Kleingruppenwettbewerb.* Berlin: Logos
- Sennebogen, S.; Neuhaus, B. (2012).** *Wann wird Gruppenarbeit zu guter Gruppenarbeit?* MNU 65 (2012) 5, 260-266
- „Sense About Science“ (2006).** *sense about science – making sense of chemical stories. A briefing for the lifestyle sector on misconceptions about chemicals.* London (www.senseaboutscience.org)
- Shamos, M. H. (2002).** *Durch Prozesse ein Bewußtsein für Naturwissenschaften entwickeln.* Gräber, W. et al. (2002). *Scientific Literacy – Der Beitrag der Naturwissenschaften zur Allgemeinen Bildung* (S. 45-68). Opladen: Leske + Budrich
- Shulman, L. S. (1986).** *Paradigms and research programs for the study of teaching.* Wittrock, M. C. (Ed.) (1986). *Handbook of research of teaching* (pp. 3-36). New York: Macmillan
- Shulman, L. S. (1987).** *Knowledge and teaching: Foundations of the new reform.* Harvard Educational Review 57 (1987) 1-21
- Sikes, P. J.; Measor, L.; Woods, P. (1991).** *Berufslaufbahn und Identität im Lehrberuf.* Terhart, E. (Hrsg.). *Unterrichten als Beruf: Neue amerikanische und englische Arbeiten zur Berufskultur und Berufsbiographie von Lehrern und Lehrerinnen* (S. 231-248). Köln: Böhlau
- Siebert, H. (2003).** *Das Anregungspotenzial der Neurowissenschaften.* REPORT – Zeitschrift für Weiterbildungsforschung 26 (2003) 3, 9-13
- Siebert, H. (2005).** *Didaktik – mehr als die Kunst des Lehrens?* REPORT – Zeitschrift für Weiterbildungsforschung 28 (2005) 3, 9-17
- Siedenbiedel, C.; Theurer, C. (Hrsg.) (2015).** *Grundlagen inklusiver Bildung Teil 1 Inklusive Unterrichtspraxis und -entwicklung.* Immenhausen: Prolog
- Siedenbiedel, C.; Theurer, C. (Hrsg.) (2015).** *Grundlagen inklusiver Bildung Teil 2 Entwicklung zur inklusiven Schule und Konsequenzen für die Lehrerbildung.* Immenhausen: Prolog
- Sieve, B.; Friedemann, A.; Schanze, S. (2012).** *Bewerten lernen – aber wie? – Bewertungskompetenz im Chemieunterricht.* NiU-Ch 23 (2012) 127, 2-9
- Sieve, B.; Struckmeier, S. (2013).** *Romantexte als Lernanlässe – Beispiele und methodische Hinweise.* NiU-Ch 24 (2013) 138, 16-22
- Sieve, B.; Struckmeier, S.; Böhm, D. (2024).** *Experimente im Chemieunterricht, Band 2. Didaktisch begründet und sicher durchführen.* Berlin: Springer
- Sigel, R. (1999).** *Wege zu Offenem Unterricht in der Grundschule.* Die Deutsche Schule 91 (1999) 3, 340-350
- Simon, H. A. (1974).** *How big is a chunk?* Science 183, S. 482-488

- Singer, W. (2001).** *Was kann ein Mensch wann lernen?* Manuskript zum Vortrag am 12.6.2001 „Werkstattgespräch der Initiative McKinsey bildet“ in der Deutschen Bibliothek in Frankfurt
- Skaggs, W. (2015).** *Nachwuchs fürs Gedächtnis.* Gehirn & Geist (2015) 7, 60-65
- Skinner, M. K. (2015).** *Vererbung der anderen Art.* Spektrum der Wissenschaft (2015) 7, 18-25
- Skowronek, H. (1974).** *Lernen und Lernfähigkeit.* München
- Slavin, R. E. (1994).** *Quality, appropriateness, incentive, and time: A model of instructional effectiveness.* International Journal of Educational Res. 21 (1994) 141-157
- Smit, R.; Helfenstein, S.; Guldemann, T. (2013).** *Effekte der Unterrichtskompetenz von Berufseinsteigern auf das Schülerbefinden und die Schülerleistungen.* Unterrichtswissenschaft 41 (2013) 2, 152-171
- Smith, M. B. (1968).** *Attitude change.* Darby, W. A. (Ed.) (1968). International encyclopedia of the social sciences (p. 458-467). New York: Crowell Collier and McMillan
- Snow, R. E. (1982).** *Intelligence and education.* Sternberg, R. J. (1982) Handbook of Human Intelligence (S. 493-585). Cambridge: Cambridge University Press
- Snyder, C. R.; Fromkin, H. L. (1977).** *Abnormality as a Positive Characteristic: The Development and Validation of a Scale Measuring Need of Uniqueness.* J. Abnorm. Psy. 86 (1977) 518-527
- Snyder, A. W.; Ellwood, S.; Chi, R. P. (2013).** *Ideen marsch!* Gehirn & Geist (2013) 6, 60-64
- Sodian, B.; Koerber, S.; Thoermer, C. (2006).** *Zur Entwicklung des naturwissenschaftlichen Denkens im Vor- und Grundschulalter.* Nentwig, P.; Schanze, S. (Hrsg.). Es ist nie zu früh! Naturwissenschaftliche Bildung in jungen Jahren (S. 11-19). Münster: Waxmann.
- Soentgen, J. (1999).** *Phänomenologische Untersuchungen zum Stoffbegriff.* Chem.didact. 25 (1999) 3, 127ff
- Sommer, K.; Russek, A.; Kleinhorst, H. (2010).** *KEMIE: Kinder Erleben Mit Ihren Eltern Chemie. Didaktische Konzeption und Umsetzung eines langfristig angelegten Eltern-Kind-Projekts.*
- Sommer, K.; Klein, M.; Steff, H.; Pfeifer, P. (2012).** *Modellexperimente.* NiU-Ch 23 (2012) 132, 2-9
- Sommer, K.; Russek, A.; Kleinhorst, H.; Kakoschke, A.; Efinger, N. (2013).** *1. Kinder und Eltern machen gemeinsame Sache.* ChemKon 20 (2013) 5, 215-219 (Themenheft zu „KEMIE“)
- Sommer, K.; Toschka, Chr.; Schröder, L.; Schröder, T. P.; Steff, H.; Fischer, R. A.; (2017).** *Modellexperimente im Chemieunterricht – Ein Beitrag zur Definition des Begriffs Modellexperiment und zur Bestimmung des Modellierungsgrades.* ChemKon 24 (2017) 1, 13-19
- Sommer, K.; Wambach-Laicher, J.; Pfeifer, P. (Hrsg.) (2018).** *Konkrete Fachdidaktik Chemie – Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht.* Seelze: Aulis
- Songer, N. B.; Gotwals, A. W. (2006).** *What Constitutes Evidence of Complex Reasoning in Science?* International Conference of the Learning Sciences (ICLS), 27.6-1.7.2006, Bloomington, Indiana, USA (S. 497-504).
- Soukop, R. W. (2013).** *Pioniere der Schülerübungen in Österreich.* Chemie&Schule 28 (2013) 4, 15-17
- Spannagel, Chr. (2013).** *Am Modell lernen: Produktive Nutzung digitaler Medien im Lehramtsstudium.* Journal für LehrerInnenbildung 13 (2013) 4, 12-16

