




## 1. Bestandteile des Kerns:

Ruhemasse:

<p>Kern eines Heliumatoms</p>  <p><math>{}^4_2\text{He}</math></p>	<p>Kern eines Kohlenstoffatoms</p>  <p><math>{}^{12}_6\text{C}</math></p>	<p>Kern eines Uranatoms</p>  <p><math>{}^{235}_{92}\text{U}</math></p>	<p><u>Massenzahl:</u> Gesamtzahl der Protonen und Neutronen</p> <p><u>Kernladungszahl:</u> Anzahl der Protonen</p>
---	--	--	--

$$\text{Neutronenzahl } N = \text{Massenzahl } A - \text{Kernladungszahl } Z$$

Ruheenergie:

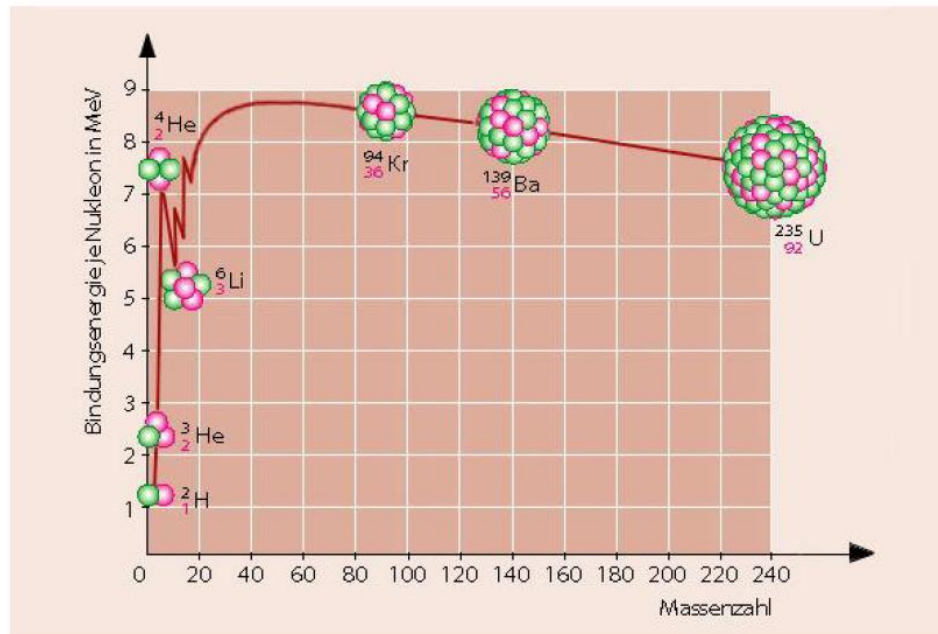
$$E = m \cdot c^2$$

Hauptgruppe	I	II									III	IV	V	VI	VII	VIII		
Nebengruppe			3	4	5	6	7	8		1	2							
Periode 1	1 H Wasserstoff Hydrogen 1,0079	<h2 style="color: red;">Periodensystem der Elemente</h2> <p>(relative Atommassen gemäß IUPAC 1979)</p>														2 He Helium 4,0026		
2	3 Li Lithium 6,941	4 Be Beryllium 9,01218	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Ordnungszahl →</p> <p>Element →</p> <p>relative Atommasse →</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>28 Ni</p> <p>Nickel</p> <p>58,69</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>← Elementsymbol</p> </div> </div>										5 B Bor 10,81	6 C Kohlenstoff (Carbon) 12,011	7 N Stickstoff (Nitrogen) 14,0067	8 O Sauerstoff (Oxygen) 15,9994	9 F Fluor 18,9984	10 Ne Neon 20,179
3	11 Na Natrium 22,98977	12 Mg Magnesium 24,305											13 Al Aluminium 26,98154	14 Si Silicium 28,0855	15 P Phosphor 30,97376	16 S Schwefel (Sulfur) 32,06	17 Cl Chlor 35,3	18 Ar Argon 39,948
4	19 K Kalium 39,0983	20 Ca Calcium 40,08	21 Sc Scandium 44,9559	22 Ti Titan 47,88	23 V Vanadium 50,9415	24 Cr Chrom 51,996	25 Mn Mangan 54,9380	26 Fe Eisen (Ferrum) 55,847	27 Co Cobalt 58,9332	28 Ni Nickel 58,69	29 Cu Kupfer (Cuprum) 63,546	30 Zn Zink (Zincum) 65,38	31 Ga Gallium 69,72	32 Ge Germanium 72,59	33 As Arsen 74,9216	34 Se Selen 78,96	35 Br Brom 79,904	36 Kr Krypton 83,80

Kernaufbau und Kernbindungsenergie:

$$\begin{aligned}
 & m_{\text{Proton}} + m_{\text{Neutron}} \\
 &= 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg} + 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\
 &= 3,34760 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\
 & m_{\text{Deuteron}} = 3,34612 \cdot 10^{-27} \text{ kg}
 \end{aligned}$$

mittlere Bindungsenergie je Nukleon:

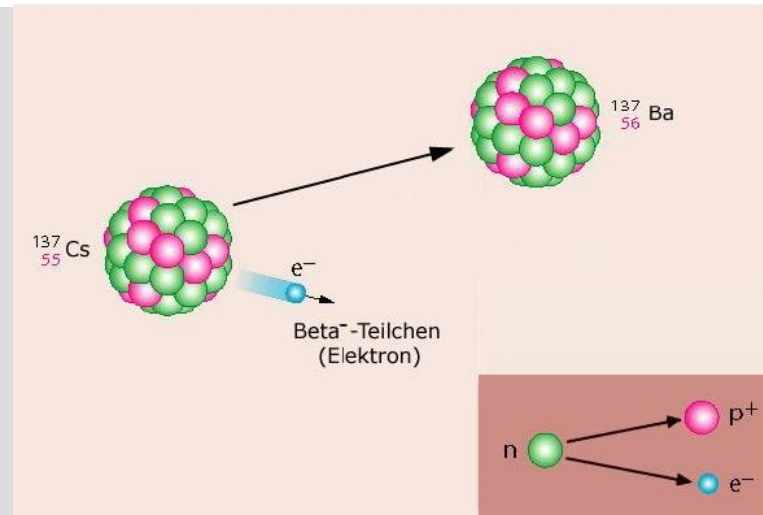


## $\alpha$ -Zerfall:

$\alpha$ -Teilchen sind doppelt positiv geladene **Heliumkerne** (bestehend aus 2 Protonen und 2 Neutronen). Damit verbunden ist, dass bei dem Zerfall eine chemische Umwandlung des Elementes erfolgt. Seine massenzahl nimmt um 4, seine Ordnungszahl um 2 ab.

## $\beta$ -Zerfall:

$\beta$ -Teilchen sind **schnelle Elektronen**. Damit läßt die  $\beta$ -Strahlung die Massenzahl des emittierten Atoms unverändert, seine Ordnungszahl steigt jedoch um eine Einheit.



## $\gamma$ -Strahlung:

Die  $\gamma$ -Strahlung ist eine **elektromagnetische Strahlung** sehr kurzer Wellenlänge (0,01 – 0,0001 nm) und tritt bei fast allen Zerfallsprozessen als Nebenprodukt auf.  $\gamma$ -Quanten sind noch energiereicher als Röntgenquanten und dringen fast ungehindert durch Materie. Ein angeregter Kern gibt dabei Emission elektromagnetischer Strahlung seine überschüssige Energie ab, wobei er in den Grundzustand übergeht.

Radioaktivität ist der spontane Zerfall (besser die spontane Umwandlung) von Kernen unter Aussendung von  $\alpha$ -,  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Strahlung. Der Zerfall eines Kollektives von Kernen desselben Isotops gehorcht damit einem statistischen **Zerfallsgesetz**

$$N(t) = N(0) \cdot e^{-k \cdot t}$$

mit  $k$  der für jedes Isotop charakteristischen Konstante, der **Zerfallskonstante** und der Anzahl der Kerne  $N(0)$  zur Zeit  $t=0$ .

### Halbwertszeit:

$$N(t + T_{1/2}) = \frac{1}{2} \cdot N(t)$$

$$\Leftrightarrow N(0) \cdot e^{-k \cdot (t+T_{1/2})} = \frac{1}{2} \cdot N(0) \cdot e^{-kt}$$

$$\Leftrightarrow e^{-k \cdot T_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

$$\Leftrightarrow -k \cdot T_{1/2} = \ln \frac{1}{2}$$

$$\Leftrightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

Element	Halbwertszeit
Rn 215	2,3 $\mu$ s
Rn 220	55,6 s
Cs 137	30 a
C 14	5730 a
U 238	4.470.000.000 a
Th 232	14.000.000.000 a

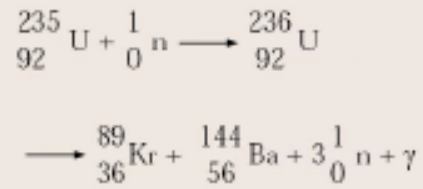
## Altersbestimmung nach der C14-Methode:

Aus dem Weltall wird die Erde mit kosmischer Strahlung bombardiert. Trifft ein Neutron dieser Strahlung auf den in der Atmosphäre enthaltenen Stickstoff, so kann über folgende Reaktion das radioaktive Kohlenstoffisotop C-14 gebildet werden.

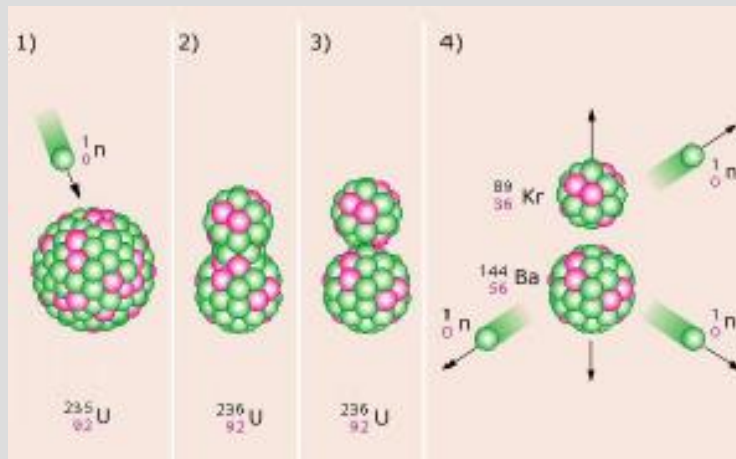


Unter der gerechtfertigten Annahme, dass die Intensität der Höhenstrahlung seit vielen tausenden Jahren konstant gewesen ist, hat sich ein Gleichgewicht zwischen Zerfall und Neubildung von C-14 eingestellt. Stirbt ein Lebewesen oder eine Pflanze, dann werden keine neuen C-14 Atome mehr erzeugt oder eingelagert und bedingt durch den radioaktiven Zerfall nimmt die Konzentration von C-14 mit der Zeit ab. Aus der Anzahl der noch vorhandenen C-14 Atomen kann über das Zerfallsgesetz das Alter bestimmt werden.

