



Kernchemie

Prof. Dr. Dr. h.c. Thomas M. Klapötke

31. Oktober 2025



Anorganische Experimentalchemie

Recommended Format for the Periodic Table of the Elements

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac**															
		*Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
		**Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

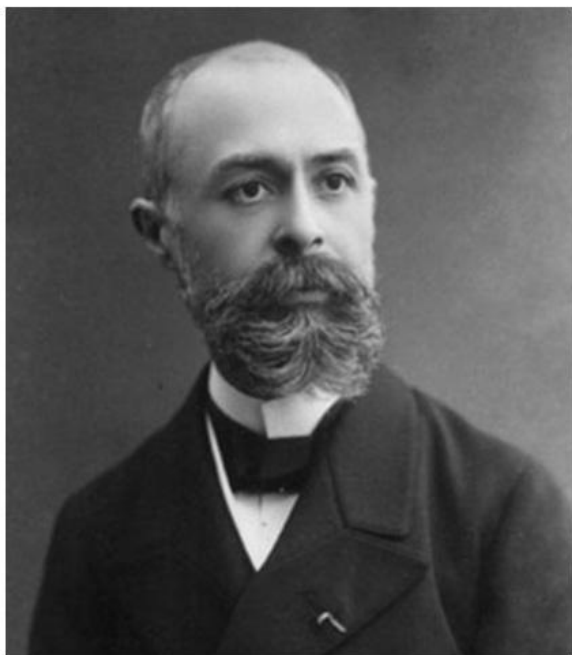
Zr and Hf very similar: relativity and shell-structure cancel.
 The "gold maximum" of relativistic effects.
 "d-block contraction".
 "f-block" or "lanthanoid" contraction.
 About 10 per cent of the lanthanoid contraction is relativistic.
 Atomic $d^{n-2}s^2$ configurations.
 Valency increase.
 Valency decrease by 2.
 High valencies due to the relativistic "activation" of 5f AOs (smaller $IP(5f)$). Recall the chemical importance of the $6p_{3/2}$ "semicore" AOs.
 Mo versus W: Same R_e but larger k_2 and D_e for W.
 Au yellow.
 Hg liquid.
 Monovalent Bi^+ compounds, due to $(6p_{1/2})^2$ closed shells.
 Pb fcc, not diamond.
 Cs^+Au^- : Gold EA increased by relativity.
 Stability of Hg_2^{2+} .

Relativity and the Periodic Table: a summary.



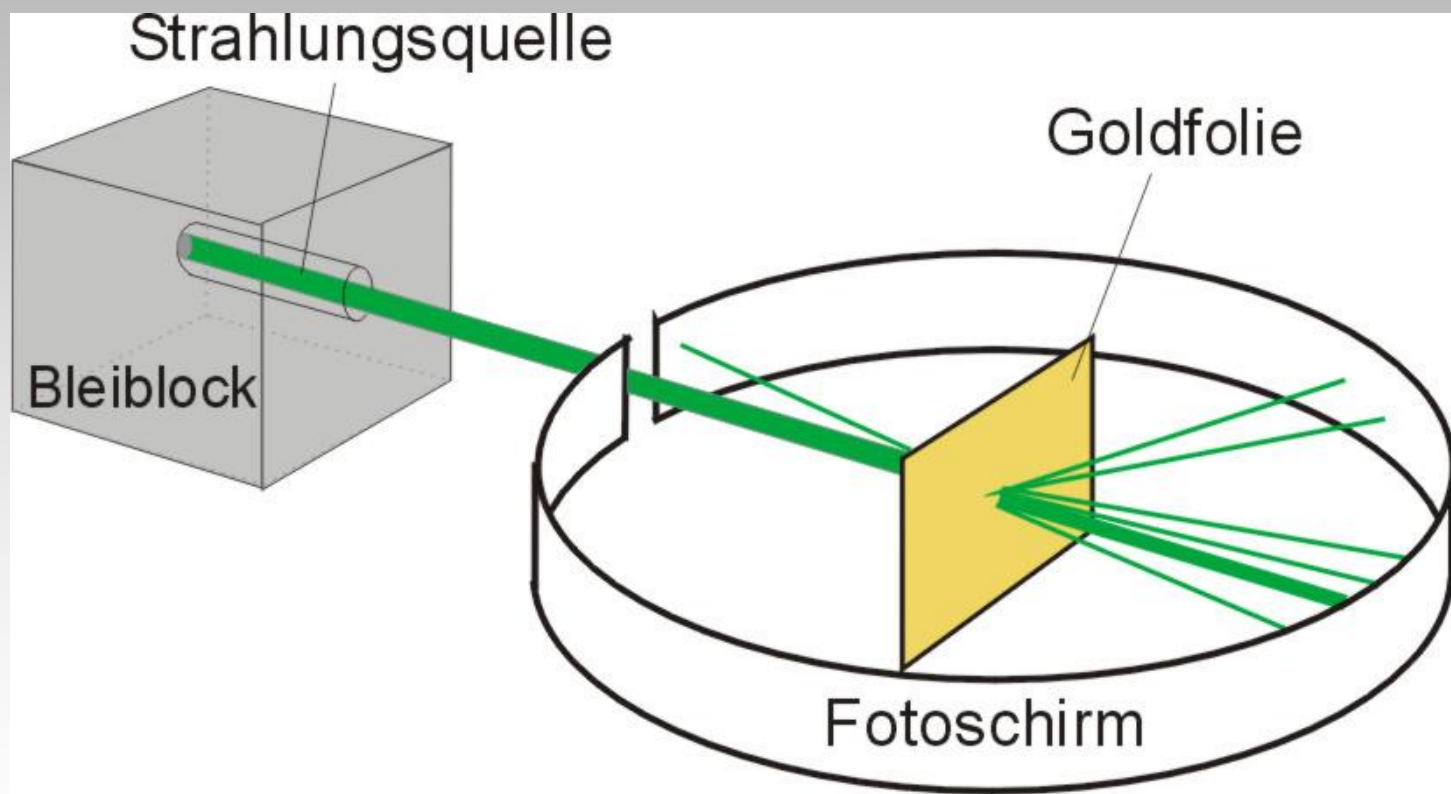
- Literatur:** K. S. Pitzer, *Acc. Chem. Res.* **1979**, 12(8), 271 – 276.
- C. W. Haigh, *J. Chem Educ.* **1995**, 72(3), 206 – 210.
- P. Pyykkö, *Chem. Rev.* **1988**, 88, 563 – 594.
- T. M. Klapötke, I. C. Tornieporth-Oetting,
Nichtmetallchemie, VCH, Weinheim, **1994**, 71 – 77.

Pioniere der radioaktiven Strahlung:



Henry Becquerel (links), Marie Curie (mitte) und Ernest Rutherford (rechts).

Rutherford'scher Streuversuch





Rutherford'scher Streuversuch

Der englische Physiker Lord Ernest Rutherford beschoss 1910/11 eine sehr dünne Goldfolie mit alpha-Strahlen aus einem radioaktiven Präparat. Es stellte sich ein erstaunliches Ergebnis heraus: Nur ganz wenige alpha-Teilchen wurden abgelenkt oder reflektiert. Der größte Teil der alpha-Teilchen passierte die ca. 2.000-4.000 Atome dicke Goldfolie so, als sei überhaupt kein Hindernis vorhanden.

Aus den Ergebnissen dieses Versuches schlussfolgerte Rutherford, dass das Atom aus einem positiv geladenen Kern, der nahezu die gesamte Masse des Atoms in sich vereinigt, und einer fast masselosen Hülle bestehen muss. Nur die wenigen alpha-Teilchen, die in die Nähe des Kerns gelangten, wurden abgelenkt oder reflektiert. Während der Radius eines Atoms bei ca. 10^{-10} liegt, beträgt der des Atomkerns lediglich etwa 10^{-15} m. Der Radius des Atomkerns ist also etwa 100.000-mal kleiner als der des gesamten Atoms.

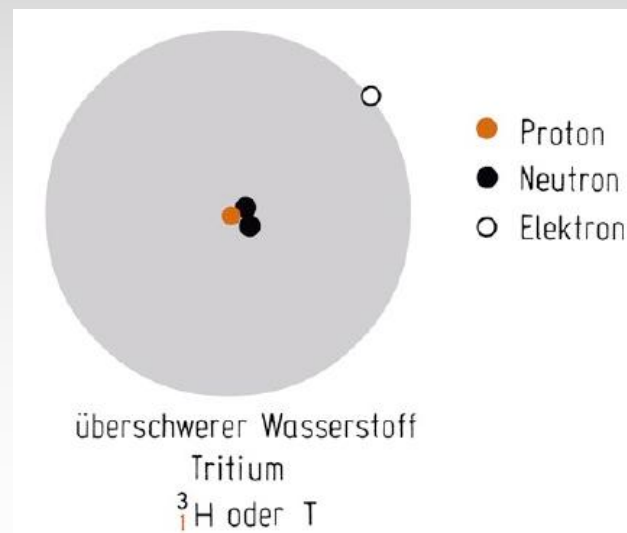
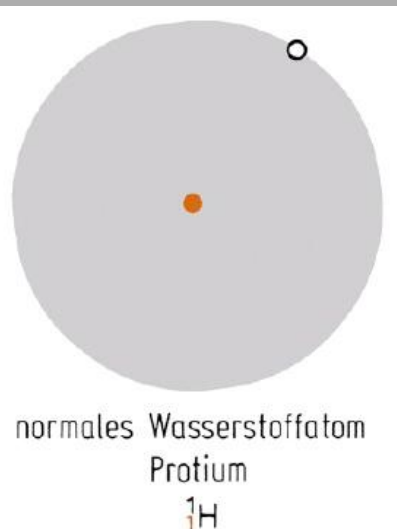
Tabelle 1.2 Nuklide der ersten zehn Elemente

Ord- nungs- zahl = Kern- ladungs- zahl	Element	Nuklid- symbol	Pro- tonen- bzw. Elek- tronen- zahl	Neu- tro- nen- zahl	Nukle- onen- zahl	Nuklid- masse in u	Atomzahl- anteil in %	Mittlere Atom- masse in u
1	Wasserstoff H	^1H	1	0	1	1,007825	99,985	1,0080
		^2H	1	1	2	2,01410	0,015	
		^3H	1	2	3		Spuren	
2	Helium He	^3He	2	1	3	3,01603	0,00013	4,0026
		^4He	2	2	4	4,00260	99,99987	
3	Lithium Li	^6Li	3	3	6	6,01512	7,42	6,941
		^7Li	3	4	7	7,01600	92,58	
4	Beryllium Be	^9Be	4	5	9	9,01218	100,0	9,01218
5	Bor B	^{10}B	5	5	10	10,01294	19,78	10,81
		^{11}B	5	6	11	11,00931	80,22	
6	Kohlenstoff C	^{12}C	6	6	12	12,00000	98,89	12,011
		^{13}C	6	7	13	13,00335	1,11	
		^{14}C	6	8	14		Spuren	
7	Stickstoff N	^{14}N	7	7	14	14,00307	99,63	14,0067
		^{15}N	7	8	15	15,00011	0,36	
8	Sauerstoff O	^{16}O	8	8	16	15,99491	99,759	15,9994
		^{17}O	8	9	17	16,99913	0,037	
		^{18}O	8	10	18	17,99916	0,204	
9	Fluor F	^{19}F	9	10	19	18,99840	100	18,9984
10	Neon Ne	^{20}Ne	10	10	20	19,99244	90,92	20,179
		^{21}Ne	10	11	21	20,99395	0,26	
		^{22}Ne	10	12	22	21,99138	8,82	

Der Zahlenwert der mittleren Atommasse in u ist gleich der relativen Atommasse A_r .