- Sparfeldt, J. R.; Buch, S. R.; Wirthwein, L.; Rost, D. H. (2007).** *Zielorientierungen: Zur Relevanz der Schulfächer.* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 39 (2007) 4, 165-176
- Spearman, Ch. (1904).** 'General intelligence' objectively determined and measured. American Journal of Psychology 15 (1904) 201-293
- Speichert, H. (1986).** *Richtig üben macht den Meister.* Hamburg: Rowohlt.
- Spelke, E. S.; Breinlinger, K.; Macomber, J.; Jacobson, K. (1992).** *Origins of Knowledge.* Psychological Review 99 (1992) 4, 605-632
- Sperl, M. (2008).** *Roboterassistiertes Experimentieren – Entwicklung und Einsatz eines LEGO Mindstorm Roboters im Chemieunterricht der Realschule.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2008.
- Sperling, G. (1960).** *The information available in brief visual presentation.* Psychological Monographs: General and Applied 74 (1960) 11, 1-29
- Spinath, B. (2012).** *Beiträge der Pädagogischen Psychologie zur Professionalisierung von Lehrerinnen und Lehrern: Diskussion zum Themenschwerpunkt.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 26 (2012) 4, 307-312
- Spinath, B. (2016).** *Die Lehre vom Lernen.* Gehirn&Geist (2016) 3, 34-39
- Spitzer, M. (2002).** *Lernen – Gehirnforschung und die Schule des Lebens.* Heidelberg: Spektrum
- Spitzer, M. (2020).** *Pandemie – Was die Krise aus uns macht und was wir aus ihr machen.* München: mvg-Verlag
- Spitzer, P.; Gröger, M. (2018).** *Einflussfaktoren auf chemiebezogene Berufswahlabsichten von Schülerinnen und Schülern.* CHEMKON 25 (2018) 7, 263-268
- Spörer, N.; Brunstein, J. C. (2006).** *Erfassung selbstregulierten Lernens mit Selbstberichtsverfahren.* Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 20 (2006) 3, 147-160
- Spörlein, E. (2003).** „Das mit dem Chemischen finde ich nicht so wichtig ...“ *Chemielernen in der Sek.st. I aus der Perspektive der Bildungsgangdidaktik* Opladen: Leske & Budrich
- Sprenger, R. K. (2005).** *Mythos Motivation – Wege aus der Sackgasse.* Frankfurt: Campus
- Stahl, J. (2012).** *Was kluge Köpfe klug macht – Neurophysiologische Grundlagen von Intelligenz.* özbF-News & Science - Begabtenförderung und Begabungsforschung 32 (2012) 3, 20-23
- Stamm, M. (2010).** *Merkmale der Leistungsbesten in der beruflichen Ausbildung.* Unterrichtsforschung 38(2010)4, 354-365.
- Stapf, A. (2008).** *Hochbegabte Kinder. Persönlichkeit, Entwicklung, Förderung.*
- Stäudel, L. (1995).** *Ein Plan für alle (die wollen)!* Päd Extra 23 (1995) 1, 8-12
- Stäudel, L. (2003).** *Naturwissenschaftliches Arbeiten.* NiU-Ch (2003)4, 4-6.
- Stäudel, L. (2004).** *Aufgaben zum Lernen – Aufgaben zum Prüfen?* NiU-Ch 15 (2004) 82/83, 95
- Stäudel, L. (2007).** *Guter Unterricht mit guten Aufgaben – Beispiele aus den naturwissenschaftlichen Fächern.* Jahreshaft des Friedrich-Verlags, 47-49
- Stäudel, L. (2016).** *Mit Experimenten die Welt erschließen – Experimente als Lehr-Lernelemente naturwissenschaftlichen Unterrichts.* Friedrich-Verlag Jahreshaft 2016, S. 101-103
- Stäudel, L.; Rehm, M. (Hrsg.) (2010).** *Nature of Science.* 21 (2010) 118/119, Themenheft.
- Stäudel, L. Tepner, O. (2013).** *Magnesia – Klackmörtel – Feuchte Luft. Kontexte nutzen zum chemischen Rechnen.* NiU-Ch 24 (2013) 3, 20-25

- Starauschek, E. (2006).** *Der Einfluss von Textkohäsion und gegenständlichen externen piktoralen Repräsentationen auf die Verständlichkeit von Texten zum Physiklernen.* ZfDN 12 (2006) 127-157
- Stark, R.; Gruber, H.; Mandl, H. (1998).** *Motivationale und kognitive Passungsprobleme beim komplexen situierten Lernen.* Psychologie in Erziehung und Unterricht 44 (1998) 3, 202-215
- Staub, F. C. (2001).** *Fachspezifisch-pädagogisches Coaching: Theoriebezogene Unterrichtsentwicklung zur Förderung von Unterrichtsexpertise.* Beiträge zur Lehrerbildung 19 (2001) 2, 175-197
- Steffens, U.; Höfer, D. (2015).** *Was aus Hatties Studien für Unterrichtsentwicklung folgt.* Rolff, H.-G. Handbuch Unterrichtsentwicklung (S. 209-224). Weinheim: Beltz
- Steffensky, M.; Parchmann, I.; Schmidt, S. (2005).** *Alltagsvorstellungen und chemische Erklärungskonzepte.* ChiuZ 39 (2005) 274-278
- Stehr, N. (2013).** *Wissen u. der Mythos vom Nichtwissen.* APuZ 63 (2013) 18-20, 48-54
- Steiner, T. (2018).** *Im Alter nichts Neues?* Klartext Magazin der K. Tschira-Stiftung (2018) 18-21
- Steinert, B. et al. (2006).** *Lehrerkooperation in der Schule.* Zeitschrift für Pädagogik (2006) 2, 185-204
- Steininger, R. (2011).** *Unterrichtseinstieg via Concept Cartoons.* Chemie&Schule 26 (2011) 4, 8-10
- Steininger, R.; Freytag, E. (2020).** *Begriffe begreifbar machen – Grundbegriffe der Chemie für den Aufbau des Stoff-Teilchen-Konz.* Chemie&Schule 35 (2020) 1, 10-13
- Stenner, G. A. (1997).** *Kreativitätsförderung als Auftrag der Schule.* NiU-Ch 42 (1997) 8, 10-11
- Stenzel, R.; Eilks, I. (2005).** *Gesprächsanlässe schaffen mit Concept Cartoons.* PdN-ChiS 54 (2005) 8, 44-47
- Stern, E. (2002).** *Wie abstrakt lernt das Grundschulkind?* Petillon, H. (Hrsg.). Handbuch Grundschulforschung. Bd. 5 Individuelles und soziales Lernen. Kinderperspektive und pädagogische Konzepte. Opladen.
- Stern, E. (2006).** *Lernen – Was wissen wir über erfolgreiches Lernen in der Schule?* Päd. 58 (2006) 1, 45-49
- Stern, T. (2008).** *Förderliche Leistungsbewertung.* Österreichisches Zentrum für Persönlichkeitsbildung und soziales Lernen (ÖZEPS). Wien
- Stern, E. (2020).** *„Verstehen heißt Aha-Erlebnisse haben“.* Bildungsguide/Tages-Anzeiger vom 2.12.20, S. 8
- Stern, E.; Hardy, I.; Koerber, S. (2003).** *Die Nutzung grafisch-visueller Repräsentationsformen im Sachunterricht.* Spekelsen, A.; Hartinger, G.; Möller, K. (Hrsg.). Ansätze und Methoden empirischer Forschung zum Sachunterricht. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Stern, E.; Grabner, R.; Schumacher, R. (2007).** *Lehr-Lern-Forschung und Neurowissenschaften: Erwartungen, Befunde und Forschungsperspektiven.* Bildungsforschung Band 13, hrsg. vom BMBF, Berlin
- Stern, T.; Streissler, A. (2007).** *Die IMST-Studie „PEL(T): Professionalitätsentwicklung von Lehrer/innen und Lehrer/innen(teams)“.* IMST NEWS LETTER 6 (2007) 22, 2-12.
- Stern, E.; Neubauer, A. (2013).** *Intelligenz – Große Unterschiede und ihre Folgen.* München: DVA
- Sternberg, R. J.; Berg, C. A. (1986)** *Quantitative integration: Definitions of intelligence: A comparison of the 1921 and 1986 symposia.* Sternberg, R. J.; Detterman, D. K. (Eds). What is intelligence? Contemporary viewpoints on its nature and definition (p. 155-162). Norwood, New Jersey: Ablex

Sternberg, R. J. (1999). *Successful intelligence: Finding a balance.* Trends in cognitive sciences (1999) 3, 436-442

Stiensmeier-Pelster, J.; Balke, S.; Schlangen, B. (1996). *Lern- versus Leistungszielorientierung als Bedingungen des Lernfortschritts.* Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie 28 (1996) 2, 169-187

Stöckhardt, J. A. (1881). *Die Schule der Chemie oder Erster Unterricht in der Chemie versinnlicht durch einfache Experimente zum Schulgebrauch und zur Selbstbelehrung insbesondere für angehende Apotheker, Landwirte, Gewerbetreibende etc.* Braunschweig: Vieweg; Die zitierte Stelle entstammt dem Vorwort der ersten Auflage: 1846. Braunschweig: F. Vieweg.

Störig, H. J. (1953). *Kleine Weltgeschichte der Wissenschaft 1.* Frankfurt: Fischer.

Stolz, M.; Wittek, T.; Marks, R.; Eilks, I. (2011). *“Doping” für den Chemieunterricht.* MNU 64 (2011) 8, 472-479

Stollhans, S. (2014). *Diktat einmal anders: Die Dictogloss-Methode als Form des Kollaborativen Dialogs,* Forum Deutsch: Unterrichtsforum 22.1 (2014) (<http://forumdeutsch.ca/f/nf75catg>; 29.1.19)

Storch, M.; Tschacher, W. (2014). *Embodied Communication – Kommunikation beginnt im Körper, nicht im Kopf.* Bern: Huber/Hogrefe

Stork, H. (1988). *Zum Unterricht in der Sekundarstufe I.* Kiel: IPN.