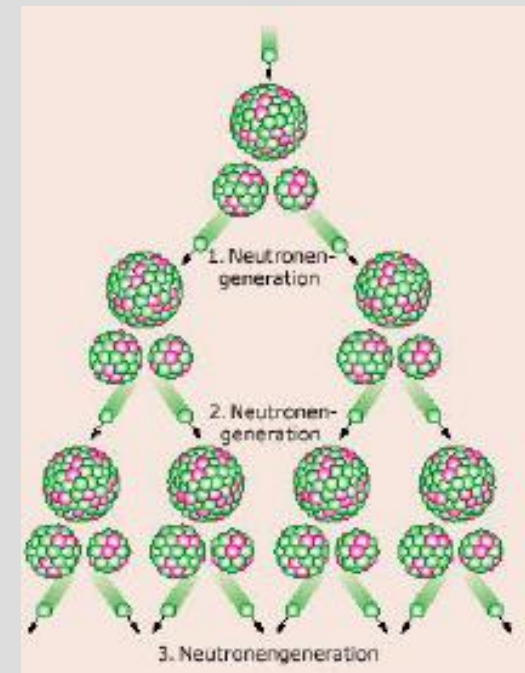




## Schematische Darstellung der Spaltung von Uran 235

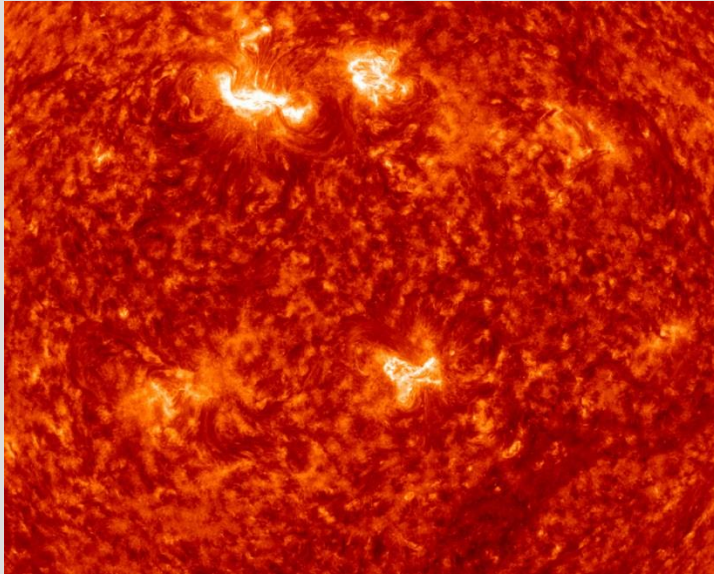


## Kettenreaktion im Uran 235:

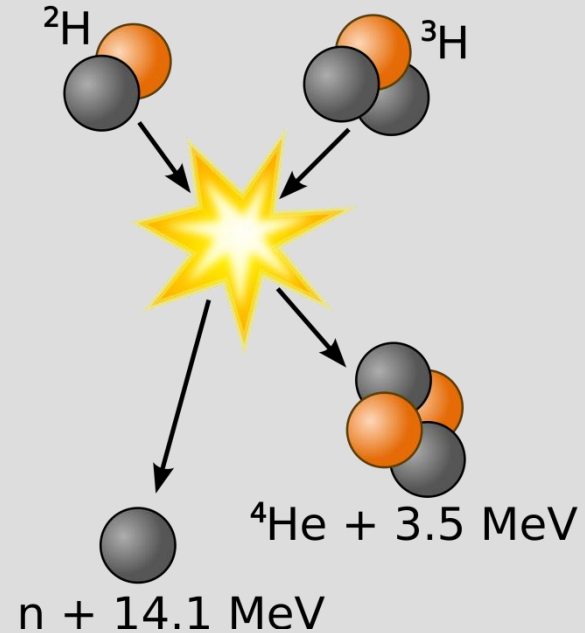




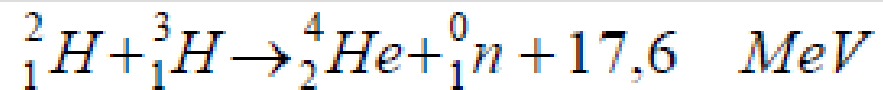
Fusionskraftwerk Sonne



Fusion von Deuterium und Tritium zu einem Heliumkern

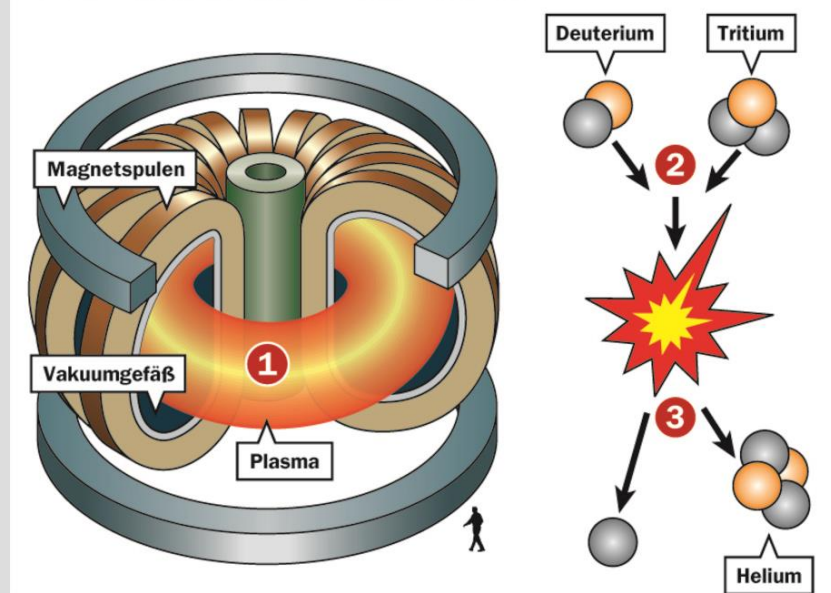


Sehr hohe Temperaturen notwendig → Plasma



Die oben abgebildete Fusionsreaktion soll in Zukunft der Stromerzeugung in Kernfusionsreaktoren dienen: Kerne von Deuterium ( ${}^2\text{H}$ ) und Tritium ( ${}^3\text{H}$ ) verschmelzen zu einem Heliumkern ( ${}^4\text{He}$ ) unter Freisetzung eines Neutrons ( $n$ ) sowie von Energie (3,5 MeV + 14,1 MeV).