3.11.2010

Anorganische Experimentalchemie (Tag 8)



Atomarten (Isotope) des Wasserstoffs

Tab. 5 Atombausteine, -kerne und -hüllen

(Z = Kernladung, m = Massenzahl, A_r = relative Atommasse, N_A = Avogadro'sche Konstante^{a)})

Teilchen	Masse		Ladung		Radius ^{b)} [ca.. in m]	Dichte [ca.. in g/cm ³]
	relativ (¹² C = 12)	absolut [kg]	[in Coulomb]	[in e]		
Elektron	0.000 548 580	$9.109\,534 \times 10^{-31}$	$-1.602\,189 \times 10^{-19}$	-1	$< 10^{-19}$	$\gg 10^{14}$
u-Quark	0.322	0.535×10^{-27}	$+1.068\,126 \times 10^{-19}$	+2/3	$< 10^{-19}$	$\gg 10^{14}$
d-Quark	0.322	0.535×10^{-27}	$-0.534\,063 \times 10^{-19}$	-1/3	$< 10^{-19}$	$\gg 10^{14}$
Proton	1.007 276 ^{c)}	$1.672\,649 \times 10^{-27}$	$+1.602\,189 \times 10^{-19}$	+1	1.3×10^{-15}	2×10^{14}
Neutron	1.008 665 ^{c)}	$1.674\,954 \times 10^{-27}$	± 0	± 0	1.3×10^{-15}	2×10^{14}
Atomkern	$A_r - Z/1836$	$(A_r - Z/1836) : N_A$	$+1.6 \times 10^{-19} \times Z$	+Z	$1.3 \times 10^{-15} \times \sqrt[3]{m}$	2×10^{14}
Atomhülle	$Z/1836$	$(Z/1836) : N_A$	$-1.6 \times 10^{-19} \times Z$	-Z	um 2×10^{-10}	$2 \times 10^{-4} \times Z$

a) $N_A = 6.022\,045 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. b) Plancksche Elementarlänge = $1.617 \times 10^{-35} \text{ m}$. c) Ein Proton ist 1836.151mal, ein Neutron 1838.683mal schwerer als ein Elektron.

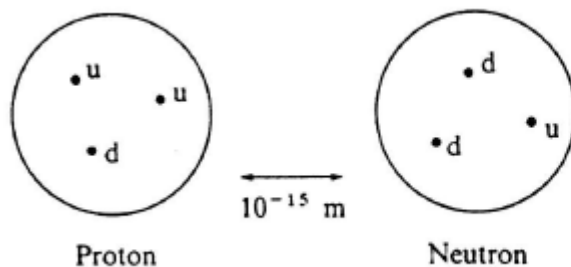


Fig. 33 Aufbau von Proton und Neutron aus Quarks.

$$1u = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C})$$

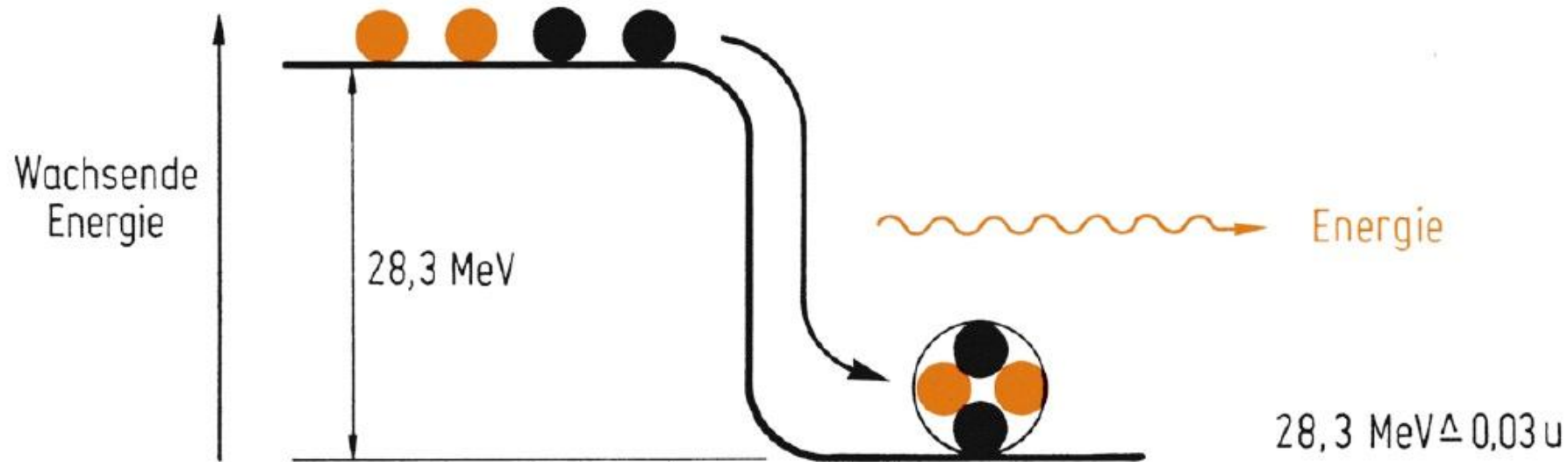
Element ${}_Z^AX$

Nuklid ${}_Z^AX$

Isotop ${}_Z^AX, {}_Z^{A'}X$

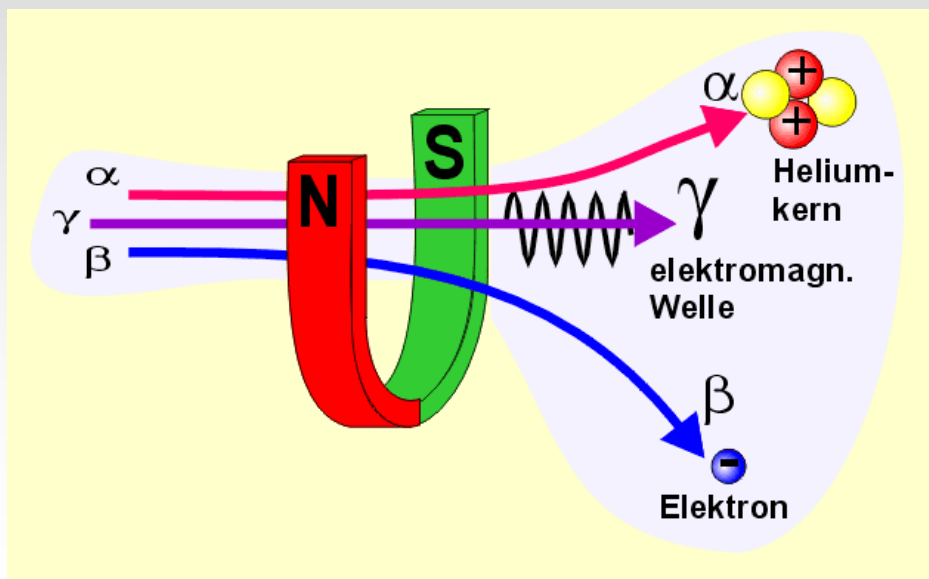
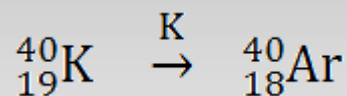
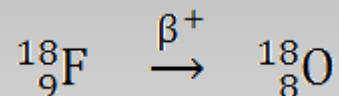
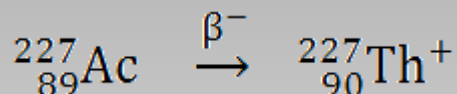
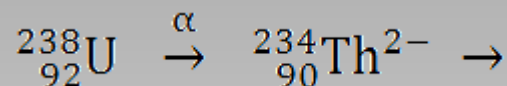
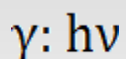
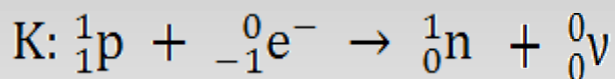
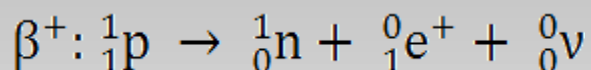
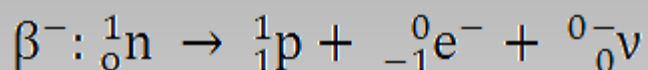
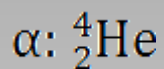
Isobar ${}_Z^AX, {}_{Z'}^{A'}Y$

Massendefekt



© 2007 Walter de Gruyter, Riedel/Janiak: Anorganische Chemie.

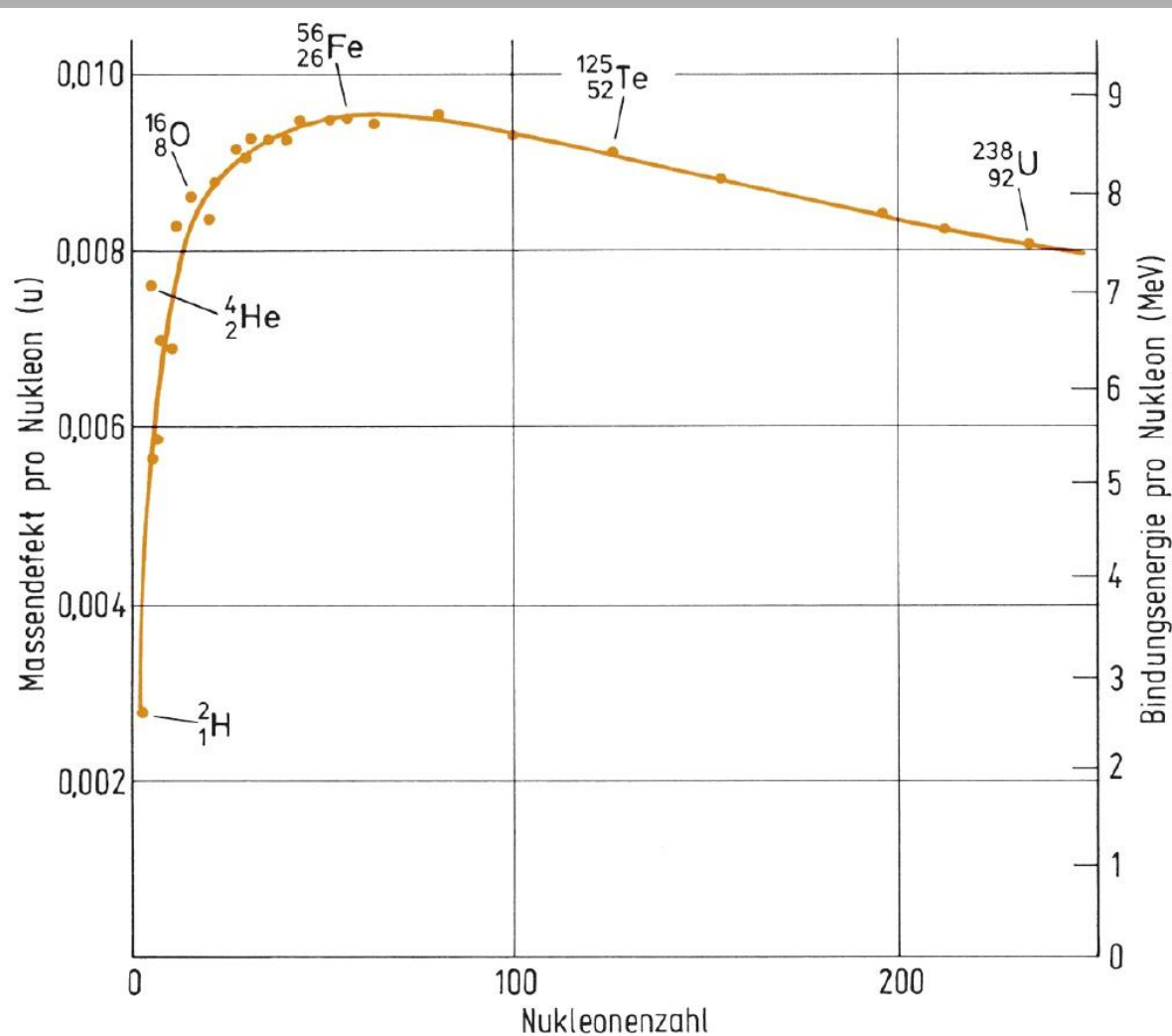
Radioaktive Strahlung





Dr Magdalena Rusan

Die Nebelkammer



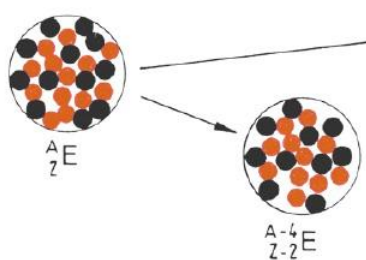
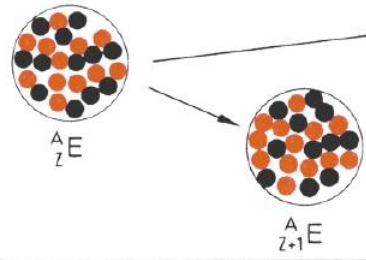
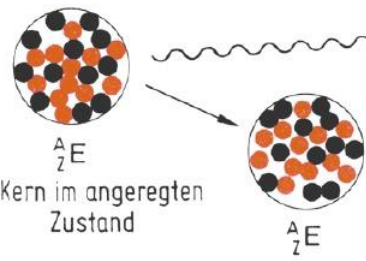
		Eigenschaften der Strahlungsteilchen			
Kernumwandlung	Teilchen der Strahlung	Bezeichnung der Strahlung	Kernladungszahl	Nukleonenzahl	Durchdringungsfähigkeit
 ${}^A_Z\text{E}$ $A-4$ $Z-2$	He-Kerne	α -Strahlung	+2	4	gering
 ${}^A_Z\text{E}$ A $Z+1$	$\ominus$ Elektronen	β -Strahlung	-1	0	mittel
 ${}^A_Z\text{E}$ Kern im angeregten Zustand ${}^A_Z\text{E}$ Kern im Grundzustand	Photonen (elektromagnet. Wellen)	γ -Strahlung	0	0	groß
 ● Proton ● Neutron					