Stratmann, M. (2014). *Mehr Harnack wagen.* MaxPlanckForschung (2014) 2, 10-15

Strauch, B. (2003). *Warum sie so seltsam sind – Gehirnentwicklung bei Teenagern.* Berlin: Berlin-Verlag

Strauch, B. (2012). *Da geht noch was – Die überraschenden Fähigkeiten des erwachsenen Gehirns.* Berlin: Bloomsbury

Strauß, S. (2019). *Bürgerliche Bekenntniskultur statt Identitätspolitik.* Aus Politik und Zeitgeschichte (APuZ), Beilage zur Wochenzeitung Das Parlament 69 (2019) 9-11, 4-9

Streller, S. (2009). *Förderung von Interesse an Naturwissenschaften – Eine empirische Untersuchung zur Entwicklung naturwissenschaftlicher Interessen von Grundschulkindern im Rahmen eines außerschulischen Lernangebots.* Frankfurt: P. Lang

Streller, S.; Bolte, C.; Dietz, D.; Noto La Diega, R. (2019). *Chemiedidaktik an Fallbeispielen – Anregungen für die Unterrichtspraxis.* Berlin: Springer

Ströker, E. (1967). *Denkwege der Chemie – Elemente ihrer Wissenschaftstheorie.* Freiburg/München: Karl Alber-Verlag

Stroh, M. (2015). *Inklusion im naturwissenschaftlichen Unterricht – Beschreibung eines Spannungsfeldes.* Siedenbiedel, C.; Theurer, C. (Hrsg.) (2015). Grundlagen inklusiver Bildung Teil 1
Inklusive Unterrichtspraxis und -entwicklung (S. 110-121). Immenhausen: Prolog

Struck, P. (1996). *Die Schule der Zukunft – Von der Belehrungsanstalt zur Lernwerkstatt.* Darmstadt: Wissenschaftl. Buchgesellschaft

Stuckey, M.; Heering, P.; Mamlok-Naaman, R.; Hofstein, A.; Eilks, I. (2014). *The Philosophical Works of Ludwik Fleck and Their Potential Meaning for teaching and Learning Science.* Noch nicht veröffentlichtes Manuskript

Stuckey, M.; Hofstein, A.; Mamlok-Naaman, R.; Eilks, I. (2013). *The meaning of ‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum.* Studies in Science Education 49 (2013) 1, 1-34

Stuckey, M.; Sperling, J. P.; Hofstein, A.; Mamlok-Naaman, R.; Eilks, I. (2014). *Ein Beitrag zum Verständnis der Relevanz des Chemieunterrichts.* ChemKon 21 (2014) 4, 175-180

Stuckey, M.; Eilks, I. (2013). *Chemie, die unter die Haut geht; Tätowierungen.* PdN-ChiS 62 (2013) 3, 30-34

Stuckey, M.; Eilks, I. (2014). *Increasing student motivation and the perception of chemistry's relevance in the classroom by learning about tattooing from a chemical and societal view.* Chemistry Education Research and Practice 15 (21014) 156-167

Stumpf, H. (2007). *Die wichtigsten Pädagogen.* Wiesbaden: Marixverlag

Sünkel, W. (1996). *Phänomenologie des Unterrichts – Grundriß der theoretischen Didaktik.* Weinheim: Juventa

Sumfleth, E.; Gnoyke, A. (1995). *Die Bedeutung bildlicher Symbolsysteme für Theoriebildungen in der Chemie.* MNU 48 (1995) 1, 14-21

Sumfleth, E.; Pitton, A. (1998). *Sprachliche Kommunikation im Chemieunterricht: Schülervorstellungen und ihre Bedeutung im Unterrichtsalltag.* ZfDN 4 (1998) 2, 4-20

Sumfleth, E. (2004). *Fachdidaktik Chemie.* Blömeke, S.; Reinhold, P.; Tulodziecki, G.; Wildt, J. (Hrsg.) (2004). Handbuch Lehrerbildung (434-437). Bad Heilbrunn: Klinkhardt

Sumfleth, E.; Emden, M.; Özcan, N. (2013). *Kommunikative Standardsituationen – Förderung fachsprachlicher Kompetenzen im Chemieunterricht.* NiU-Ch 24 (2013) 138, 30-35

Susteck, H. (1998). *Kein Lernerfolg ohne Anstrengung.* Realschule in Deutschland (1998) 1, 14-18

Sweller, J. (1994). *Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design.* Learning and Instruction 4, 295-312

Sweller, J.; Ayres, P.; Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory (Explorations in the Learning Sciences, Instructional Systems and Performance Technologies).* New York: Springer

Suzuki, W. (2016). *Neurone auf Trab.* Gehirn&Geist (2016) 1, 56-59

Tajmel, T. (2011). *Sprachliche Lernziele des naturwissenschaftlichen Unterrichts.* proDAZ Universität Duisburg-Essen

Taleb, N. N. (2013). *Antifragilität.* München: Knaus

Tandetzke, R.; Kometz, A.; Schmitt-Sody, B.; Kometz, A. (2013). *Der chemische Märchenwald – Experimente für eine Chemie-Show.* NiU-Ch 24 (2013) 138, 9-13

Tausch, M. W. (2013). *Curriculare Innovationsforschung in der Chemiedidaktik.* PdN-ChiS 62 (2013) 4, 38

Tausch, M. W.; Anton, M. A. (2015). *CHEM₂DO – Lehrmittel für den innovativen Unterricht.* ChemKon 22 (2015) 2, 82-84

Tausch, R. (1960). *Das Ausmaß der Lenkung von Schulkindern im Unterricht.* Psychologische Beiträge 4 (1960) 1, 127ff

Teml, H. (2003) *Förderung berufspraktischer Ausbildungskompetenzen von LehrerbildnerInnen.* journal für lehrerinnen- und lehrerbildung (2003) 4, 22-31

Teml, H.; Teml, H. (2006). *Erfolgreiche Unterrichtsgestaltung – Wege zu einer persönlichen Didaktik.* Innsbruck: Studienverlag.

Tenorth, H.-E. (1999). *Unterrichtsfächer – Möglichkeiten, Rahmen, Grenzen.* Goodson, I. F.; Hopmann, S.; Riquarts, K. (Hrsg.). Das Schulfach als Handlungsrahmen (S. 191-207). Köln

Tenorth, H.-E. (2015). *Schulmänner als Lehrerbildner – Reflexionsstil und Handlungsformen früher Professionseliten.* journal f. lehrerInnenbildg 15 (2015) 2, 7-11

Tepner, O.; Roeder, B.; Melle, I. (2009). *Effektivität im Chemieunterricht der Sekundarstufe I.* ZfDN 15 (2009) 7-29