So funktioniert der Fusionsreaktor

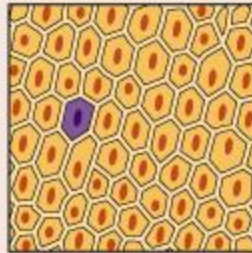


Der Stellarator Wendelstein 7-X in Greifswald

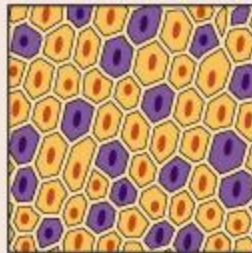


## Einsatzgebiete radioaktiver Stoffe

Bereich	Anwendungsfelder
<i>umschlossene Strahlungsquellen</i>	
Medizin	Strahlentherapie
Strahlen- chemie	Sterilisierung medizinischer Produkte Konservierung von Nahrungsmitteln Abwasserbehandlung
chemische Analytik	Röntgenfluoreszenz-Analyse Elektroneneinfangdetektor zum Spurennachweis halogener Kohlenwasserstoffe
Meßtechnik	Durchstrahl- und Rückstrahlverfahren mit $\beta$ - und $\gamma$ -Quellen (z.B. Messung der Füllhöhe, der Dichte und der Dicke)
Energie- umwandlung	Umwandlung der Zerfallsenergie in Wärme, nachfolgende Umwandlung der Wärme in elektrische Energie (Seebeck-Effekt); Radionuklid-Batterien
<i>offene Strahlungsquellen</i>	
Medizin	Organ-Funktionsdiagnostik Lokalisationsdiagnostik; Szintigramme
chemische Analytik	Bestimmung des Schilddrüsenhormons
Ökotoxi- kologie	Bestimmung der Anreicherung von Umweltchemikalien in Organen und Geweben von Tieren durch radioaktive Markierung
Prozeß- analyse	quantitative Verfolgung des Stofftransports in verfahrens- technischen Anlagen durch Zusatz radioaktiver Indikatoren
Verschleiß- messungen	Abriebmessung bis $10^{-3} \mu\text{m}$ bis $10^{-4} \mu\text{m}$



Biologisches Objekt mit Betastrahlen bestrahlt.  
Angenommene Energiedosis 2 Gy.  
Biologische Strahlenwirkung in relativen Einheiten: 1



Biologisches Objekt mit Alphastrahlen bestrahlt.  
Angenommene Energiedosis 2 Gy.  
Biologische Strahlenwirkung in relativen Einheiten: 20

 intakte Zelle       geschädigte Zelle

$$H = P \cdot \bar{Q}$$

$$|H| = \frac{J \text{ (Joule)}}{s} \quad (\text{\AA}quivalentdosis)$$

$$|D| = \frac{J \text{ (Joule)}}{s} \quad (\text{Energiedosis})$$

$\bar{Q}$  – Qualitätsfaktor

Beispiel 1: Gammastrahlen

$$D = \frac{10^{-10} \text{ J}}{s} \quad \bar{Q} = 1$$

$$H = \frac{10^{-5} \text{ J}}{s} \cdot 1 = \frac{10^{-5} \text{ J}}{s} = \frac{10^{-2} \text{ J}}{\text{kg}} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

Beispiel 2: Neutronenstrahlen

$$\bar{Q} = 10 \quad D = \text{bleibt}$$

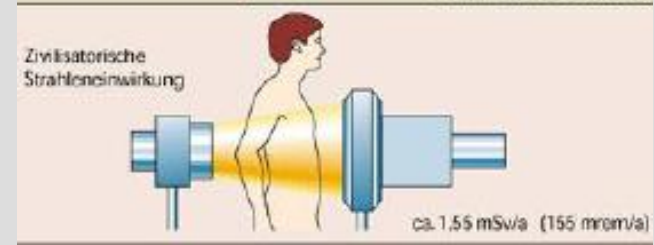
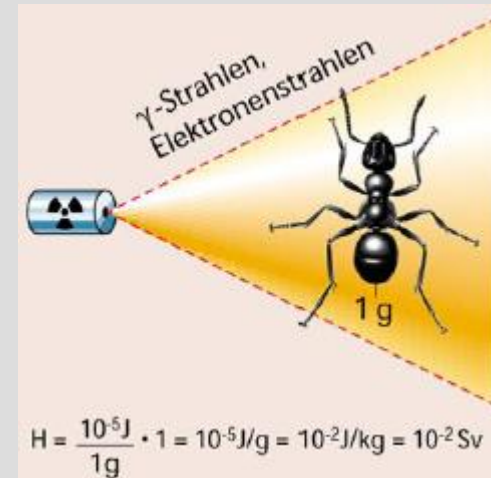
$$H = \frac{10^{-3} \text{ J}}{s} \cdot 10 = 10^{-1} \text{ Sv} = 0,1 \text{ Sv} \\ = 100 \text{ mSv}$$