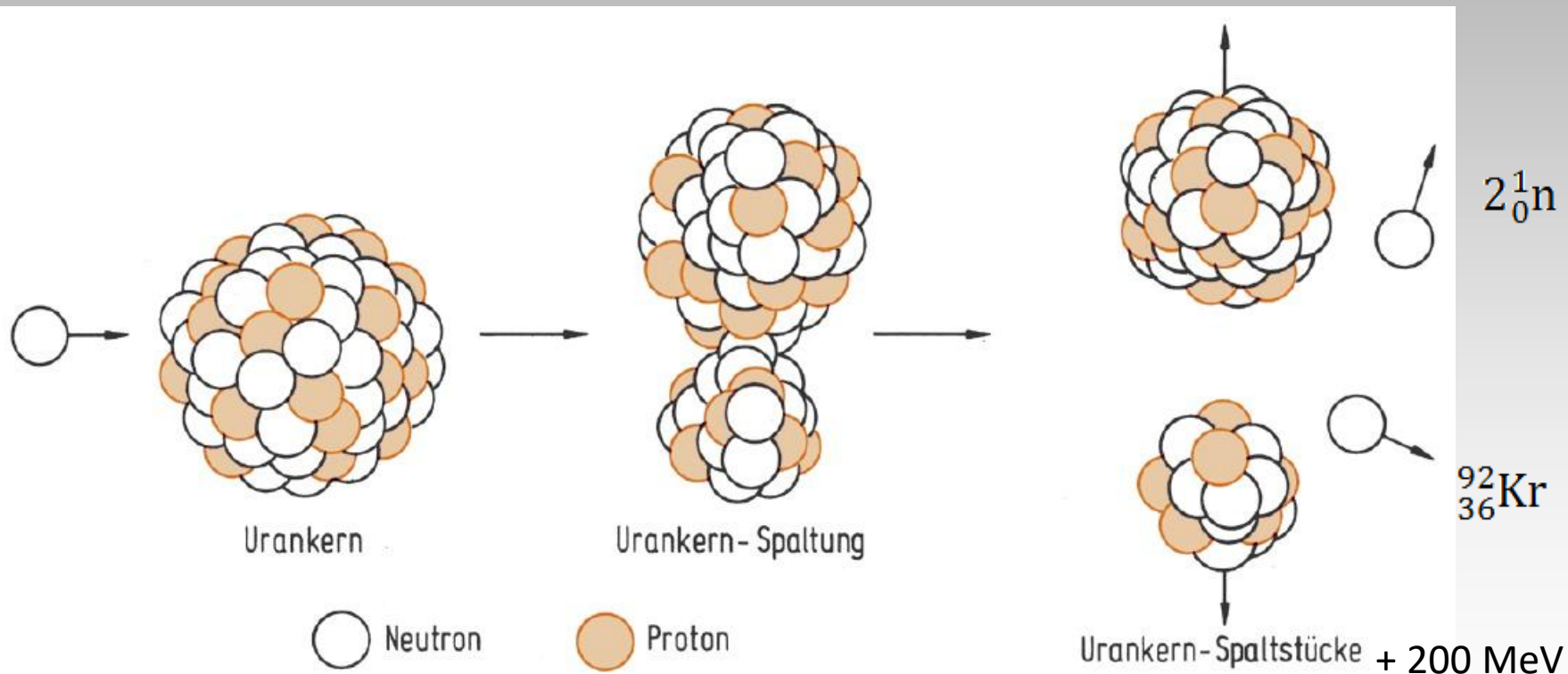
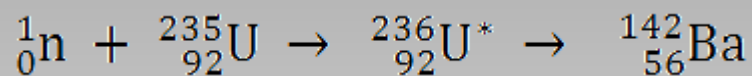
Tabelle 1.3 Radioaktive Zerfallsreihen

Zerfallsreihe	Nukleonen- zahlen	Ausgangs- nuklid	Stabiles Endprodukt	Abgegebene Teilchen	
				α	β
Thoriumreihe	$4n$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	6	4
Neptuniumreihe	$4n + 1$	$^{237}_{93}\text{Np}$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	7	4
Uran-Radium-Reihe	$4n + 2$	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	8	6
Actinium-Uran-Reihe	$4n + 3$	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{207}_{82}\text{Pb}$	7	4

Tabelle 1.4 Uran-Radium-Zerfallsreihe

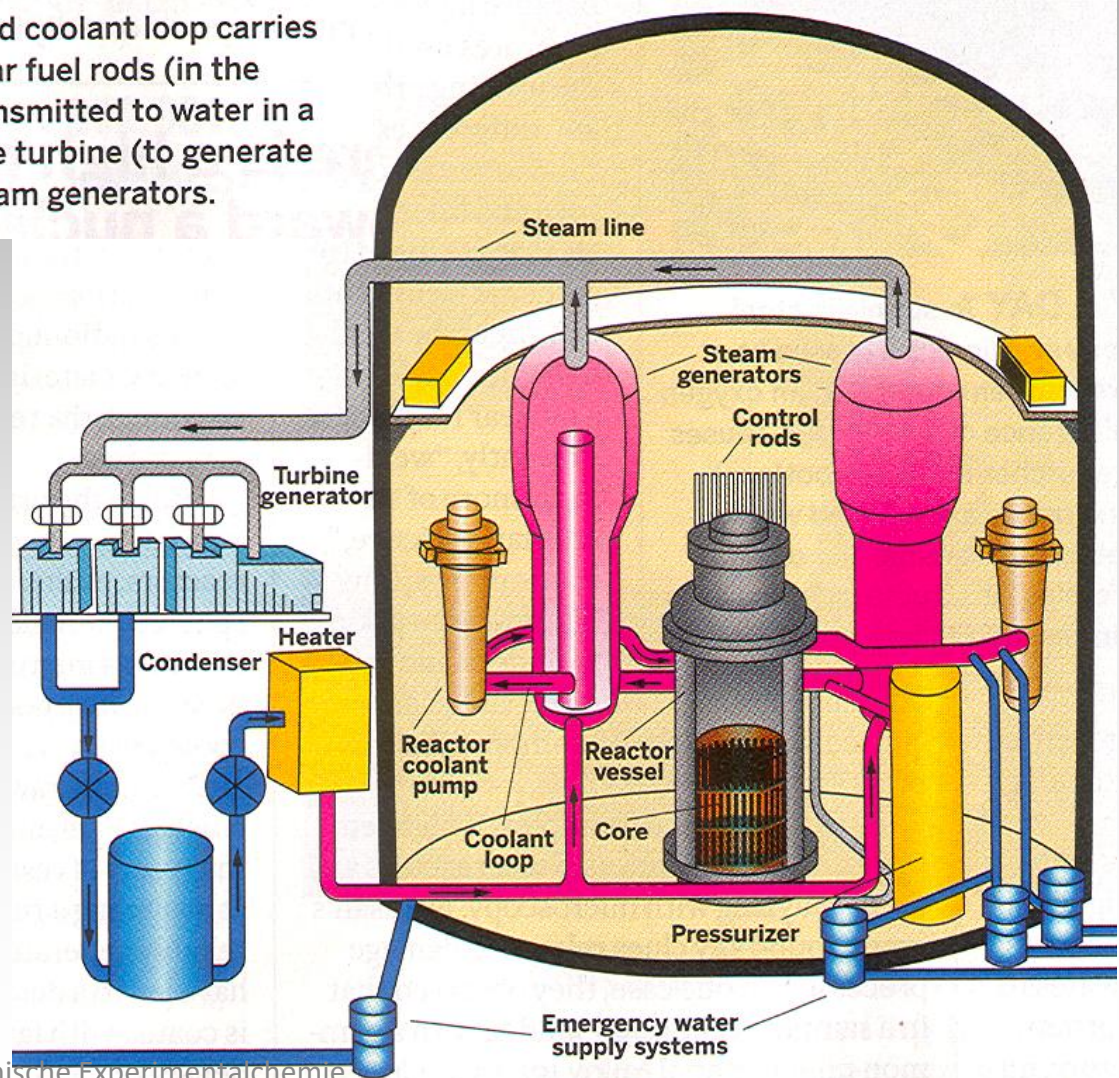
Nuklid	Halbwertszeit $t_{1/2}$	Nuklid	Halbwertszeit $t_{1/2}$	Nuklid	Halbwertszeit $t_{1/2}$
$^{238}_{92}\text{U}$	$4,51 \cdot 10^9$ Jahre	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1600 Jahre	$^{214}_{84}\text{Po}$	$1,64 \cdot 10^{-4}$ Sekunden
$^{234}_{90}\text{Th}$	24,1 Tage	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,83 Tage	$^{210}_{82}\text{Pb}$	21 Jahre
$^{234}_{91}\text{Pa}$	1,17 Minuten	$^{218}_{84}\text{Po}$	3,05 Minuten	$^{210}_{83}\text{Bi}$	5,01 Tage
$^{234}_{92}\text{U}$	$2,47 \cdot 10^5$ Jahre	$^{214}_{82}\text{Pb}$	26,8 Minuten	$^{210}_{84}\text{Po}$	138,4 Tage
$^{230}_{90}\text{Th}$	$8,0 \cdot 10^4$ Jahre	$^{214}_{83}\text{Bi}$	19,7 Minuten	$^{206}_{82}\text{Pb}$	stabil