- Tepner, O.; Borowski, A.; Dollny, S.; Fischer, H. E.; Jüttner, M.; Kirschner, S.; Leutner, D.; Neuhaus, B. J.; Sandmann, A.; Sumfleth, E.; Thillmann, H.; Wirth, J. (2012).** *Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften.* ZfDN 18 (2012) 7-28
- Terhart, E. (2002).** *Fremde Schwestern. Zum Verhältnis von Allgemeiner Didaktik und empirischer Lehr-Lern-Forschung.* ZfPP 16 (2002) 2, 77-86
- Terhart, E. (2005).** *Lehr-Lern-Methoden – Eine Einführung in Probleme der methodischen Organisation von Lehren und Lernen.* Weinheim, München: Juventa
- Terhart, E. (2007).** *Was wissen wir über gute Lehrer?* Friedrich Jahresheft 2007, 20-24
- Terhart, E. (2009).** *Didaktik – Eine Einführung.* Stuttgart: Reclam
- Terhart, E. (2014).** *Gral gefunden? Eine Auseinandersetzung mit Hattie.* bildungsspezial (2014) 1, 6-10
- Tetens-Jepsen, M. (1992).** „Erst beobachten, dann deuten!“ NiU-Ch. 14 (1992) 3, 28-29
- Teuchert-Noodt, G. (2000).** *Informationen aus der Neurobiologie – Teil I: Neurodidaktik – eine neue Didaktik?* Biologie in der Schule 49 (2000) 1, 49-51.
- Thiele, H. (2000).** *Ein kognitives Lern- und Handlungsmodell als Heuristik für ein theoriegeleitetes Lehrtraining.* Bildung und Erziehung 53 (2000) 3, 257-270
- Tien, L. T. (2006).** *Effectiveness of a MORE Laboratory Module in Promoting Students To Revise Their Molecular-Level Ideas about Solutions.* JChemEdu 84 (2007) 1, 175-181
- Tillmann, Th. (2018).** *Selbst in die Hand nehmen.* Bildungspraxis – didacta Magazin für berufliche Bildung (2018) 4, 38-41
- Tippelt, R. (2002).** *Qualifizierungsoffensive oder Bildungsziele? Zur Spannung von allgemeiner Bildung“, spezialisierender Qualifizierung“, „Schlüsselqualifikationen“ und „Lernkompetenz“.* REPORT Zeitschrift für Weiterbildungsforschung (2002) 49, 48-58
- Tirre, F.; Kampschulte, L.; Parchmann, I. (2015).** *Ein Science Camp zu Wissenschaft und Wissenschaftskommunikation: Schüler präsentieren (ihre) Nanoforschung.* ChemKon 22 (2015) 4, 179-186
- Tobias, S. (1985).** *Text anxiety: Interference, defective skills, and cognitive capacity.* Educational Psychologist 20 (1985) 135-142
- Tolsdorf, Y.; Markic, S. (2019).** *Entwicklung eines Seminarkonzepts zu Lesestrategien entwickelt nach dem adaptierten Modell der Partizipativen Aktionsforschung.* CHEMKON 26 (2019) 3, 108-113
- Tomcin, R.; Reiners, C. S. (2009).** *Auf malerischem Weg zur Chemie. Zum didaktischen Potential von Chemie-Foto-Storys.* ChemKon 16 (2009) 1, 6-13
- Toschka, Chr.; Sommer, K.; Krup, U. (2018).** *Vom Rohstoff zum Produkt – Der Klebestift als Gegenstand im analytisch-synthetischen Unterrichtsverfahren.* Chemie&Schule 33 (2018) 4, 24-28
- Towndrow, P. A.; Ling, Tan Aik; Venthan, A. M. (2008).** *Promoting Inquiry Through Science Reflective Journal Writing.* Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education 4(2008)3, 279-283.
- Trautmann, M.; Wischer, B. (2011).** *Heterogenität in der Schule. Eine kritische Einführung.* Wiesbaden: VS
- Trautwein, U.; Wild, E. (2009).** *Außerschulisches Lernen: Lernen außerhalb der Schule (auch) für die Schule!* Unterrichtswissenschaft 37 (2009) 3, 194-195.
- Treagust, D. F. (1988).** *Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science.* Int. J. Sci. Educ. 10 (1988) 2, 159-169
- Treffinger, D. J. (1986).** *Fostering effective, independent learning through individualized programming.* Renzulli, J. S. (Ed.). Systems and models for developing programs for the gifted and talented (P. 429-460). Mansfield Center: Creative Learning Press
- Tschechne, M. (2015).** *Märchen oder Mallorca?* MaxPlanckForschung (2015) 4, 70-76

- Tsien, J. Z. (2007).** *Der Gedächtniskode*. Spektrum der Wissenschaft (2007) 10, 46-53
- Tücke, M. (2007).** *Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters für (zukünftige) Lehrer*. Münster: Lit
- Ulich, K. (2003).** „Das kann ich“. *Subjektive Kompetenz als Berufsmotiv angehender Lehrer/innen*.
- Unterstell, R. (2013).** *Science Center: Wissen als Erlebnis*. APuZ 63 (2013) 18-20, 35-41
- Urban-Woldron, H. (2005).** *Auf dem Weg zur Fachsprache. Neue Medien – neue methodische Konzepte – viele Überraschungen*. PLUS LUCIS (2005) 1+2, 23-25
- Urhahne, D. (2002).** *Motivation und Verstehen*. Münster: Waxmann
- Urhahne, D. (2006).** *Die Bedeutung domänenspezifischer epistemologischer Überzeugungen für Motivation, Selbstkonzept und Lernstrategien von Studierenden*. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 20 (2006) 3, 189-198
- Urner, M. (2019).** *Schluss mit dem täglichen Weltuntergang*. München: Droemer
- Valentiner, Th. (1960).** *Kant und seine Lehre*. Stuttgart: Reclam
- Venke, S.; Schwarzer, S.; Ruppertsberg, K.; Proske, W. (Hrsg.) (2016).** *Gefahrstoffe im Blick*. 27 (2016) 156
- Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. (vbw) (Hrsg.) (2014).** *Psychische Belastungen und Burnout beim Bildungspersonal – Gutachten*. Münster: Waxmann
- Verra, S. (2018).** *Es geht um Begeisterung*. Klartext Magazin der K. Tschira-Stiftung (2018) 6-9
- Vester, F. (2000).** *Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen Umgang mit Komplexität*. Stuttgart: dtv
- Vetrovsky, C. (2006).** *Die Förderung des Technikinteresses bei Mädchen*. München: Hut
- Vetrovsky, C.; Anton, M. A. (2008).** *Vom Naturerleben zur Naturwissenschaft*. PdN-ChiS 57 (2008) 3, 32-34.
- Vieser, M. (2015).** *Die Stadt der Macher*. Das Magazin von EVONIK INDUSTRIES (2015) 2, 30-33
- Vikström, A.; Billström, A.; Fazeli, P.; Holm, M.; Jonsson, K., Karlsson. G.; Rydström, P. (2013).** *Teacher's solutions: a learning study about solution chemistry in Grade 8*. International Journal for Lesson and Learning Studies 2 (2013) 1, 26-40
- Voglhuber, H. (1994).** *Die Entwicklung des naturkundlichen Unterrichts zwischen materialer und formaler Bildungsidee unter besonderer Berücksichtigung des Unterrichtsfaches Chemie*. Dissertation Universität Klagenfurt.
- Vogt, H.-H. (1966).** *Der Nürnberger Trichter – Lernmaschinen für Ihr Kind?* Stuttgart: Kosmos
- Vogt, R. (2015).** *Kommunikation im Unterricht – Diskursanalytische Konzepte für den Fachunterricht*. Weinheim: Beltz
- Vogt, F.; Meier, A. (2014).** *Problemorientierte Lernaufgaben mit und ohne Experimentieranleitung*. Ralle, B. et al. (2014). Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen. (S. 188-196). Münster: Waxmann
- Vollmer, G. (1980).** *Sprache und Begriffsbildung im Chemieunterricht*. Frankfurt: Diesterweg
- Vollmer, B. (2016).** *Kreativität als Ko-Konstruktion – Konstruktionsprozesse in unbekannten Räumen*. journal für lehrerInnenbildung 16 (2016) 1, 18-22
- Voß, R. (Hrsg.) (2005).** *Unterricht aus konstruktivistischer Sicht – Die Welten in den Köpfen der Kinder*. Weinheim: Beltz.

- Voß, T.; Wagner, W. (2023).** *Fach- und Grundbegriffe in Schulbüchern der Chemie.* CHEMKON 30 (2023) 1, 30-36
- Vries, T. de; Martin, J.; Paschmann, A. (2006).** *Heimexperimente – Ein erprobtes Projekt zum Thema Elektrochemie in der Sek. II.* ChemKon 13 (2006) 4, 171-179
- Vygotsky, L. S. (1969).** *Denken und Sprechen.* Stuttgart: Klett
- Vygotskij, L. S. (2002).** *Denken und Sprechen.* Weinheim: Beltz
- Wagemann, C.-H. (1998).** *Die Botschaft überbringen – Gedanken über Fachunterricht an Hochschulen.* Weinheim: Deutscher Studienverlag.
- Wagenschein, M. (1952).** „Die Sammlung“. S. 142
- Wagenschein, M. (1956).** *Zum Begriff des exemplarischen Lehrens.* Zeitschrift für Pädagogik (1956) 3, 140
- Wagenschein, M. (1959).** *Über die Aufmerksamkeit.* Zeitschrift f. Pädagogik (1959) 1, 47
- Wagner, J. (1903).** *Über den Anfangsunterricht in Chemie.* Leipzig: J. A. Barth.
- Wagner, A. C. (1976) (Hrsg.).** *Schülerzentrierter Unterricht.* München:
- Wagner, H.; Neber, H. (2007).** *Schülerwettbewerbe fördern Begabungen.* Fauser, P.; Messner, R. (Hrsg.). *Fordern und Fördern. Was Schülerwettbewerbe leisten* (S. 73-84). Hamburg: Ed. Körber-Stiftung
- Wagner, S.; Anton, M. A. (2010).** *Was Grundschüler bei chemischen Versuchen leisten können.* PdN-ChiS 59 (2010) 3, 41-43
- Wagner, S.; Vöst, C.; Anton, M. (2008).** *Der außerschulische Lernort als Erlebnis von Chemie.* PdN-ChiS 57(2008)1, 46-48.
- Wagner, W. (2004).** *Technik im naturwissenschaftlichen Unterricht.* MNU (2004) 8, 478 - 487
- Wagner, W. (2009a).** *Isomerie für die Schule.* PdN-ChiS 58 (2009) 1, 36-40.
- Wagner, W. (2009b).** *MOLIS v2.0 – Ein Tutorium zur Isomerie.* PdN-ChiS 58 (2009) 3, 42-43.
- Wagner, W. (2020).** *Selbstorganisiert experimentieren mit Erfahrungskisten.* CHEMKON 27 (2020) 3, 115-120
- Waitze, M.-D.: acatech (Hrsg.) (2012).** *Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate (acatech POSITION).* Heidelberg: Springer
- Waitze, M.-D.; Schummer, J.; Geelhaar, T. (Hrsg.) (2017).** *Zwischen Faszination und Verteufelung: Chemie in der Gesellschaft.* Berlin: Springer
- Waldmann, M. R. (1996).** *Kognitionspsychologische Theorien von Begabung und Expertise.* Weinert, F. E. (Hrsg.) (1996). *Psychologie des Lernens und der Instruktion*, Bd. 2. (S. 445-476). Göttingen: Hogrefe
- Wallace, D. F. (2009).** *This is Water: Some Thoughts, Delivered on a Significant Occasion, about Living a Compassionate Life* (Ansprache vor Studenten von 2005; CD Joker´s)
- Wallas, G. (1927).** *The Art of Thought.* London: Butler and Tanner LTD
- Wallrabenstein, W. (1994).** *Offene Schule -Offener Unterricht.* Ratgeber für Eltern und Lehrer. Hamburg
- Walpuski, M.; Sumfleth, E. (2007).** *Strukturierungshilfen und Feedback zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Chemieunterricht.* ZfDN 13 (2007) 179-196
- Walpuski, M.; Hauk, A. (2014).** *Gestaltung lernwirksamer Experimentierphasen.* MNU 67 (2014) 7, 402-407
- Walser, W. (2017).** *Statt etwas oder Der letzte Rank.* Reinbek: Rowohlt