Beispiel 3: Alphastrahlen

$$\bar{Q} = 20 \quad D = \text{bleibt}$$

$$H = \frac{10^{-3} \text{ J}}{s} \cdot 10 = 10^{-1} \text{ Sv} = 0,1 \text{ Sv} \\ = 100 \text{ mSv}$$

$$H = \frac{10^{-3} \text{ J}}{s} \cdot 20 = 2 \cdot 10^{-1} \text{ Sv} = 0,2 \text{ Sv} \\ = 200 \text{ mSv}$$



$$\frac{\text{Sv}}{\text{h}} \quad \frac{\text{rem}}{\text{h}} \quad \text{Sv} = \text{Sievert} \\ \text{h} = \text{Stunde}$$

$$\frac{\text{Sv}}{\text{d}} \quad \frac{\text{rem}}{\text{d}} \quad \text{Sv} = \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

d = Tag

$$\frac{\text{Sv}}{\text{a}} \quad \frac{\text{rem}}{\text{a}} \quad \text{a} = \text{Jahr}$$

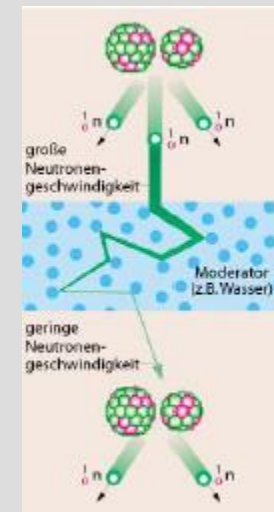
rem = röntgen equivalent man

$$1 \text{ rem} = \frac{1}{100} \text{ Sv}$$

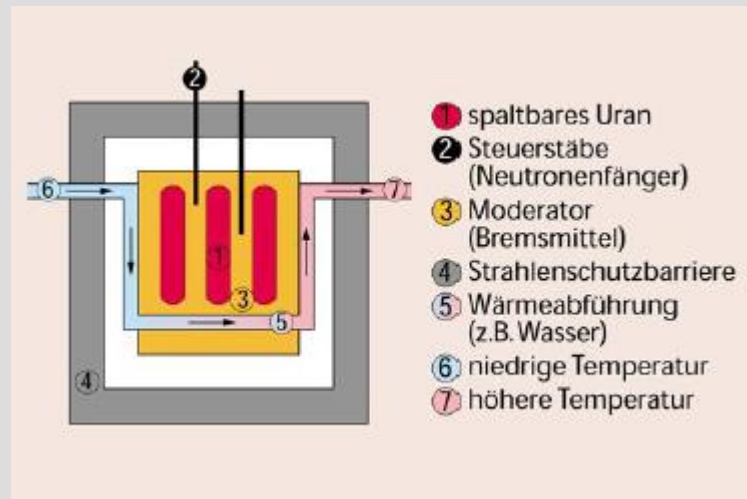
Kernkraftwerke:



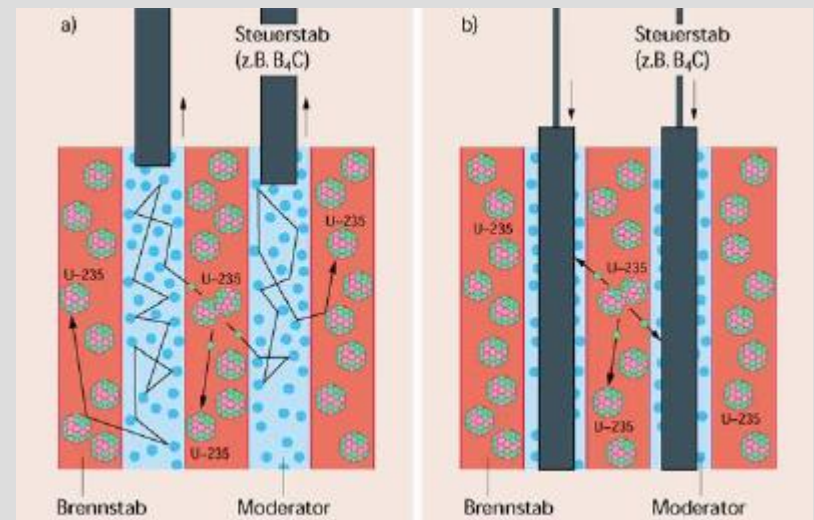
Abbremsen von schnellen Neutronen mit Wasser:



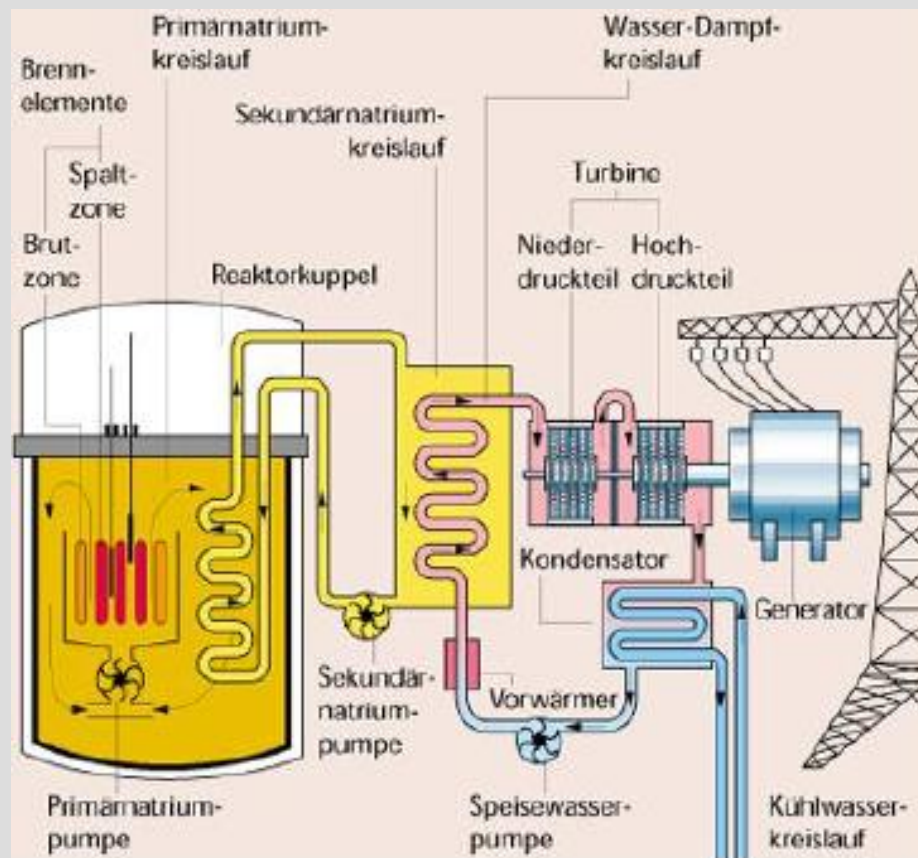
Aufbau Kernreaktor:

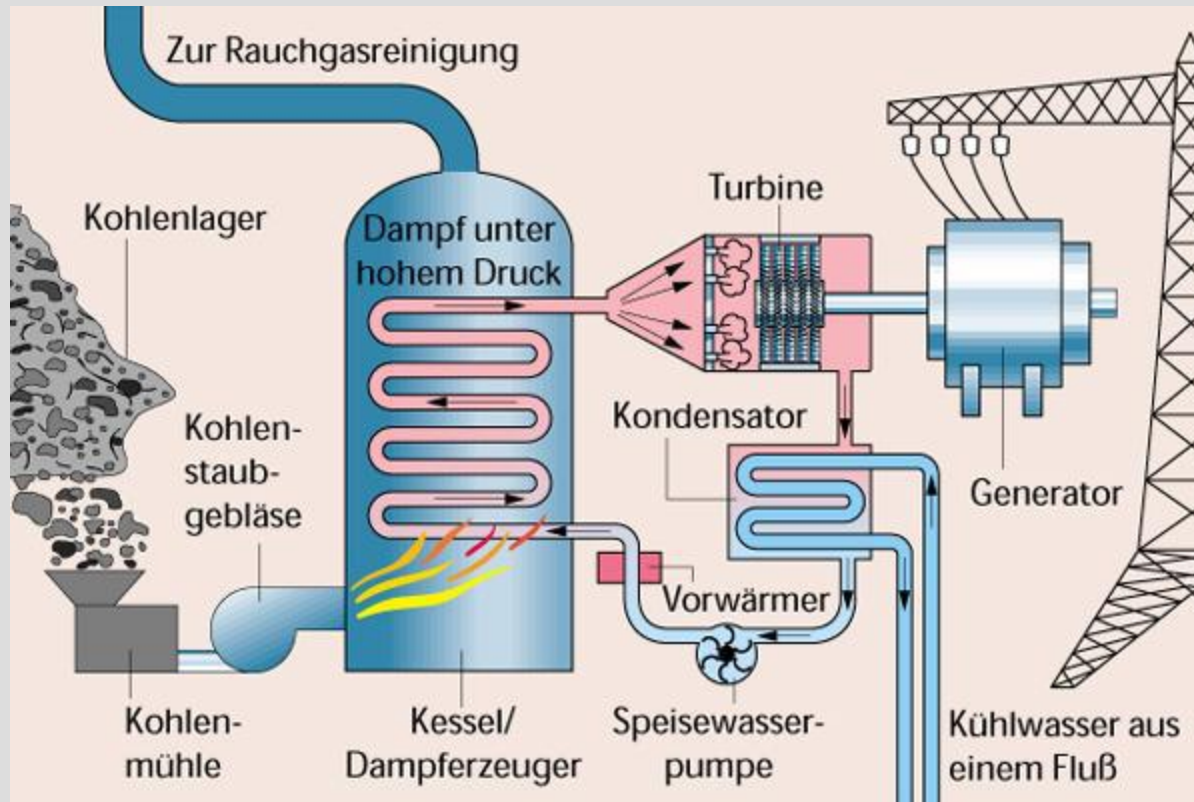


Steuerstäbe zum Steuern der Kettenreaktion:



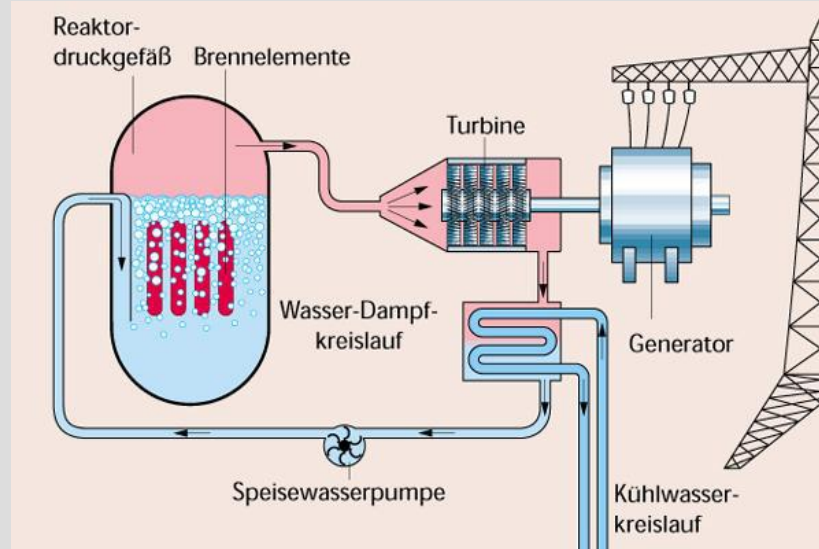
Im Brutreaktor wird neben der Energieerzeugung noch das spaltbare Material Plutonium 239 aus dem sonst unbrauchbaren Uran 238 hergestellt. Dafür werden nur schnelle Neutronen benötigt, deshalb läuft dieser Reaktor ohne Moderator. Da bei diesem Prozess höhere Temperaturen entstehen, ist der Brutreaktor wie der Druckwasserreaktor aus einem Primär- und Sekundärkreislauf aufgebaut. Wegen der hohen Temperaturen im Brutreaktor wird Natrium als Kühlmittel eingesetzt. Mit dem Brüten von spaltbarem Material können Brutreaktoren heutzutage Natururan etwa 60-mal besser ausnutzen als Leichtwasserreaktoren.