Kernspaltung von ^{235}U

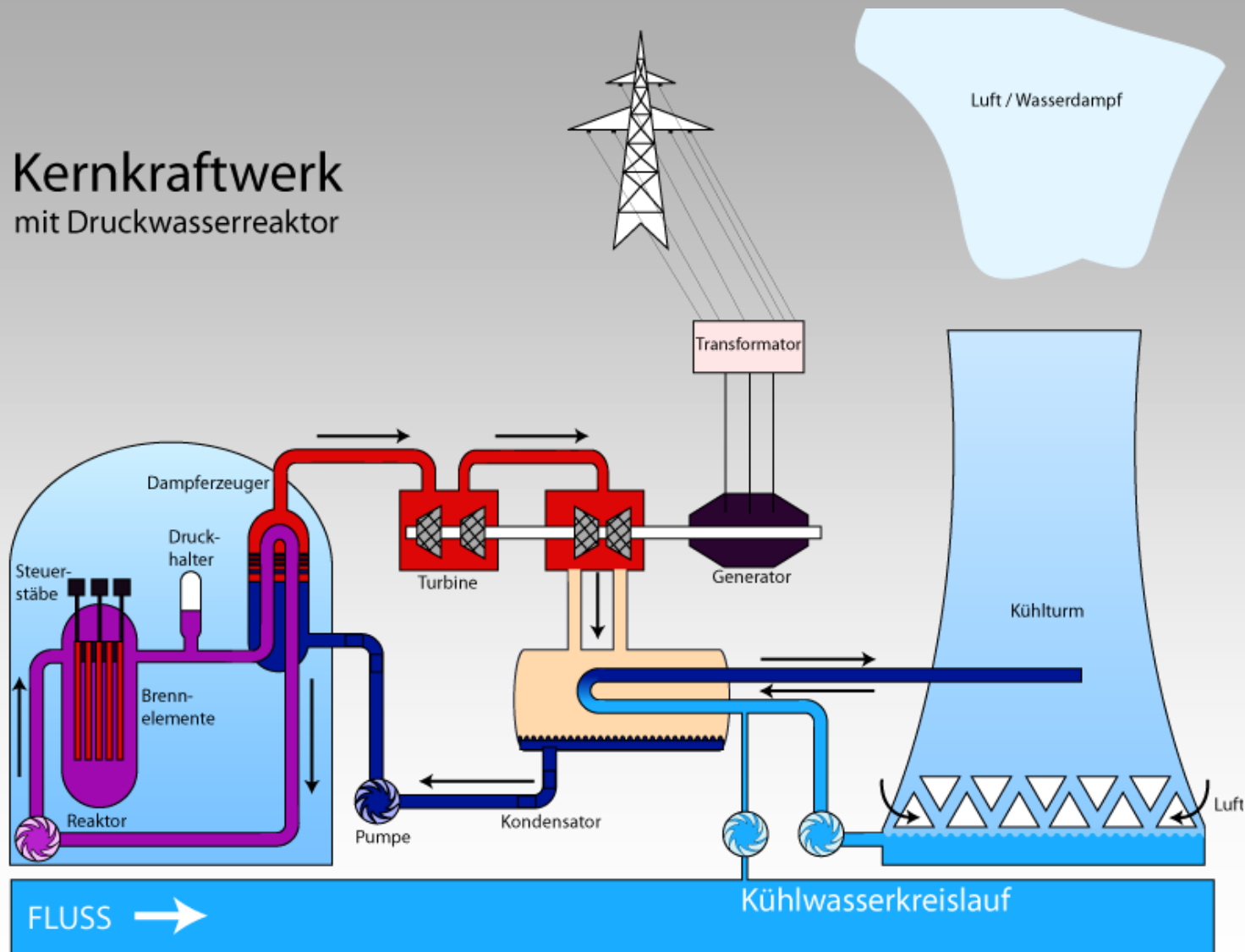


© 2007 Walter de Gruyter, Riedel/Janiak: Anorganische Chemie.

UNDER PRESSURE Pressurized water in a closed coolant loop carries intense heat generated by fission reactions in nuclear fuel rods (in the reactor core) to steam generators. There, heat is transmitted to water in a separate closed loop to form steam, which drives the turbine (to generate electricity), cools, condenses, and returns to the steam generators.



Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor



Temelin | 11.11.2019 | 12:45 Uhr

Panne im tschechischen AKW Temelin - Turbine vibriert

Lesenswert (12) kommentieren Weitersagen drucken merken 

Artikel

Artikel 8 / 98

<

>



Ein Reaktorblock des umstrittenen tschechischen Atomkraftwerks Temelin ist wegen einer Fehlfunktion unplanmäßig vom Netz genommen worden.

–Symbolbild: dpa

Ein Reaktorblock des umstrittenen tschechischen Atomkraftwerks Temelin ist wegen einer Fehlfunktion unplanmäßig vom Netz genommen worden. Grund seien erhöhte Vibrationen des Turbogenerators des ersten Blocks, teilte die Betreibergesellschaft CEZ am Montag mit. Die wahrscheinliche Ursache seien Schwankungen der Außentemperatur.

Der Druckwasserreaktor soll nun vollständig heruntergefahren werden, um das Problem näher zu untersuchen. Wann der Block wieder ans Netz gehen könnte, ist derzeit noch unklar. In der Vergangenheit war es im AKW Temelin wiederholt zu Problemen mit Turbinenvibrationen

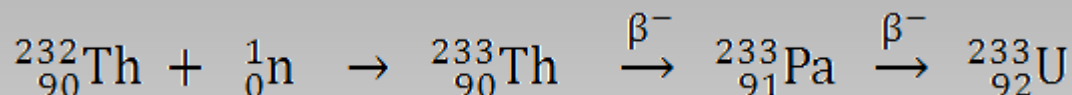
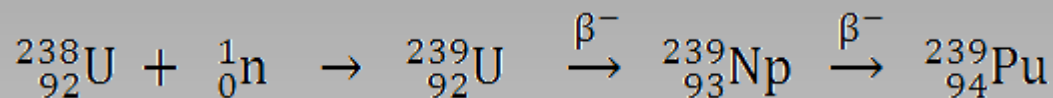
gekommen.

Nach Einschätzung der tschechischen Atomaufsichtsbehörde SUJB hat der Vorfall keine Auswirkungen auf die nukleare Sicherheit der Anlage. Die in Temelin verwendeten Turbinen sind eine Eigenentwicklung der Firma Skoda Power aus dem westböhmisches Pilsen (Plzen). Vor fünf Jahren waren die Rotorblätter erneuert und die Bruttoleistung von 1000 auf 1080 Megawatt erhöht worden.

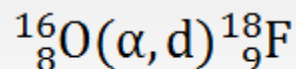
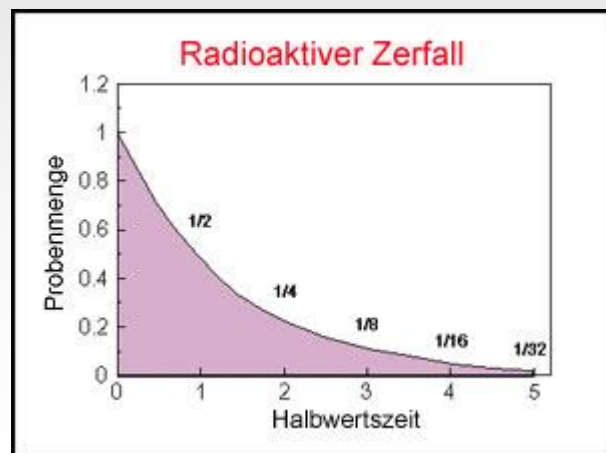
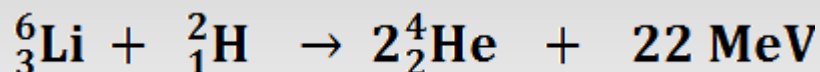
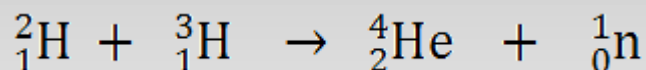
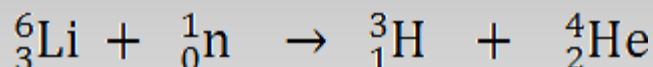
Das Atomkraftwerk Temelin in Südböhmen ist nur 60 Kilometer von den Grenzen zu Bayern und Österreich entfernt. Umweltschützer kritisieren die Anlage seit Jahren als besonders störanfällig. In der Kritik steht dabei besonders die Kombination aus russischer Reaktor- und US-amerikanischer Leiftechnik.

– dpa

= 110 min



Kernfusion:



$$t_{\frac{1}{2}} = 110 \text{ min}$$

$$N(t) = N_0 \exp\{-kt\}$$

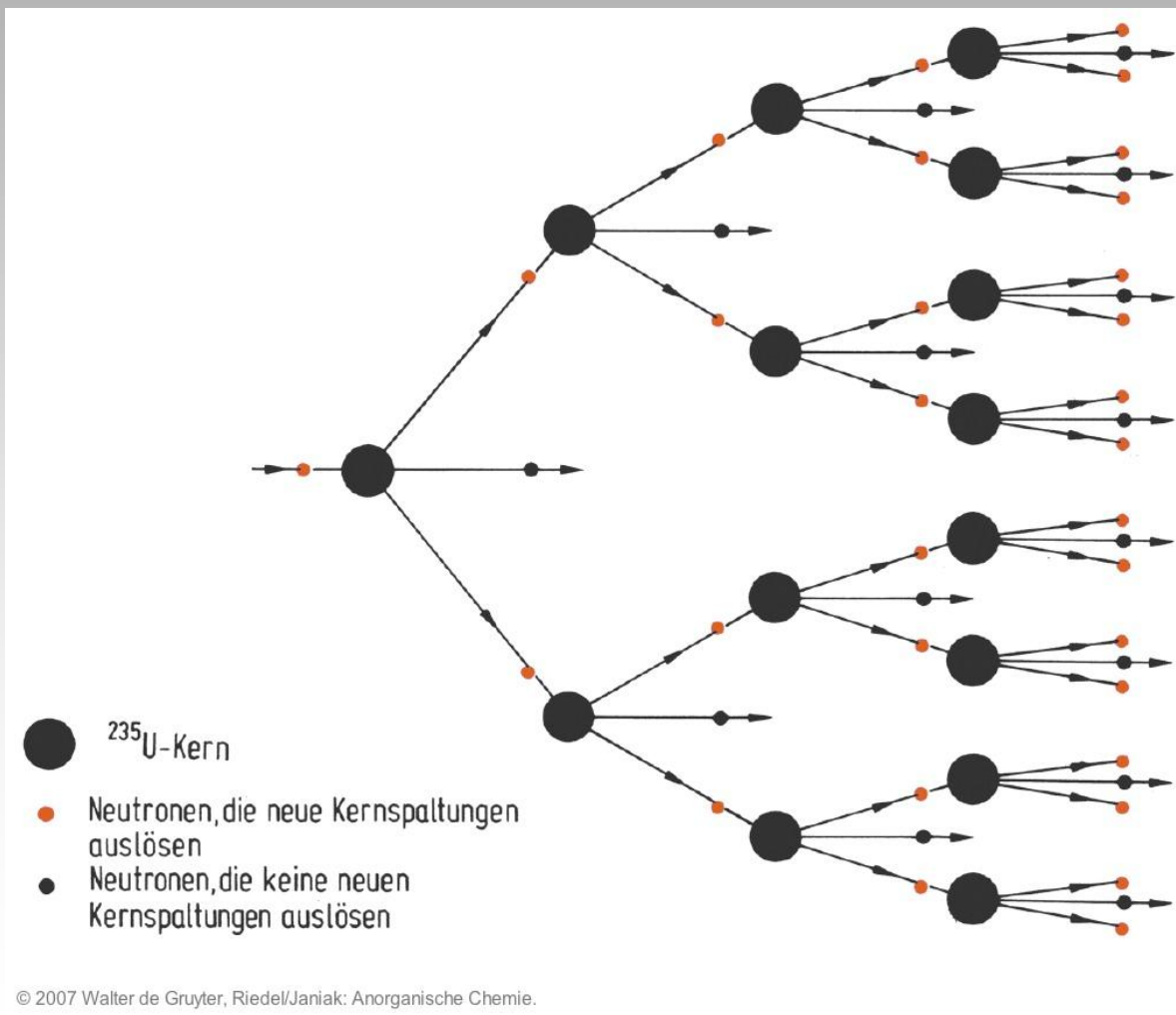
N = Anzahl der nicht zerfallenen Kerne

N₀ = Anzahl der ursprünglich vorhandenen Kerne

t = Zeit

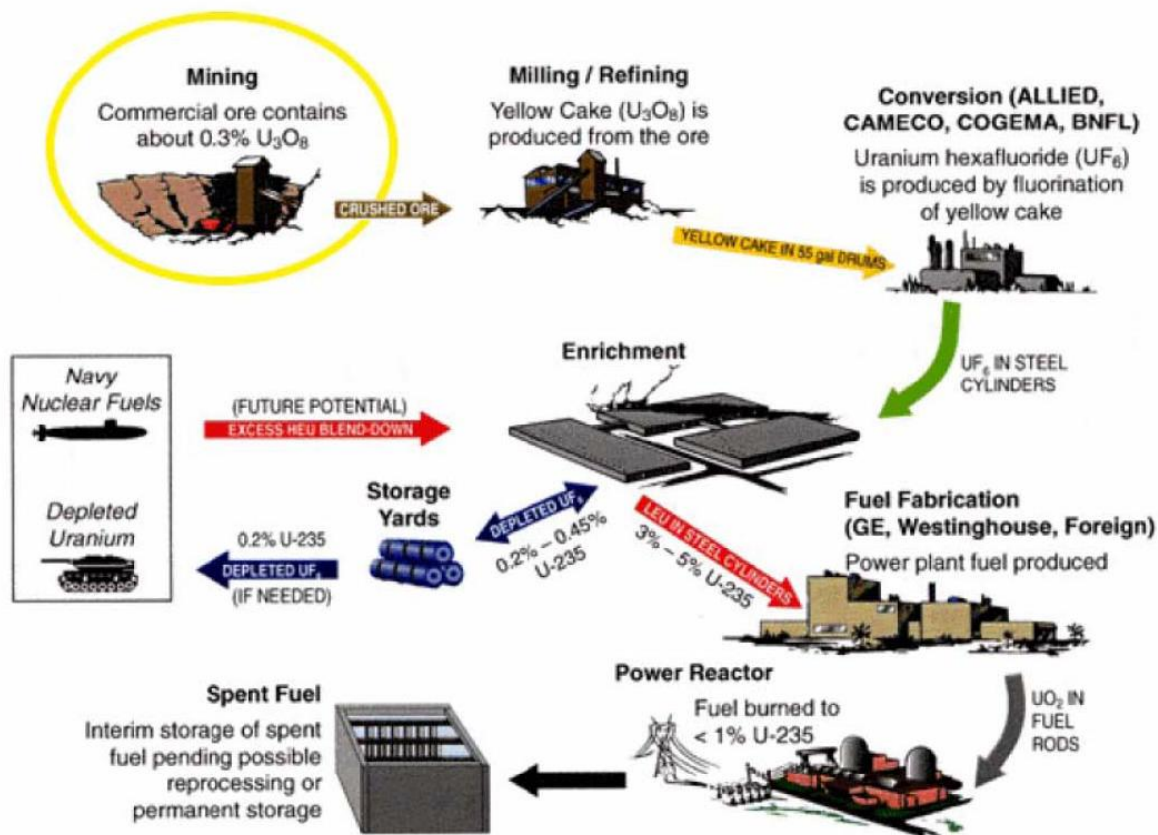
t_{1/2} = Halbwertszeit

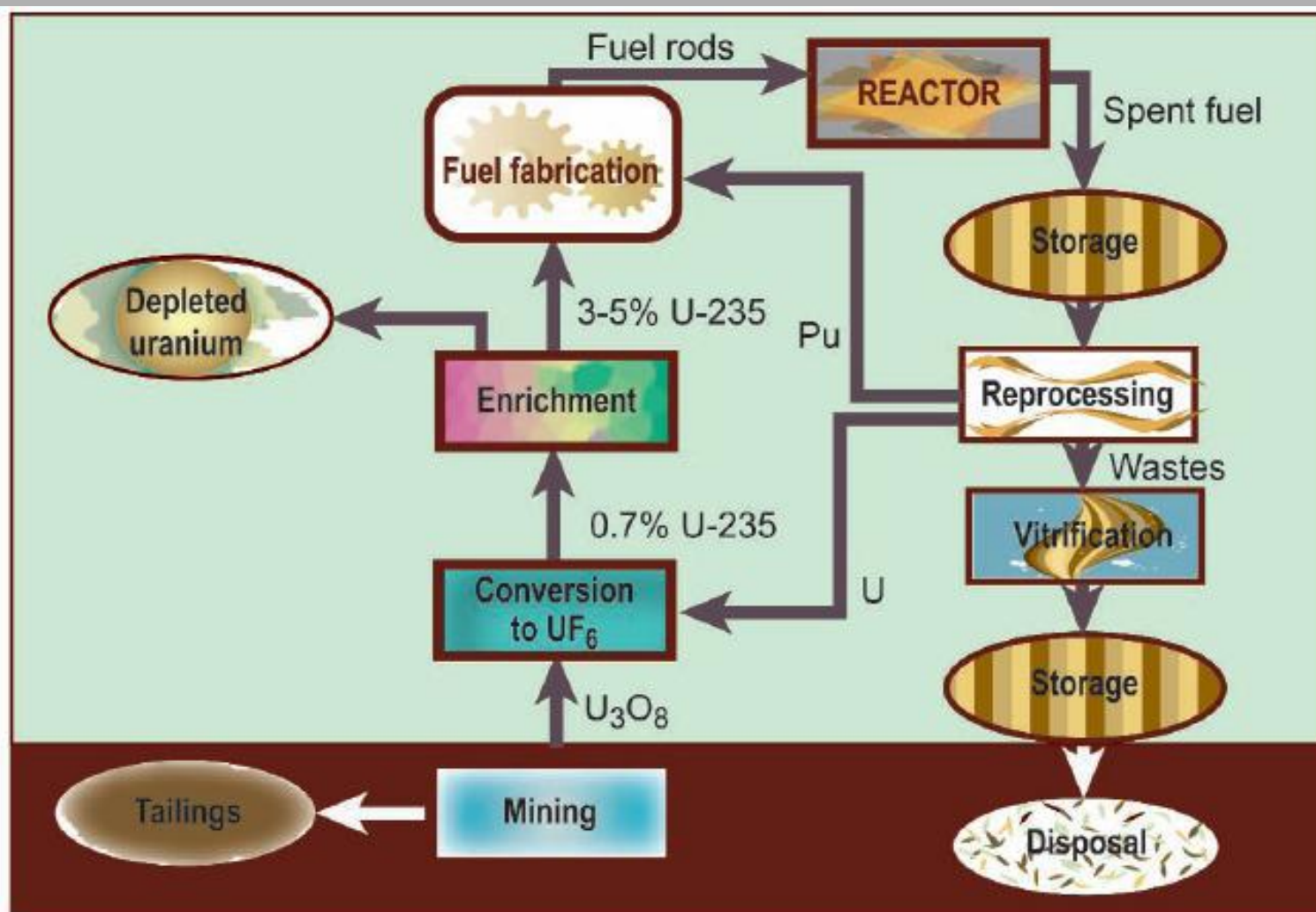
Kettenreaktion



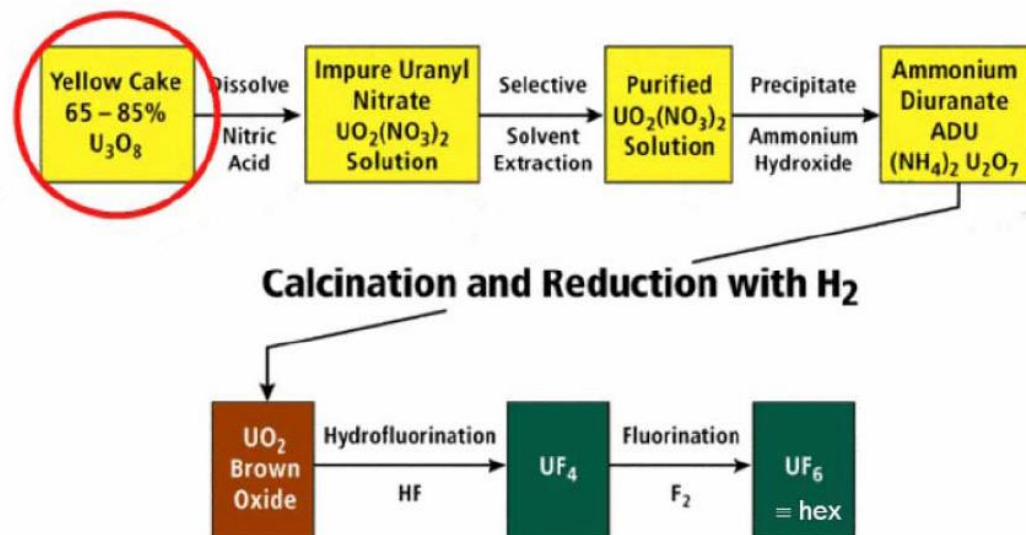
© 2007 Walter de Gruyter, Riedel/Janiak: Anorganische Chemie.

Welche industriellen Prozesse gibt es für Uran ?





Die Synthese von UF_6 ausgehend von 'yellow cake'



Es gibt zwei Methoden für die Darstellung von UF_6 :

- | | | |
|-----------------------|---|---|
| (i) Naßverfahren | } | beide Verfahren laufen über
die Zwischenstufen UO_2 und UF_4 |
| (ii) Trockenverfahren | | |

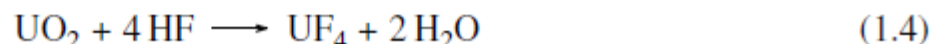
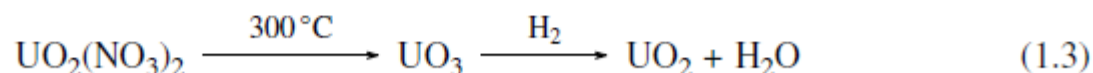
<http://web.ead.anl.gov/uranium/index.cfm>



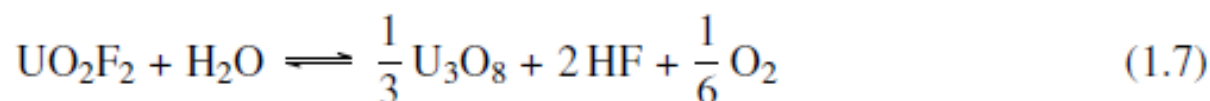
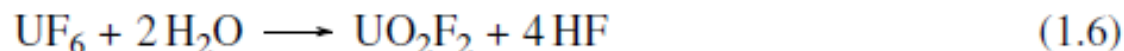
Die gemahlenden und gerösteten Uranerze werden durch Schwefelsäure sauer oder, bei stark Carbonat-haltigen Erzen, alkalisch mit Soda aufgeschlossen. Uran geht als sechswertiges Uranyl-sulfat UO_2SO_4 bzw. als $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]_4^-$ in Lösung und wird von unlöslichen Verunreinigungen

befreit. Die Lösungen werden durch Leiten über Anionenaustauschharze aufgereinigt und anschließend mit NH_3 zum $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ (Ammoniumdiuranat, ADU) umgesetzt. Aufgrund der gelben Farbe dieser Verbindung hat sie den Namen *yellow cake* erhalten, jedoch ist der heutzutage gehandelte *yellow cake* schwarz-braun, da ADU anschließend zu U_3O_8 calciniert wird. Der Urangehalt liegt nun bei ca. 80 %, während er im abgebauten Erz noch bei etwa 0.1 % lag.^[23,32,33]

Der *yellow cake* U_3O_8 wird nun in konzentrierter Salpetersäure in Form von $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ gelöst. Dieses wird mit Tributylphosphat (TBP) extrahiert, um noch bestehende metallische Verunreinigungen abzutrennen. Nach Eindampfen der Lösung zum $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ wird dieses thermisch zum UO_3 zersetzt. Die nachfolgende Reduktion mit H_2 resultiert in UO_2 (Gl. 1.3). Diese Verbindung wird in Form von gepressten Pellets in Brennstäben als Kernbrennstoff für die Kernspaltung verwendet. Da jedoch die allermeisten Reaktoren (Leichtwasserreaktoren) angereichertes Material hierzu benötigen, folgt zuerst die Umwandlung zu UF_6 in zwei Schritten: UO_2 wird mit HF zum UF_4 umgesetzt (Gl. 1.4), UF_4 wird nachfolgend mit F_2 zum UF_6 oxidiert (Gl. 1.5). Zwar ist es möglich UO_2 direkt mit elementarem Fluor zum UF_6 zu oxidieren, dies ist allerdings wegen des deutlich höheren F_2 -Verbrauchs zu teuer.^[23,32–34]



Schließlich wird das angereicherte UF_6 zum UO_2F_2 hydrolysiert (Gl. 1.6), welches wiederum durch Pyrolyse in Anwesenheit von H_2O und H_2 zum UO_2 für den Gebrauch als Kernbrennstoff dekonvertiert wird. Im Falle von abgereichertem UF_6 wird auf die Zugabe von H_2 verzichtet, woraus U_3O_8 resultiert (Gl. 1.7). Der größte Teil des abgereicherten UF_6 wird jedoch gar nicht dekonvertiert, sondern – insbesondere in den USA – direkt in großen Behältern bzw. Tanks eingelagert.^[27]



Quelle: Oscar Ewert, Masterarbeit im Bereich Anorganische Chemie, 2025
Ludwig-Maximilians-Universität München

Das Trockenverfahren wurde von Allied Chemical Corp. eingeführt. Hierbei wird das Uran-Konzentrat pelletisiert und in einem Fließbettreaktor bei Temperaturen zwischen 540 und 650 °C direkt mit Wasserstoff zu UO_2 reduziert. Die Hydrofluorierung zu UF_4 erfolgt in zwei hintereinander geschalteten Wirbelbettreaktoren. Nach der Fluorierung des gebildeten UF_4 in einer aus einem Flammenreaktor und einem Wirbelbettreaktor bestehenden Produktionseinheit wird das erzeugte UF_6 in einer zweistufigen Druckdestillation einem Reinigungsprozeß unterworfen. Dieser destillative Reinigungsprozeß ist notwendig, da – anders als bei den Naßverfahren – auf den vorhergehenden Stufen kein Reinigungsprozeß eingeschaltet ist.