- Walther, G.; Lück, G. (2010).** *Zerkleinern – Modellieren als Brücke zwischen Sach- und Mathematikunterricht.* Fischer, C.; Rieck, K.; Prenzel, M. (Hrsg.) (2010). *Naturwissenschaften in der Grundschule – Neue Zugänge entdecken (S107-128).* Seelze: Kallmeyer
- Wambach, H. & Wambach-Laicher, J. (Hrsg.) (2012).** *Individualisieren und Aktivieren im Chemieunterricht SII – Aufgaben, Materialien, Prüfungsvorbereitung Band 1.* Bondorf: Aulis
- Wambach, H. & Wambach-Laicher, J. (Hrsg.) (2013).** *Individualisieren und Aktivieren im Chemieunterricht SII – Aufgaben, Materialien, Prüfungsvorbereitung Band 2.* Bondorf: Aulis
- Wambach, H. (2013).** *Begabtenförderung im Fach Chemie.* PdN-ChiS 62 (2013) 1, 7-9
- Wang, M. C.; Lindvall, C. M. (1989).** *Individual differences and school learning environments: Theory, research, and design.* Review of Research in Education 11 (1984) 161-225
- Wasmann, A. (2013).** *Keine Berührungsängste mit den Naturwissenschaften – Naturwissenschaftliche Förderung für besonders Begabte.* MNU 66 (2013) 7, 388-393
- Watts, E.; Hoffmann, C. (2020).** *Achtsamkeit im Biologieunterricht – Was? Warum? Wie?* MintZirkel 9 (2020) 2, 6-7
- Weber, C. (2011).** *Gemischt im Vorteil – Getrennter Unterricht von Jungen und Mädchen verbessert die Leistung nicht.* SZ v. 23.9.11
- Weber, C. (2013).** *Die ganze Welt in einer Rosine.* SZ vom 27./28.7.13, S. 18
- Weber, H. E. (1976).** *Das Problem der didaktischen Reduktion im Biologieunterricht.* BU 12 (1976) 3, 4-26
- Weck, R. de (2021).** *Die Kraft der Demokratie – Eine Antwort auf die autoritären Reaktionäre.* Berlin: Surkamp
- Wedel-Wolff, A. v. (1995).** *Unverzichtbar: Praktika.* Grundschule (1995) 6, 43-46
- Weerda, J. (1983).** *Zur Begriffsbildung im naturwissenschaftlichen Unterricht.* NiU-P/C 31 (1983) 4, 126-127
- Wehling, P. (2013).** *Soziale Praktiken des Nichtwissens.* APuZ 63 (2013) 18-20, 41-47
- Weigmann, K. (2013).** *Die Intelligenz des Körpers.* Gehirn & Geist (2013) 1/2, 26-31
- Weigmann, K. (2016).** *Eine Frage der Kultur.* Gehirn & Geist (2016) 6, 58-62
- Weinert, F. E. (1976).** *Kognitives Lernen.* Weinert, F. E. (Hrsg.). *Pädagogische Psychologie. Teil V. Lernen.* Weinheim: Beltz
- Weinert, F. E. (1982).** *Selbstgesteuertes Lernen als Voraussetzung, Methode und Ziel des Unterrichts.* Unterrichtswissenschaft 10 (1982) 99-110
- Weinert, F. E. (1987).** *Wie löst man schwierige Probleme?* Technische Universität München (Hrsg.). *Jahrbuch 1986.* München. Universitätsbibliothek., S. 17-31.
- Weinert, F. E. (1988).** *Der Laie als „Chemie-Experte“? Das Bild einer Wissenschaft im Lichte alltäglichen Wissens und Wertens.* Festschrift 125 Jahre Hoechst – Wissenschaftliches Symposium (S. 15-29). Frankfurt a. M.: Hoechst AG
- Weinert, F. E. (1988).** *Jenseits des Glaubens an notwendige und hinreichende Bedingungen des schulischen Lernens.* Lompscher, J.; Jantos, W.; Schöniä, S. (Hrsg.). *Psychologische Methoden der Analyse und Ausbildung der Lerntätigkeit (S. 116-139).* Berlin: Gesellschaft für Psychologie der DDR (Eigenverlag)
- Weinert, F. E. (1989).** *Übergänge und Brüche im Bildungswesen: Einführung in die Thematik.* Fthenakis, W. E.; Geipel, R.; Happ, E. (Hrsg.). *Übergänge und Brüche im Bildungswesen (S. 15-36).* München: Ehrenwirth
- Weinert, F. E. (1990).** *Entwicklungsgenetik und Sozialisationsforschung: Widersprüche, Probleme und Perspektiven.* *Entwicklung und Lernen – Beiträge zum Symposium*

anlässlich des 60. Geburtstages von Wolfgang Edelstein (S. 13-36). Berlin: MPI für Bildungsforschung

Weinert, F. E. (1993). *Lehrer zwischen Beruf und Berufung – Wege zur Professionalisierung.* Manuskript zum Vortrag im Haus der Industrie am 4.11.93 in Wien.

Weinert, F. E. (1994a). *Lernen lernen und das eigene Lernen verstehen.* Reusser, K.; Reusser-Weyeneth, M. (Hrsg.) (1994). *Verstehen – Psychologischer Prozeß und didaktische Aufgabe* (S. 183-205). Bern: H. Huber

Weinert, F. E. (1994b). *Entwicklung und Sozialisation der Intelligenz, der Kreativität und des Wissens.* Schneewind, K. A. (Hrsg.) (1994). *Psychologie der Erziehung und Sozialisation* (S. 259-284). Göttingen: Hogrefe

Weinert, F. E. (1995). *Das Verhältnis von metakognitiven Kompetenzen und kognitiven Automatismen beim Zweitsprachenerwerb.* Ehlers, A. S. (Hrsg.). *Lerntheorie, Tätigkeitstheorie, Fremdsprachenunterricht* (S. 103-117). München: Goethe-Institut

Weinert, F. E. (1996). *Der gute Lehrer, die gute Lehrerin im Spiegel der Wissenschaft.* Beiträge zur Lehrerbildung 14 (1996) 141-151

Weinert, F. E. (1996). *Lerntheorien und Instruktionsmodelle.* Weinert, F. E. (Hrsg.). *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (S. 1-48). Göttingen

Weinert, F. E. (1997). *Der intelligente Umgang mit Information.* In: Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte. 119. Versammlung (S. 361-370). Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Weinert, F. E. (1997a). *Das Individuum.* von Pierer, H.; von Oettinger, B. (Hrsg.) (1997). *Wie kommt das Neue in die Welt?* (S. 201-207). München: Hanser

Weinert, F. E. (1997b). *Notwendige Methodenvielfalt – Unterschiedliche Lernfähigkeiten erfordern variable Unterrichtsmethoden.* Jahresheft des Friedrich-Verlags „Lernmethoden Lehrmethoden“, S. 50-52

Weinert, F. E. (1997c). *Ansprüche an das Lernen in der heutigen Zeit.* Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes NRW (Hrsg.). „Fächerübergreifendes Arbeiten“ – Bilanz und Perspektiven (S. 12-17). Frechen: vgr Verlagsgesellschaft Ritterbach

Weinert, F. E. (1998a). *Welche Schule brauchen Hochbegabte?* BMW AG & Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.) (1998). Dokumentation – Kongress Hochbegabung. Juli 1998 (S. 157-174). München: BMW AG

Weinert, F. E. (1998b). *Guter Unterricht ist ein Unterricht, in dem mehr gelernt als gelehrt wird.* Freund, J.; Gruber, H.; Weidinger, W. (Hrsg.) (1998). *Guter Unterricht – Was ist das? Aspekte von Unterrichtsqualität* (S.7-18). Wien: ÖBV Päd. Verlag

Weinert, F. E. (1998c). *Neue Unterrichtskonzepte zwischen gesellschaftlichen Notwendigkeiten, pädagogischen Visionen und psychologischen Möglichkeiten.* Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.). *Wissen und Werte für die Welt von morgen* (S. 101-125; 117/118). Donauwörth: Auer.