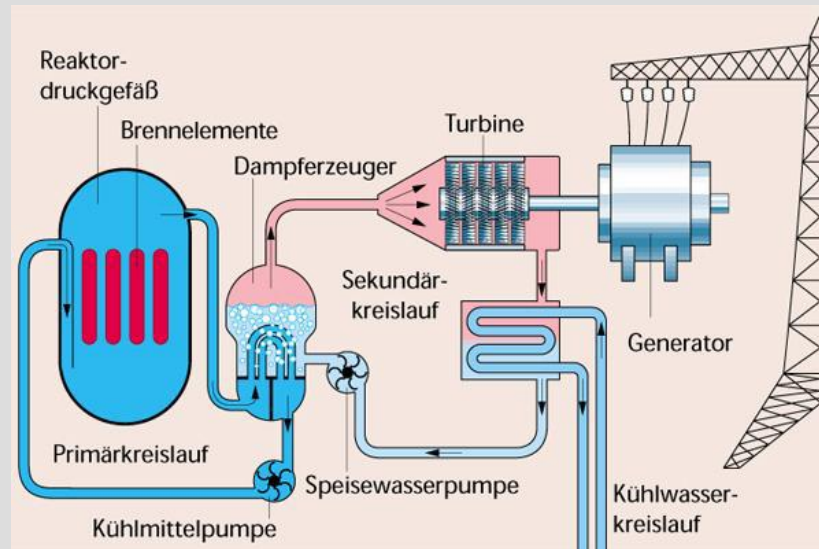




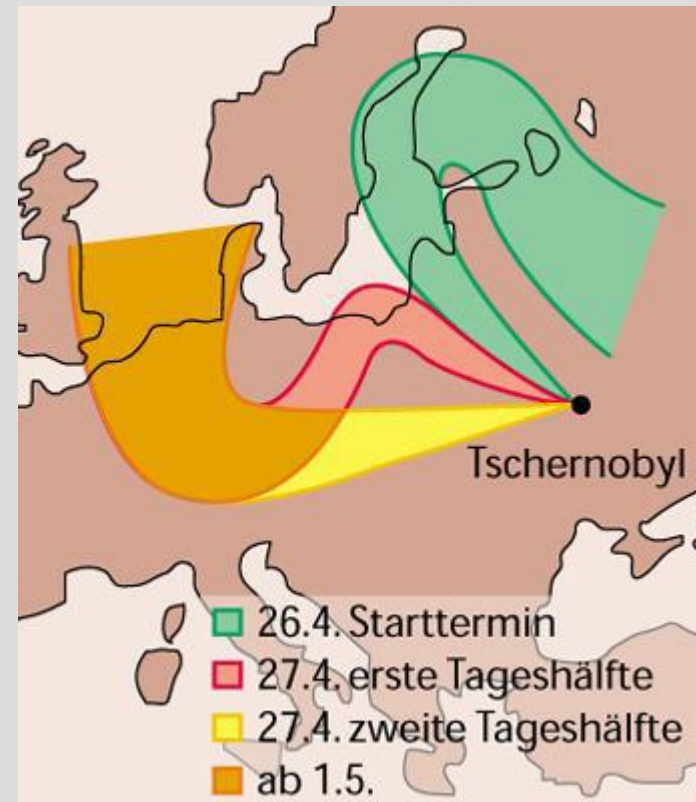
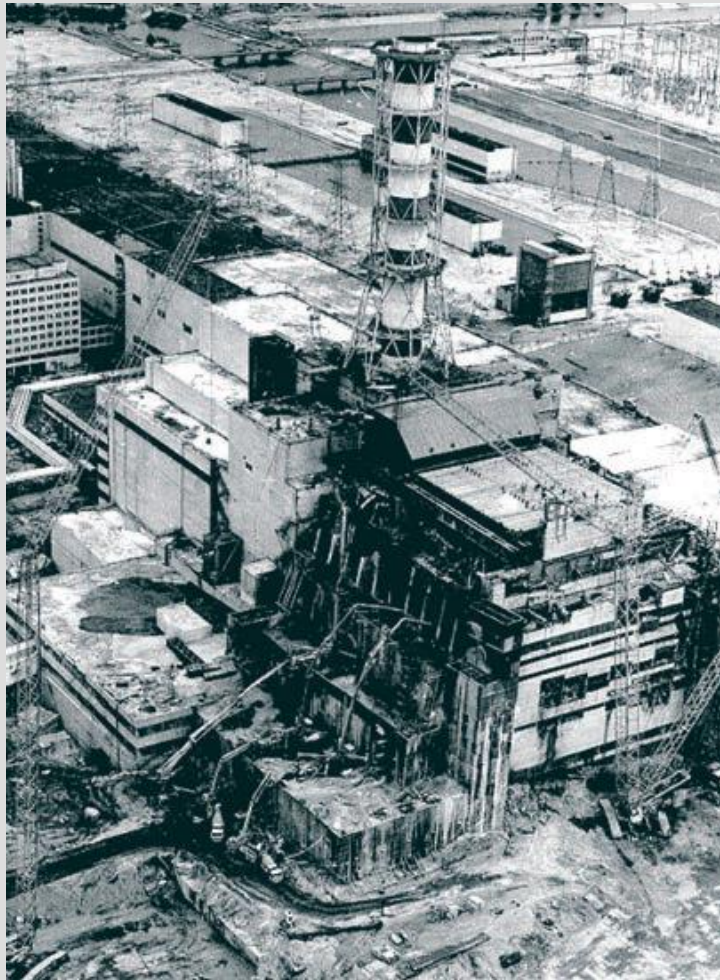
## Siedewasserreaktor