Trockenverfahren zur Herstellung von UF_6 der Allied Chemical Corp.:

Uran-Konzentrat



Reduktion zu UO_2



Hydrofluorierung zu UF_4



Fluorierung zu UF_6



UF_6 -Reinigung durch fraktionierte Destillation

Die Lagerung von angereichertes UF_6

neuer UF_6 -Behälter



verrosteter UF_6 -Behälter



Transportwagen mit UF_6 -Behälter



UF_6 -Behälter in Oak-Ridge, USA



Wozu dient die Darstellung von UF_6 ?

Für die Konvertierung von ‚yellow cake‘ zu UF_6 gibt es zwei Hauptgründe:

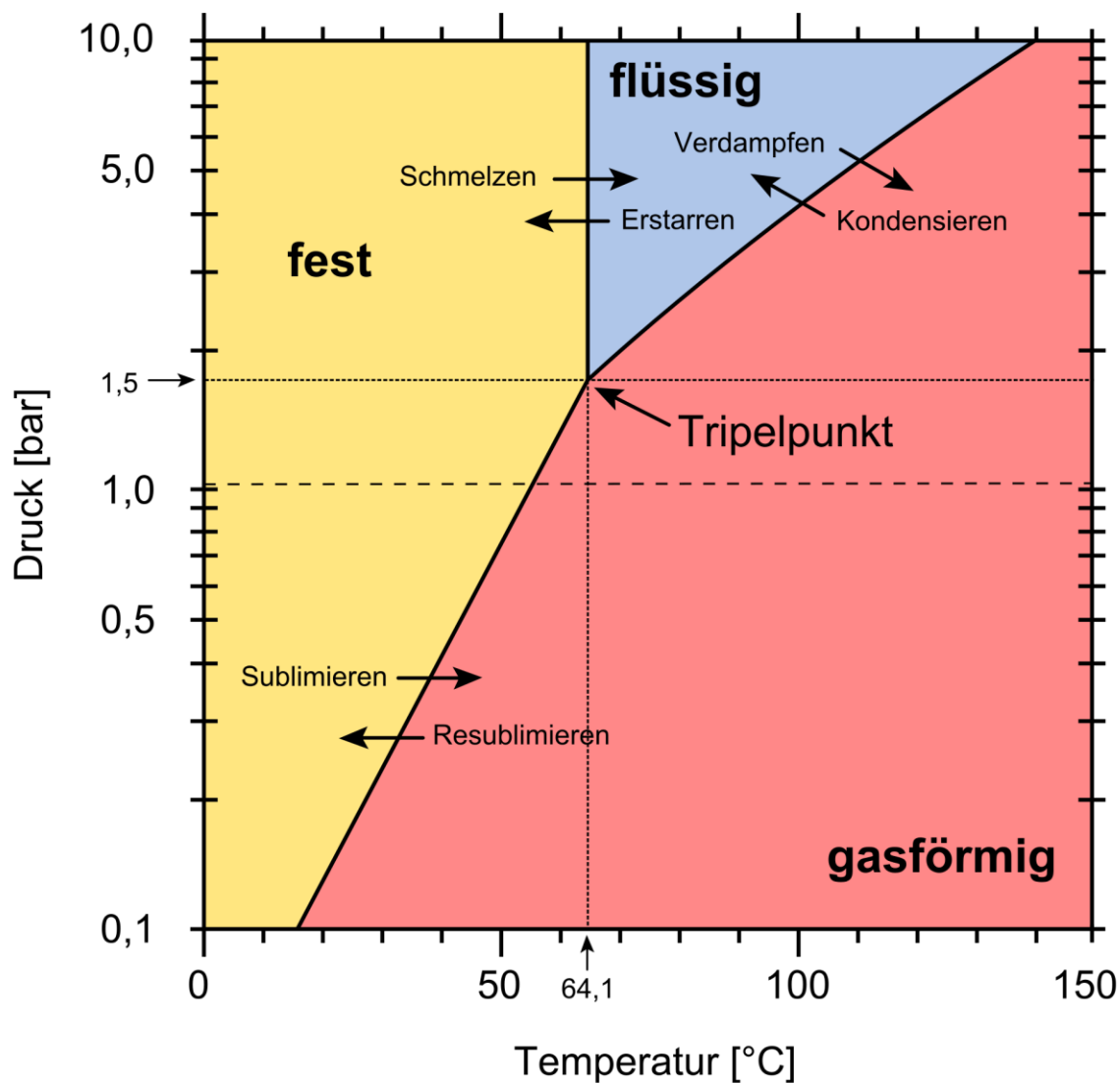
- (i) Reinigung des Urans
- (ii) Anreicherung des Urans

Verbindung	Schmelzpunkt / °C
Uran-Metall	1132.2
UF_4	960
UCl_4	590
UBr_4	519
UI_4	506
UF_6	64
UO_2	2827

UF_6 ist eine binäre Verbindung, und natürliches Fluor kommt ausschließlich als ^{19}F -Isotop vor. Deswegen sind die kleinen Unterschiede in den Isotopengewichten eine Konsequenz des Uran-Anteils.

Hauptsächlich werden drei Methoden für die ^{235}U -Anreicherung angewendet:

- (i) Gaszentrifuge
 - (ii) Gasdifusion
 - (iii) Elektromagnetische Isotopentrennung
- } eingesetzt wird jeweils UF_6



Die ^{235}U -Anreicherungs-Methoden

Hauptsächlich werden drei Methoden für die ^{235}U -Anreicherung verwendet:

(i) Gaszentrifuge

Diese Methode benutzt lange, mehrfach rotierende Rohre in denen es in der Randzone zu einer Anreicherung des schweren Uran-Isotops ^{238}U und zu einer Anreicherung des leichteren Isotops ^{235}U in der Zentrifugenmitte kommt



(ii) Gasdiffusion

Bei der Gasdiffusion wird UF_6 durch eine Kaskade hintereinander geschalteter, feinporiger Membranen hindurchgepresst, wobei die unterschiedlichen Diffusionsgeschwindigkeiten der verschiedenen schweren Isotope ausgenutzt werden.

(iii) Elektromagnetische Isotopentrennung

Das Verfahren nutzt die Tatsache aus, dass geladene Teilchen in einem Magnetfeld abgelenkt werden und das Ausmaß der Ablenkung massenabhängig ist.



In Reihe geschaltete Gaszentrifugen (sog. Gaszentrifugenkaskade) für die Anreicherung von Uran.

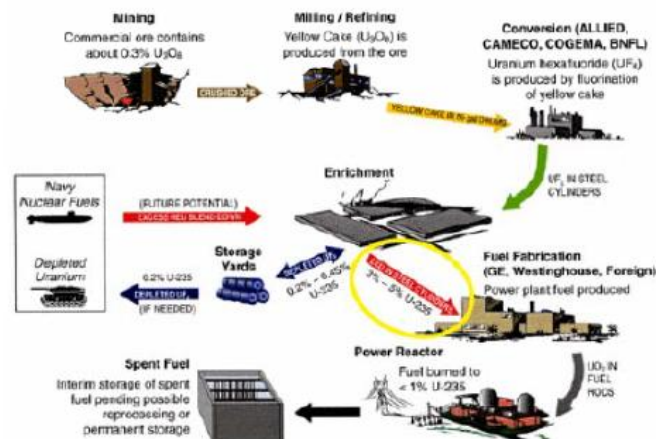
Die Rekonversion von UF_6 in Kernbrennstoffe

Zur Umwandlung von angereichertem UF_6 in sinterfähiges UO_2 gibt es drei Verfahren:

- (i) Zwei Naßverfahren $\begin{matrix} \longrightarrow \\ \searrow \end{matrix}$ ADU-Verfahren (Ammoniumdiuranat-)
AUC-Verfahren (Ammoniumuranylcarbonat-)
- (ii) Ein Trockenverfahren $\longrightarrow$ IDR-Prozeß

(ii) Trockenverfahren $\longrightarrow$ IDR-Prozeß

IDR-Prozeß = Integrated-Dry-Route



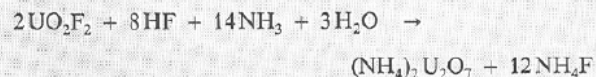
Gasförmiges UF_6 wird mit überhitztem Wasserdampf umgesetzt, wobei sich festes UO_2F_2 bildet. Das so gewonnene UO_2F_2 kann mit H_2 zu UO_2 reduziert werden.

23

Beim ADU-Prozeß wird das aus der Anreicherungsanlage kommende UF_6 zunächst verdampft und mit Wasser hydrolysiert:



Die UO_2F_2 -Lösung wird mit Ammoniak behandelt, wobei Ammoniumdiuranat – allerdings nicht der genauen stöchiometrischen Zusammensetzung – ausfällt:



Hydrolyse UF_6 zu UO_2F_2

↓
Umsetzung mit NH_3 zu „ $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ “

↓
Filtration, Extraktion, Umfällen zur Verminderung des Fluorid-Gehalts

↓
Trocknen

↓
reduktive Zersetzung mit $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ zu U_3O_8

↓
Reduktion zu UO_2

↓
schwache Reoxidation

AUC-Prozeß liefert Fluorid-armes UO_2 :

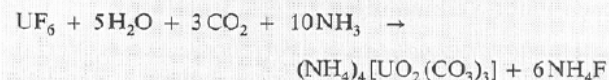
UF_6 mit CO_2 , NH_3 , H_2O zu $(\text{NH}_4)_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ umgesetzt

↓
Filtration, Waschen

↓
Zersetzung in $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ zu UO_2

↓
schwache Reoxidation

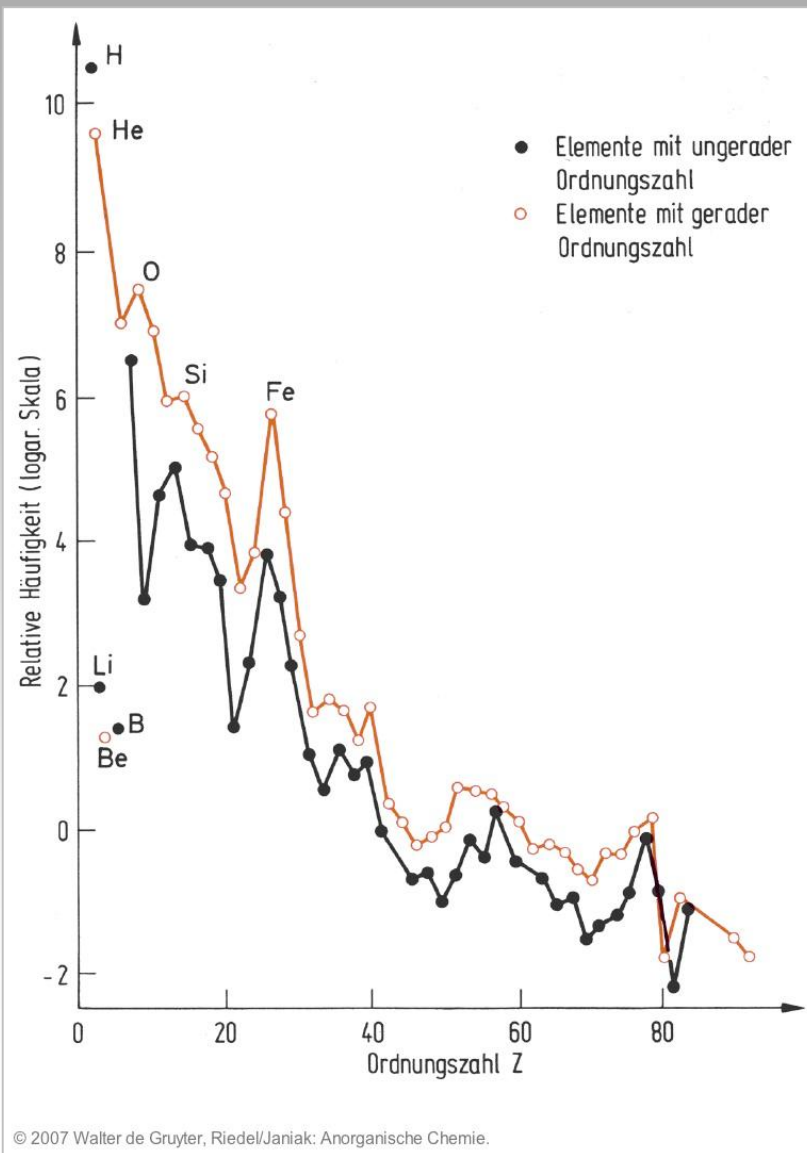
Ammoniumuranylcarbonat-(AUC-)Verfahren: Dieses Verfahren wurde in den sechziger Jahren in Deutschland entwickelt. Hierbei wird UF_6 mit CO_2 und Ammoniak gemeinsam in eine wäßrige, 70°C heiße Ammoniumcarbonat-Lösung eingeleitet, wobei Tetraammoniumtricarbonatodioxouranat (Ammoniumuranylcarbonat) ausfällt:



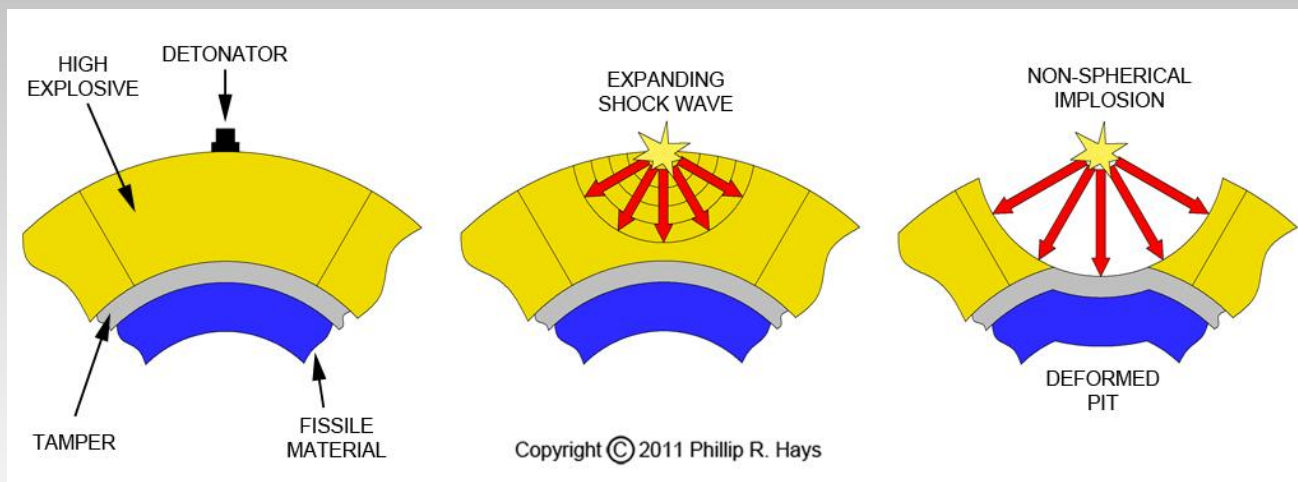
IDR-Trockenverfahren:

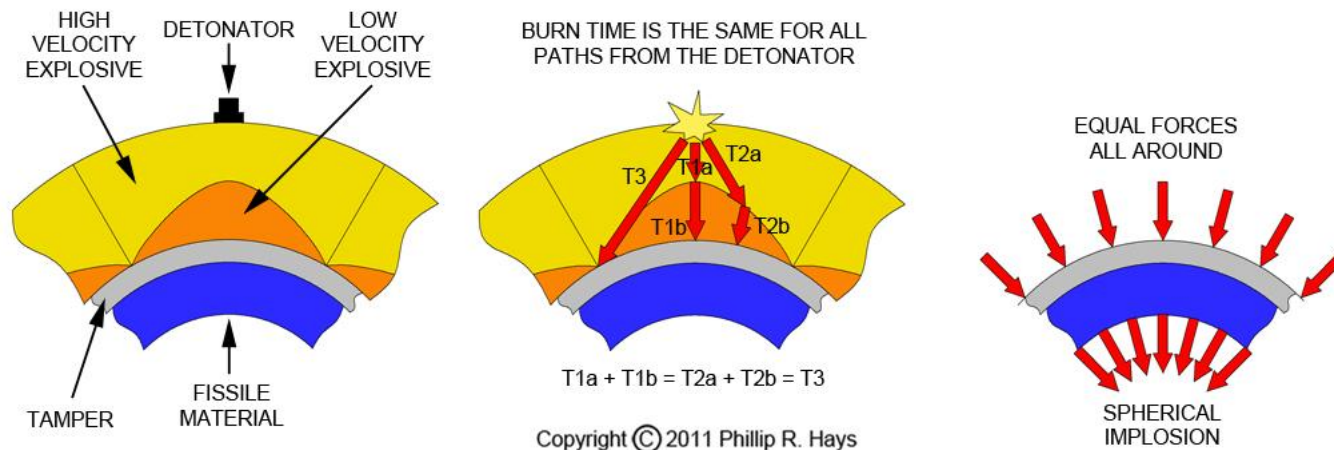
Umsetzung von UF_6 -Gas mit überhitztem H_2O -Dampf zu UO_2F_2 (fest). Reduktion zu UO_2

Dieser IDR-(Integrated-Dry-Route-)Prozeß besteht in der Umsetzung von gasförmigem UF_6 mit überhitztem Wasserdampf, wobei sich festes UO_2F_2 bildet, welches mit Wasserstoff zu UO_2 reduziert wird. Diese Umsetzung kann sowohl im Fließbettreaktor als auch im Drehrohr-ofen erfolgen, wobei letzteres vorteilhafter zu sein scheint.

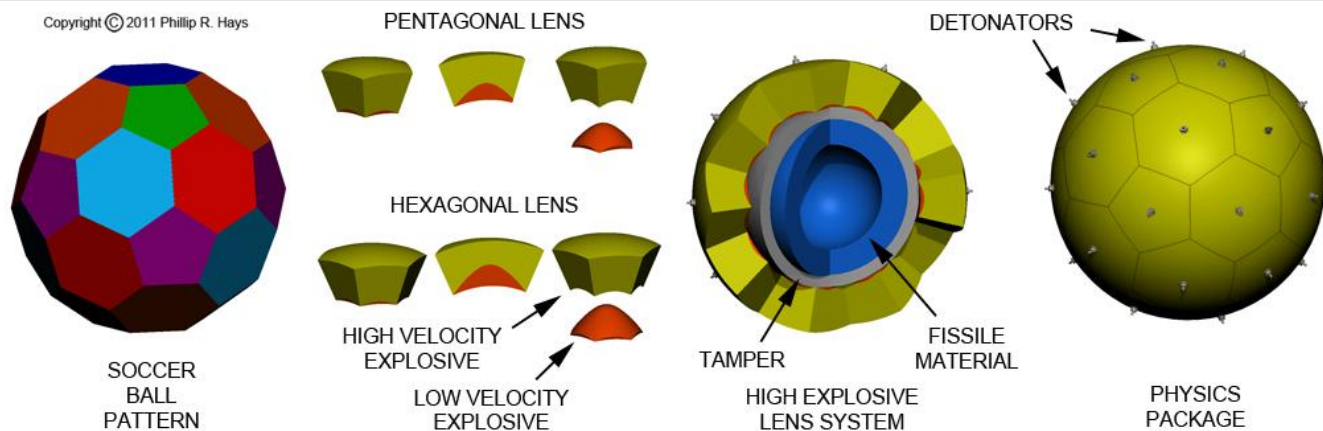


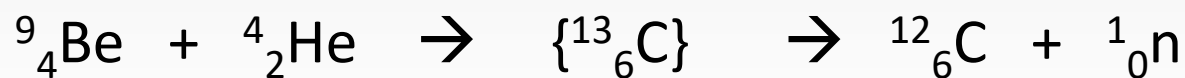
For ^{235}U the critical mass is 52 Kg and it has a diameter of 16.5 cm. For the plutonium isotope ^{239}Pu the critical mass is 10 Kg and the diameter is 9.9 cm. You can see why plutonium is a more favorable bomb material - the weapon can be made smaller and lighter weight.





Copyright © 2011 Phillip R. Hays







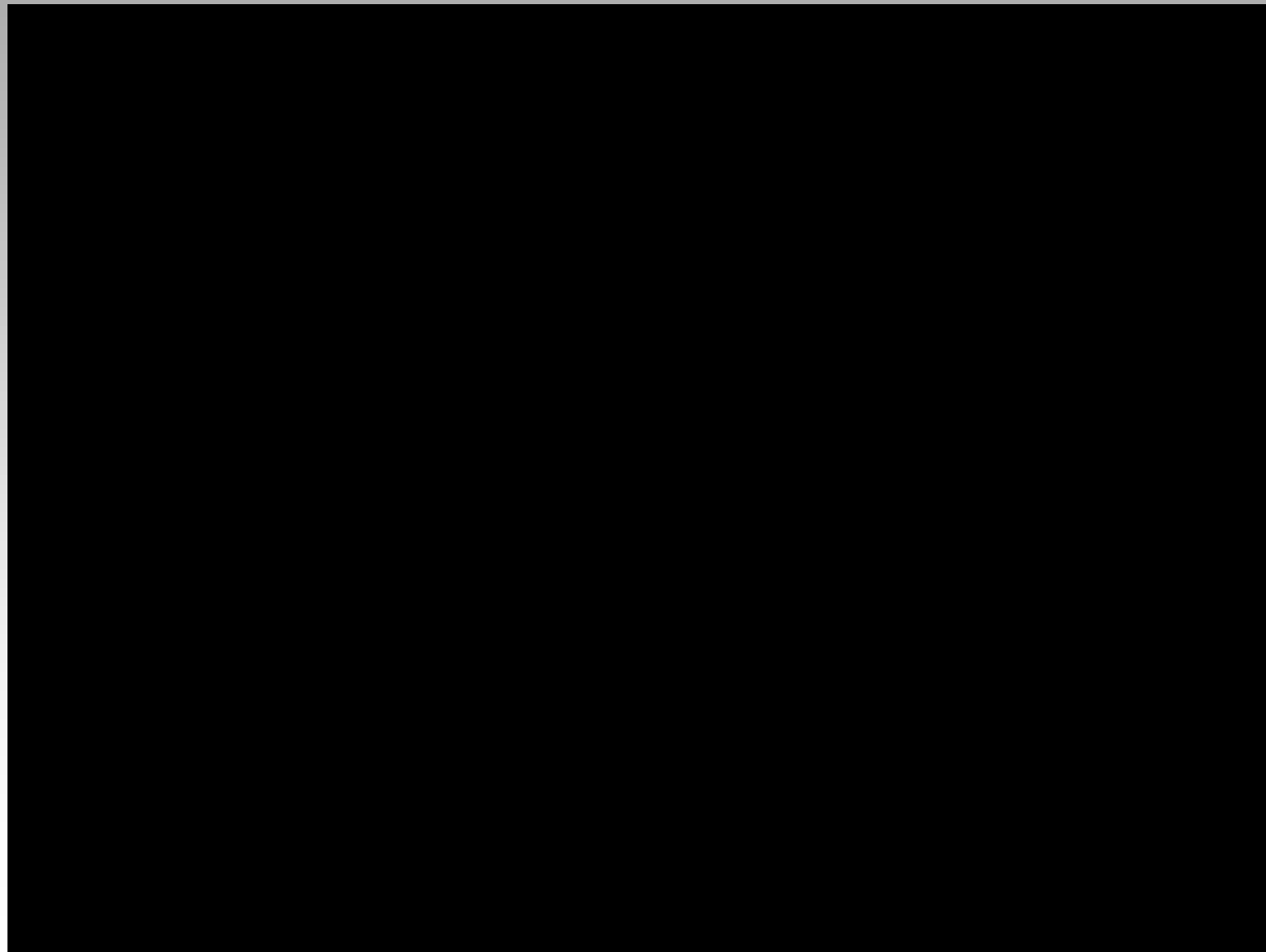
It was a hollow sphere of beryllium, a mere two centimeters in diameter. The inner side of the sphere was machined with grooves, facing inwards. At the center of these grooves was another sphere of beryllium, centered by pins embedded in the outer shell. On both the inner grooves of the outer shell, and the outer surface of the inner sphere were coated with nickel and gold. Onto the nickel of the inner sphere was a thin film of virulently radioactive polonium. Polonium emits alpha particles; in the non-detonated state of the “Urchin,” these would be absorbed harmlessly by the gold and nickel. But when the bomb came imploding in around it, the beryllium and polonium would be violently mixed, producing a well-known reaction (beryllium + an alpha particle = carbon + neutron) that produced the necessary neutrons.