Weinert, F. E. (1998d). *Psychologische Theorienbildung auf dem pädagogischen Prüfstand.* Zeitschrift für Päd. Psychologie 12 (1998) 4, 205-209.

Weinert, F. E. (1999a). *Bedingungen für mathematisch-naturwissenschaftliche Leistungen in der Schule und die Möglichkeiten ihrer Verbesserung.* Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.) (1999). *Weiterentwicklung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts* (S. 21-32). Stuttgart: Druckhaus Waiblingen

Weinert, F. E. (1999a). *Was wissen wir über unser Wissen – und was nützt uns dieses Meta-Wissen?* Janke, W.; Schneider, W. (Hrsg.). *Hundert Jahre Institut für Psychologie und Würzburger Schule der Denkpsychologie* (S. 433-439). Göttingen: Hogrefe.

Weinert, F. E. (1999b). *Begabung und Lernen: Zur Entwicklung geistiger Leistungsunterschiede.* MaxPlanckForschung (1999) 60-67

- Weinert, F. E. (1999c).** *Begabung und Lernen: Zur Entwicklung geistiger Leistungsunterschiede.* Generalverwaltung der MPG (Hrsg.). MPG Jahrbuch 1999 (S. 35-48). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht
- Weinert, F. E. (1999d).** *Aus Fehlern lernen und Fehler vermeiden lernen.* Althof, W. (Hrsg.). Fehlerwelten. Vom Fehlermachen und Lernen aus Fehlern (S. 101-109). Opladen: Leske+Budrich
- Weinert, F. E. (1999e).** *Konzepte der Kompetenz. Unveröffentlichtes Gutachten zum OECD-Projekt „Definition and Selection of Competencies“: Theoretical and Conceptual Foundations (DeSeCo).* München: MPI für Psychologische Forschung
- Weinert, F. E. (1999f).** *Differentialpsychologische Theorien der kognitiven Entwicklung als Grundlage einer praxisrelevanten Unterrichtsforschung.* Zeitschrift für Psychologie (1999) 207, 399-418
- Weinert, F. E. (2000a).** *Individuelle Kreativität und kollektives Erlebnis.* Der Architekt (2000) 3, 24-31
- Weinert, F. E. (2000b).** *Lehr-Lernforschung an einer kalendarischen Zeitenwende: Im alten Trott weiter oder Aufbruch zu neuen wissenschaftlichen Horizonten?* Unterrichtswissenschaft 28 (2000) 1, 44-48
- Weinert, F. E. (2001).** *Schulleistungen – Leistungen der Schule oder der Schüler.* In: Weinert, F. E. (Hrsg.). Leistungsmessungen in Schulen (S. 73-86). Weinheim: Beltz.
- Weinert, F. E. (2001a).** *Inwieweit sind Schulleistungen Leistungen der Schule oder der Schüler?* Ordensnachrichten Diözese Linz 40 (2001) 2, S. 3-15
- Weinert, F. E. (2001b).** *Der Einfluss der Schule auf die kognitive Entwicklung.* Beiträge zur Lehrerbildung 19 (2001) 1, 93-102
- Weinert, F. E. (2001c).** *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit.* Weinert, F. E. (Hrsg.). Leistungsmessung in Schulen (S. 27-28). Weinheim: Beltz
- Weinert, F. E. (2001d).** *Illusionen: Kognitive Mechanismen gegen eine radikale Entzauberung des subjektiven Weltbildes* Kritik von: Hans Thomae „Illusionen: Erscheinungsformen und Wirkungsweisen. Ethik und Sozialwissenschaften – Streitform für Erwägungskultur 12 (2001) 2, 271-273
- Weinert, F. E.; Hany, E. A. (2000).** *The role of intelligence as a major determinant of a successful occupational life.* Van Lieshout, C. F. M.; Heymens, P. G. (Eds.) (2000). Developing talent across the life span (pp. 67-99). Hove, UK: Psychology Press
- Weinert, F. E.; Helmke, A. (1996).** *Der gute Lehrer: Person, Funktion oder Fiktion?* Leschinsky, A. (Ed.). Die Institutionalisierung von Lehren und Lernen (S. 223-233). Beiträge zu einer Theorie der Schule 34 (1996)
- Weinert, F. E.; Helmke, A. (1993).** *Wie bereichsspezifisch verläuft die kognitive Entwicklung?* Duit, R.; Gräber, W. (Hrsg.). Kognitive Entwicklung und Lernen in den Naturwissenschaften (S. 27-45). Kiel: IPN.
- Weinert, F. E.; Waldmann, M. R. (1988).** *Wissensentwicklung und Wissenserwerb.* Mandl, H.; Spada, H. (Hrsg.). Wissenspsychologie, (S. 161.199). München: Psychologie-Verlags-Union
- Weinert, F. E. (1994).** *Entwicklung und Sozialisation der Intelligenz, der Kreativität und des Wissens.* Weinert, F. E. (Hrsg.). Enzyklopädie der Psychologie. Psychologie der Erziehung und Sozialisation. Bd. 1 (S. 259-284). Göttingen: Hogrefe
- Weirauch, K.; Boshuis, T.; Gräb, P.; Geidel, E. (2023).** *Glibber, Glimmer, Laserschwerter – Chemie-Experimente zuhause.* Berlin: Springer
- Weisbrodt, U. (2022).** *4K – Was Schüler*innen wirklich brauchen.* Digitaler Unterricht (2022) 1, 10-11

- Weiß, S. (2012).** *Veranschaulichung*. Kiel, E. (Hrsg.) (2012). *Unterricht sehen, analysieren und gestalten* (S. 99-120). Bad Heilbrunn: Klinkhardt
- Weiß, S. (2021)** *Ich kann das! Moment by moment* (2021) 70-72; www.lernkulturzeit.de
- Weiß, S.; Schramm, S.; Kiel, E. (2014).** *Was sollen GymnasiallehrerInnen können?* *journal für lehrerInnenbildung* 14 (2014) 2, 43-51
- Weizsäcker, C. F. (1970).** *Zum Weltbild der Physik*. Stuttgart: Hirzel
- Weelenreuther, M. (2016).** *Direkte Instruktion – das hässliche Entlein der Pädagogik? – Eine gegenüberstellung mit dem Frontalunterricht hebt Vorurteile auf*. Friedrich-Verlag Jahreshaft 2016, S. 82-84
- Wengenmayr, R. (2005).** *Mit den Augen denken*. *MaxPlanckForschung* (2005) 1, 66-72
- Wendt, P. (2009).** *Was steckt dahinter? Vier Begriffe und ihre Bedeutung*. *Grundschule* (2009) 1, 10-11
- Wentorf, W.; Lüthjohann, F.; Stein, G.; Küster, J.; Parchmann, I. (2014).** *Planspiel Wissenschaft & Beruf – Was macht man eigentlich, wenn man Naturwissenschaftler wird?* *NiU-Ch* 26 (2014) 140, 18-23
- Wentorf, W.; Höffler, T.; Parchmann, I. (2015).** *Schülerkonzepte über das Tätigkeitsspektrum von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern – Vorstellungen, korrespondierende Interessen und Selbstwirksamkeitserwartungen*. *ZfDN*
- Werbowsky, I. (2004).** *Ahnenforschung zum offenen Lernen*. *PI News – Servicemagazin des Pädagogischen Instituts der Stadt Wien* (2004) 18, 10-11
- Werning, R.; Lies, F. (2000).** *Beobachten und Fördern*. *Lernchancen* 3 (2000) 16, 2-9
- Wernke, S. (2016).** *Selbstregulation durch Fremdregulation?! – Gelingensbedingungen für offene Lehr-Lernformen*. Friedrich-Verlag Jahreshaft 2016, S. 110-111
- Wertheimer, M. (1964).** *„Produktives Denken“*. Frankfurt: Kramer
- Wessels, K. (1999).** *Fächerübergreifender Unterricht als didaktisches Problem*. *Lernwelten* (1999) 1, 16-22
- Westerhoff, N. (2008).** *Neurodidaktik auf dem Prüfstand*. *Gehirn & G.* (2008)12, 36-43.
- Weßnigk, S.; Euler, M. (2014).** *Wie die Produktion von Eierlöffeln das Image von Chemie und Physik verändern kann – Die Effekte eines industrienahen Schülerlabors*. *ChemKon* 21 (2014) 3, 121-128
- White, R. W. (1959).** *Motivation reconsidered: The concept of competence*. *Psychological Review* 66 (1959) 5, 297-333
- Wiater, W. (1997).** *Exempla trahunt – Hat das Verhalten der Lehrkraft tatsächlich Einfluss auf das Schülerverhalten?* *Päd. Welt* (1997) 10, 462-467
- Wiater, W. (1999).** *Vom Schüler her unterrichten – Eine neue Didaktik für eine veränderte Schule*. Donauwörth: Auer
- Wiesbeck, A.; Schneeweiss, A. (2018).** *Wie hilfreich sind Hausaufgaben in den MINT-Fächern?* *MINTZirkel* 7 (2018) 4, 10
- Wilberg, S.; Rost, D. H. (1999).** *Große Klassen – kleine Leistung? Klassenstärken und Geschichtskenntnisse in fünfzehn Ländern*. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie* 31 (1999) 3, 138-143
- Wilbert, J.; Gerdes, H. (2007).** *Lehrerbild von Schülern und Lehrern: Eine empirische Studie zum Vergleich der Vorstellungen vom idealen und vom typischen Lehrer*. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 54 (2007) 3, 208-222.
- Wild, E. (2003)** *Muss Lernen Spaß machen?* *Schulmagazin* 5 bis 10 (2003) 1, 5-8
- Wild, K.-P.; Schiefele, U. (1994).** *Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragenbogens*. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*. 15 (1994) 4, 185-200
- Wildermuth, V. (2010).** *Die Freuden der Qualia*. *Gehirn & Geist* (2010)6, 68-75.

- Wildt, J. (2009).** *Forschendes Lernen: Lernen im „Format“ der Forschung.* Journal Hochschuldidaktik (TU Dortmund) 20 (2009) 2, 4-7
- Willems, S. (2009).** *Vorbereitung der Schüler einer zehnten Jahrgangsstufe auf einige ausgewählte Ziele des wissenschaftspropädeutischen Seminars und Projektseminars der neuen gymnasialen Oberstufe mittels zweier Projektstage.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2009.
- Wilhelm, M.; Rehm, M.; Reinhardt, V. (2010).** *Urteilen in Dilemmasituationen. Nature of Science und Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung.* NiU-Ch 21 (2010) 118/119, 89-93
- Wilhelm, M.; Wespi, C.; Luthinger, H.; Rehm, M. (2015).** *Mit Aufgaben Kompetenzen und Vorstellungen erfassen.* NiU-Ch 26 (2015) 149, 9-15
- Wilhelm, M. (2019).** *Wucht oder Wirkung? Bildungsforschung und Lehrentwicklung am Beispiel der Naturwissenschaftsdidaktik.* Leuders, T.; Christophel, E.; Hemmer, M.; Korneck, F.; Labudde, P. (Hrsg.). Fachdidaktische Forschung zur Lehrerbildung (S. 35–49). Münster: Waxmann.
- Winkler, C. (2004).** *Spielbus Chemie – Ein Projekt zur Förderung des naturwissenschaftlichen Interesses für Kinder, Lehrer und Eltern im Grundschulbereich.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2004.
- Winnefeld, F. (1971).** *Pädagogischer Kontakt und pädagogisches Feld.* München: E. Reinhardt
- Wirth, J.; Thillmann, H.; Küsting, J.; Fischer H. E.; Leutner, D. (2008).** *Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht.* Zeitschrift für Pädagogik 54 (2008) 3, 361-375
- Wischer, B. (2013).** *Bildungsungleichheiten als Herausforderung für die Lehrerprofessionalisierung? Eine Problem- und Ideenskizze.* journal für lehrerInnenbildung 13 (2013) 1, 31-38
- Wischer, B. (2014).** *Was heißt eigentlich Fördern? Zu den Konturen, Facetten und Problemen des Begriffs.* Jahresheft „Fördern“: Friedrich-Verlag
- Wiseman, A. W. (2010).** *The uses of evidence for educational policymaking.* Review of Research in Education 34 (2010) 1-24
- Wißner, O. (2014).** *Aufgaben öffnen – Komplexe Lernarrangements im Unterricht.* NiU-Ch (2014) 142, 18-23
- Witteck, T.; Eilks, I. (2004).** *Versuchsprotokolle kooperativ erstellen.* NiU-Chemie 15 (2004) 82/83, 54-56
- Woest, V. (1996).** *Alltagsorientierter Unterricht.* Bremen
- Wohlmüt, M. (2005).** *Denkfigur 3 - Die Reaktion.* PdN-ChiS 54 (2005) 2, 29-33
- Wolf, C. (2009).** *Flüchtige Erinnerung.* Gehirn & Geist (2009) 4, 56-61.
- Wolf, C. (2013).** *Der Stoff, aus dem das Vergessen ist.* G&G (2013) 7/8, 77-78
- Wolf, J. (2014).** *Fähigkeit des chemiespezifischen Selbstkonzepts durch Vorwissensaktivierung mittels Fragen.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2014.
- Wollenschläger, M.; Harms, U. (2013).** *Was soll ich können und wie schaffe ich das? – Zur Gestaltung lernförderlichen Feedbacks im naturwissenschaftlichen Unterricht.* IPN-Blätter 30 (2013) 7
- Wollenweber, H. (1996).** *Das Berufsbild des Lehrers als Grundlage der Lehrerbildung.* Päd. Rundschau 50 (1996) 265-276.
- Wong, B. Y. L. (1991).** *The relevance of metacognition to learning disabilities.* Wong, B. Y. L. (Ed.). Learning about learning disabilities (p. 231-268). San Diego, CA: Academic Press
- Wong, K. (2005).** *Frühe Spuren des menschlichen Geistes.* Spektrum der Wissenschaft (2005) 12, 38-46

- Woyke, A.; Scharf, V. (2002).** *Der Wandlungsaspekt in der Chemie und der Bildungsbeitrag des Chemieunterrichts.* chim. didact. 29 (2002) 3, 221-246
- Wulf, A. (2018).** *Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur.* München: Bertelsmann
- Wunder, D. (1999).** *Das Verhältnis der Lehrer zur Wissenschaft.* Max-Traeger-Stiftung (Hrsg.).
- Yitbarek, S.; Engida, T. (2004).** *Concept cartoons as a strategy in learning, teaching and assessment chemistry.* Addis Abeba (Unveröffentl. Manuskript)
- Zeitschrift für Pädagogik 41(1995) 6, 889-903.
- Zembski, H. (1992).** *Messung von Einstellung und Haltung.* chimica didactica 18 (1992) 1, 47-66
- Zenner, C.; Scheuermann, H.; Ropohl, M. (2017).** *Das Kupfer-Problem 2.0 – Untersuchung der Schülervorstellungen zur Oxidation von Kupfer.* CHEMKON 24 (2017) 5, 391-396
- Zeyer, A. (2010).** *Motivation to Learn Science and Cognitive Style.* Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education 6 (2010) 2, 121-128
- Zeyer, A. (2012).** *Brain type or Sex Differences. A Structural Equation Model of the Relation between Brain type, Sex, and Motivation to Learn Science.* International Journal of Science Education 34(2012) 5, 779-802
- Ziegler, A.; Schober, B. (1998).** *Theoretische Grundlagen und praktische Anwendung von Reattributionstrainings.* Manuskript
- Ziegler, A.; Dresel, M.; Schober, B. (2000).** *Prädiktoren des Selbstvertrauens von Mädchen und Jungen vor dem erstmaligen Chemieunterricht am Gymnasium.* Psychologie in Erziehung und Unterricht 47 (2000) 66-75
- Ziegler, C.; Obst, H. (2000).** *Musteranalyse einer Unterrichtssequenz im Fach Chemie.* Meyer, M. A.; Schmidt, R. (Hrsg.) (2000). Schülermitbeteiligung im Fachunterricht (S. 177-198). Opladen: Leske + Budrich
- Zierer, K. (2016).** „Welche ist die beste Unterrichtsmethode, Mr. Hattie?“ Friedrich Jahresheft 2016, 30-31
- Zierer, K. (2019).** *Herzen und Hirne.* SZ v. 13.12.19, S.5
- Zimmer, C. (2006).** *Die Neurobiologie des Selbst.* Spektrum der Wissenschaft (2006) 5, 34-41.
- Zimmer, C. (2011).** *Das Gehirn als Netzwerk.* Spektrum der Wissenschaft (2011) 10, 22-28
- Zimmermann, M. (2008).** *Chemische Experimente in einem narrativen Kontext – Untersuchung im Rahmen eines Projekts.* Schriftliche Hausarbeit aus der Chemiedidaktik der LMU München zum 1. Staatsexamen 2008.
- Zimmermann, S. (2012).** *Hinter der Mauer des Schweigens.* Gehirn & Geist 10 (2012) 38-45
- Zimmermann, S. (2015).** *Der kleine Stups zu mehr Vernunft.* Gehirn & Geist 13 (2015) 10, 24-28
- Zölfel, R. (2015).** *Kreative Forschungsräume schaffen – Kinder als UmweltforscherInnen.* IMST-NL 14 (2015) 44, 23-25
- Zöpfl, H. (1967).** *Bildung und Erziehung angesichts der Endlichkeit des Menschen.* Donauwörth : Auer
- Zöpfl, H. et al. (Hrsg.) (1976).** *Kleines Lexikon der Pädagogik und Didaktik.* Donauwörth: Auer.
- Zöpfl, H. (2019).** *Unsere Kinder.* Landshuter Zeitung v. 15.12.19.