<https://blog.nuclearsecrecy.com/2015/05/11/bohr-at-los-alamos/>



Trinity bomb,
July 16, 1945,
20,000 t TNT





Explosion of the most powerful thermonuclear bomb (tsar bomba) 58 megatons TNT



Weight 27,000 kg

Length 8 m

Diameter 2.1 m

Blast yield 50 megatons
of TNT

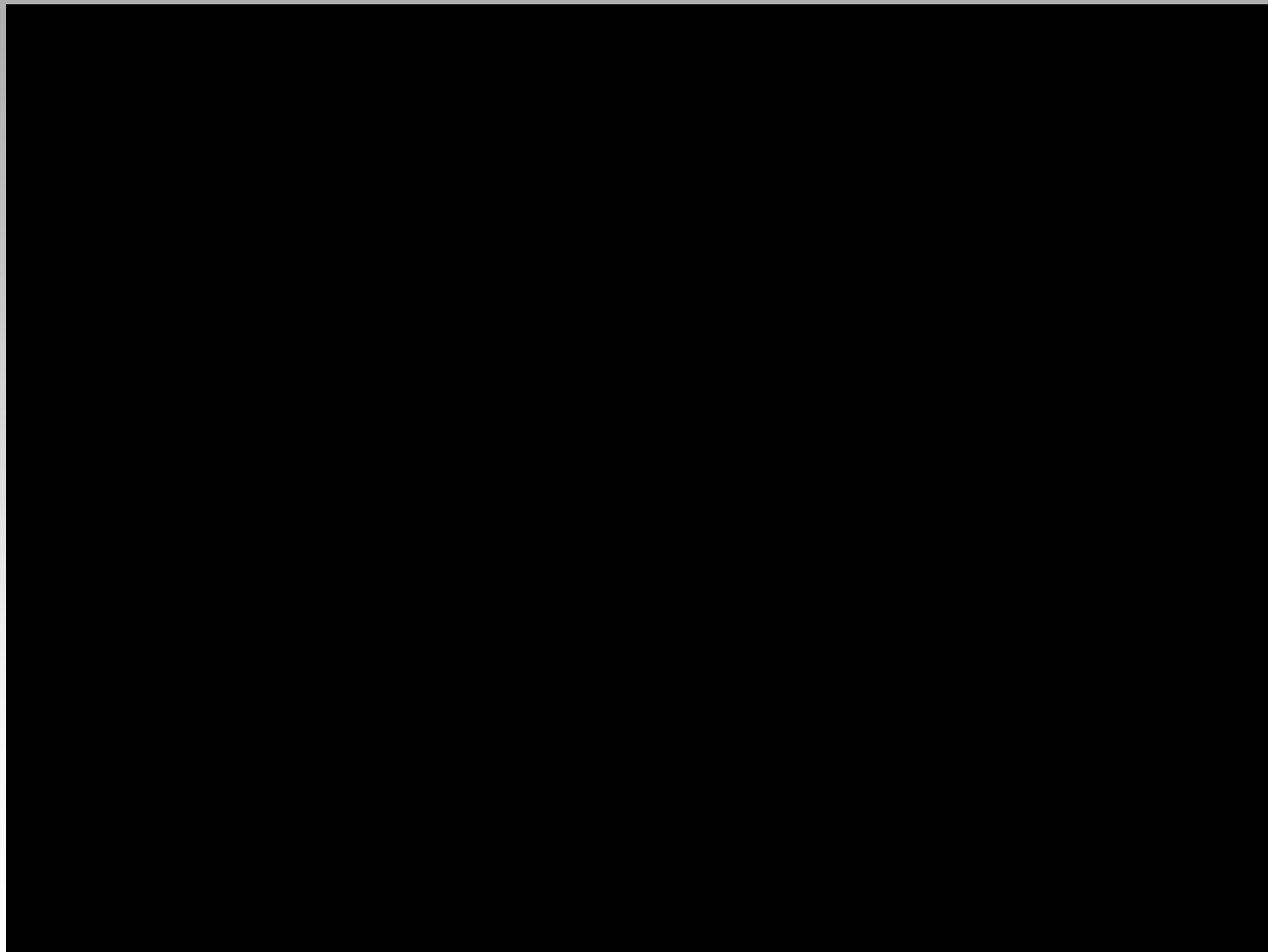
AN602

A Tsar Bomba-type casing on display at Sarov.





The Tsar Bomba mushroom cloud seen from a distance of 161 km.
The crown of the cloud is 56 km high at the time of the picture.

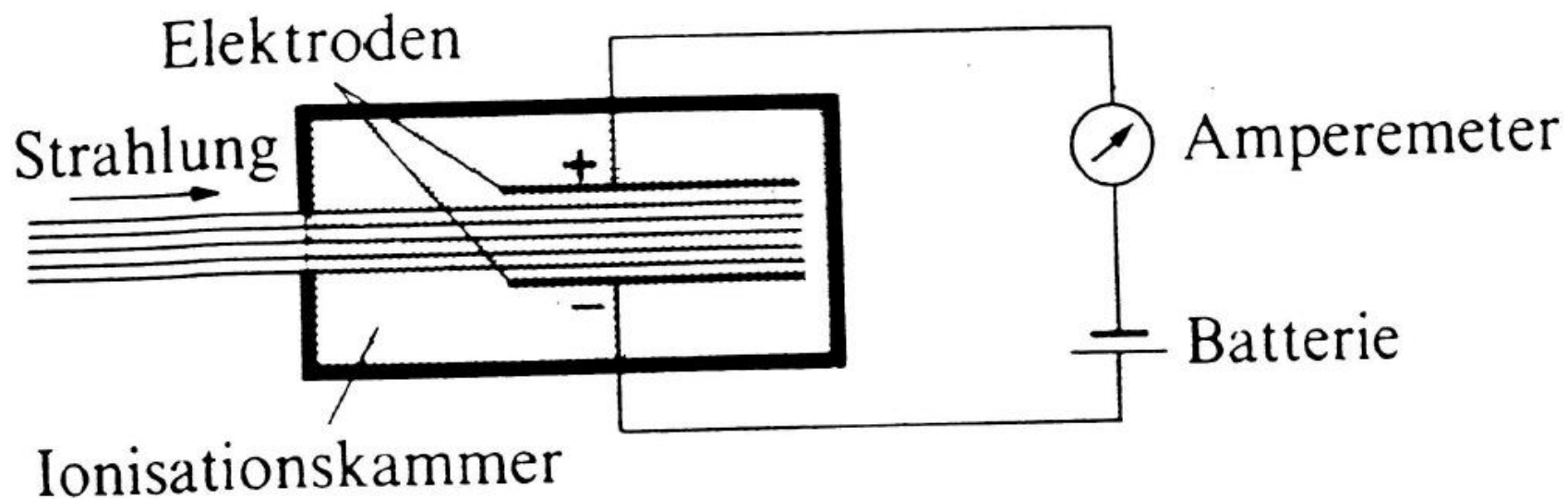


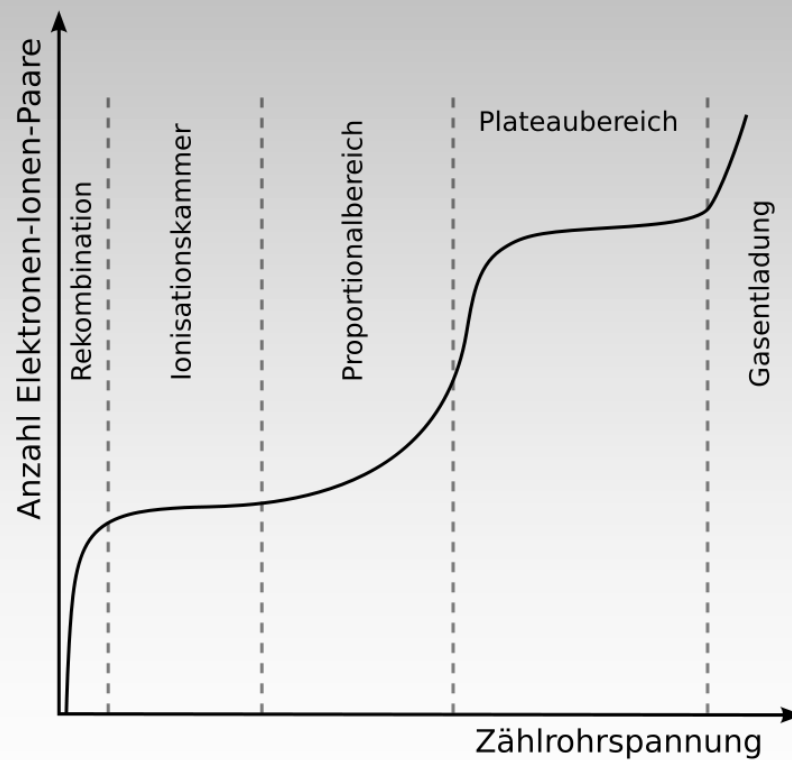
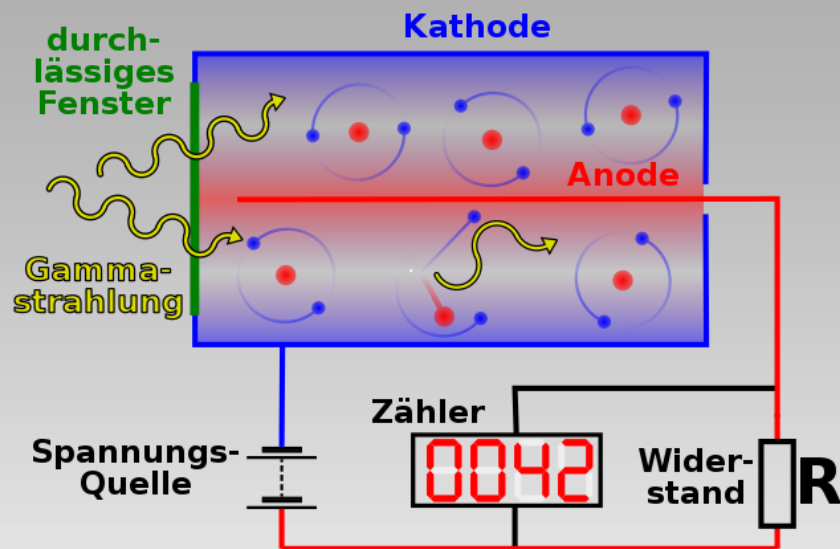
Nuclear reactions for the production of ^{18}F

Reaction	Target	Threshold (MeV)	Energy of max cross section (MeV)
$^{19}\text{F}(\gamma, n)^{18}\text{F}$	Teflon	10.4	
$^{23}\text{Na}(\gamma, \alpha n)^{18}\text{F}$	NaOH or NaSO ₄	21	
$^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$	H ₂ ¹⁸ O or O ₂	2.4	5
$^{20}\text{Ne}(d, \alpha)^{18}\text{F}$	0.1%F ₂ in Ne	-	6
$^{16}\text{O}(^3\text{He}, n)^{18}\text{Ne}^*$	H ₂ O	-	8
$^{16}\text{O}(\alpha, d)^{18}\text{F}$	H ₂ O	18	
$^{16}\text{O}(t, n)^{18}\text{F}$	Li ₂ CO ₃	-	3.3
$^{23}\text{Na}(p, \alpha x)^{18}\text{F}$	Na	18.7	

*) ^{18}Ne decays to ^{18}F with a half-life of 1.67 s.

Nebelkammer





Happy happy Halloween