Zollfrank, C. (2014). *Biogene Polymere als Template*. ChiuZ 48 (2014) 4, 296-304

„Steckbrief“

Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Michael A. Anton, PD, Ltd. Akad. Dir. i. R.
 Fachbereich: Didaktik & Mathematik der Chemie; LMU Mchn & Institut für Didaktik
 der Chemie IDC, Uni Wien
 Adresse (privat): Blombergstr. 2 c, D-82054 Sauerlach; Tel/mobil: 0049 151 260 94142
 E-mail: michaelanton48@web.de/ michael.alfred.anton@univie.ac.at



Michael A. Anton ist 1948 in München geboren und hat dort Biologie und Chemie für das Lehramt an Gymnasien studiert. Er ist überzeugter Didaktiker und Mathetiker. Arbeitsziele sind pragmatische Begriffseingrenzung und fachdidaktische Modellentwicklung. Besonderes Interesse gilt dem Zusammenwirken von Fach-, Vermittlungs- und Erziehungswissenschaft zu einer gelingenden Lehrerbildung in universitärer Theorie- und praktischer Unterrichtsentwicklung. Forschungsziel ist die Wirkungsweise von Experimenten und Strukturierungen auf die Verstehensleistung der SchülerInnen. Als Lehrbeauftragter in Schulpädagogik unterrichtete er "Drogenziehung und Suchtprävention" für alle LA-Studierenden der Universität (LMU). Zu beiden Bereichen erfolgten bisher mehr als 70 Veröffentlichungen und weit über 100 Vorträge im In- und Ausland.

- ❖ **Lehrer für Biologie und Chemie an Gymnasien in Ansbach und München (1975–1994)**
- ❖ Seminarlehrer für Chemie in Ansbach (Mittelfranken) (1982-1988) und München (1988–1994)
- ❖ Lehrbeauftragter für Pädagogik und Didaktik der Prävention in München (LMU) (1993-2002)
- ❖ Mitglied der Lehrplankommission für Chemie am Gymnasium in Bayern (1988–1991)
- ❖ Mitglied in der AG „Dillinger Papier“ 'Weiterentwicklung des bayerischen Gymnasiums' (1997)
- ❖ Beratendes Mitglied in der Lehrplankommission für das neue G9 (2017)
- ❖ Mitglied der Lehrplankommission für Chemie an AHS in Österreich (2001-2003)
- ❖ Mitglied der Kommission zur Erstellung von Handreichungen für den LP (Ö) (2004 - 2005)
- ❖ Vertreter der Chemiedidaktik in den Kommissionen zur Festlegung der Kerncurricula und inhaltlichen Prüfungsanforderungen für die Lehrerbildung in Bayern („Lehrbildungsstandards“) (2005-2006)
- ❖ **Promotion in Didaktik der Naturwissenschaften und Pädagogik (Salzburg / München 1995)**
- ❖ **Habilitation in Chemiedidaktik zum PD an der Universität zu Köln (6/2011); Lehre: 2012–2014**
- ❖ Gastprofessor für Chemiedidaktik an der Universität Wien (2001, 2003)
- ❖ **Ernennung zum Honorarprofessor der Universität Wien (2003); Lehre: 2003 -2020**
- ❖ Verantwortlicher für Chemiedidaktik der Betreuungslehrausbildung (UBL) der Uni Wien (2005-2015)
- ❖ Verantwortlicher für Chemiedidaktik der Mentor*innenausbildung der Uni Wien (2022-)
- ❖ Gastprofessor für Didaktik der Chemie an der Universität Klagenfurt (2004)
- ❖ **Leiter der Abteilung "Didaktik & Mathematik der Chemie" in München (LMU) für die Ausbildung aller Lehramts-Studierenden für GS, FöS, MS, RS und GY mit dem Fach Chemie (1994 - 2016)**
- ❖ **Sprecher der Arbeitsgemeinschaft Bayerischer Chemiedidaktiker (ABayCD) (1995–2010; 2014-2016)**
- ❖ **Leiter des Instituts für Didaktik der Chemie (IDC) an der Universität Wien (2020-2024)**
- ❖ Mitglied im Österreichischen Universitätsprofessor/innenverband (UPV) (2021-), Mitglied des Präsidiums zu Fragen der Lehrer*innenbildung
- ❖ Mitglied der „Plattform Grüne Chemie“ des Österreichischen Bundesministeriums für Umwelt ... (2022-)
- ❖ Mitglied der „Gutachterkommission für Lehrmaterialien“ des Österreichischen Bundesministeriums für Bildung ... (2022-)
- ❖ Mitglied der *Fachgruppe Chemieunterricht* in der GDCh (2005-)
- ❖ Mitglied der Österreichischen Chemischen Gesellschaft (ÖGH) (2022-)
- ❖ Lehrauftrag Sem. „Inklusion im Chemieunterricht“ & Projektverantwortlicher f. „Inklusiver Chemieunterricht“ (2016-2018)
- ❖ Lehrauftrag (LMU) „Übungen im Demonstrieren und Vortragen“ (2018)
- ❖ Vorstandsmitglied der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP) (2000-2004)
- ❖ Fachberater für Chemiedidaktik beim YouTube-Kanal „Terra X – Lesch & Co des ZDF (2017)
- ❖ **Member of IMST: Sprecher des Schwerpunktprogramms "Grundbildung" im österreichischen Projekt IMST² (Innovations in Mathematics, Science and Technology Teaching) (2001- 2010)**
- ❖ Verantwortlicher für Chemiedidaktik im **AK „Fachbezogener Bildungsmanager“ (fBM)** im „Austrian Educational Competence Centre Chemistry“ (AECC-C) der Uni Wien (2006- 2009)
- ❖ Vorsitzender der Gemeinsamen Kommission für Fragen der Didaktik, LMU (2004 - 2006) und **Sprecher der Arbeitsgemeinschaft Fachdidaktiken' der LMU & Mitglied der Konferenz der Fachdidaktiken an Bayerischen Universitäten (KFBU) (2011-2016)**
- ❖ Mitglied im Vorstand des 'Münchner Zentrums für Lehrerbildung' der LMU München (mzl^{LMU}) (2011-2016)
- ❖ Mitglied im Kernteam und im wissenschaftlichen Beirat für die Neukonzeption der **Chemieabteilung im Deutschen Museum München** (2005-2022)
- ❖ Berater für Chemiedidaktik in Singapur im Auftrag von Goethe-Institut & ISB München (1995). Vortrag an der **Nanyang Technological University Singapore**
- ❖ Akkreditierung als Experte für Chemiedidaktik im TEMPUS-Projekt der Europäischen Union (2002): Improvement of Teaching Quality in South East Europe (ITQSEE): Sarajewo (Universität) (2003)
- ❖ Akkreditierung als Trainer für Chemiedidaktik für die Lehrerbildung im Jemen im „General Education Improvement Programme (GEIP) der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) (2011)
- ❖ Gutachter (Chemiedidaktik) im Auftrag d. Deutschen Zentrums für Hochschul- und Wissenschaftsforschung (DZHW)(2013)
- ❖ **Preisträger des Bayerischen Lehrer- und Lehrerinnenverbands (BLLV) "Pädagogik Innovativ - Förderpreis 2001" für "herausragende Leistungen für die Lehrerbildung"**
- ❖ **Auszeichnung** des Beitrags „Die Chemie zwischen Phobie und Akzeptanz – Wie kann die Lücke zwischen Unwissenheit und Innovation geschlossen werden?-, im **Rahmen des J. J. Becher-Preises 2007** durch eine „Anerkennung“ (Juni 2007) + Veröffentlichung (2008)
- ❖ Träger des **GEORG KERSCHENSTEINER-Preises 2013 des Verbands der Chemielehrer an Realschulen in Bayern**