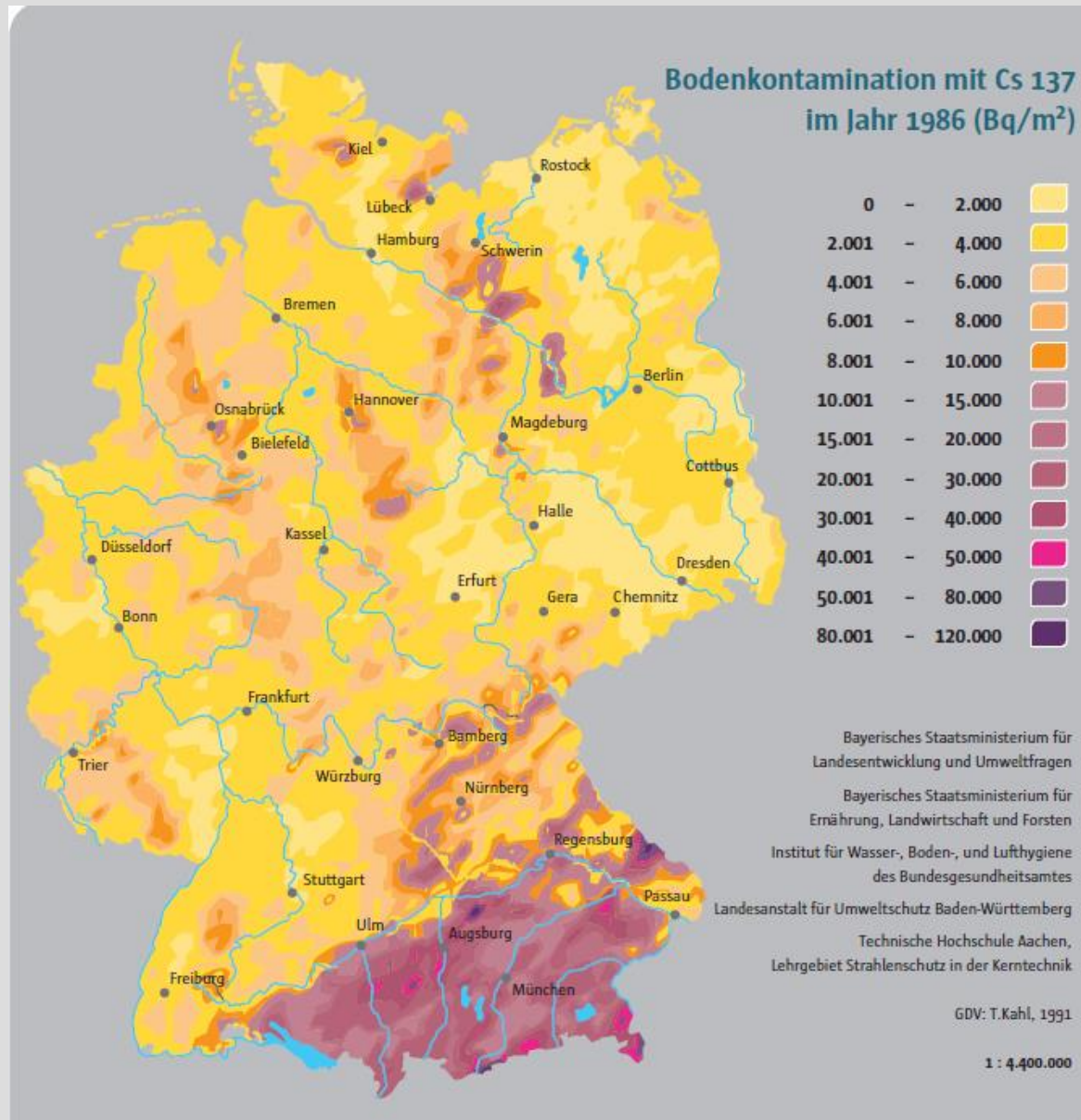
## Druckwasserreaktor



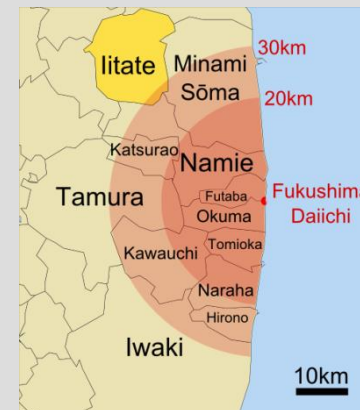
## Tschernobyl (Sowjetunion, Ukraine) 26. April 1986



[http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/025reaktorunfall\\_tschernobyl2011\\_0.pdf](http://www.kernfragen.de/sites/default/files/media/publication/file/025reaktorunfall_tschernobyl2011_0.pdf)



Die Unfallserie begann am **11. März 2011** um 14:47 Uhr (Ortszeit) mit dem Tohoku Erdbeben und lief gleichzeitig in vier von sechs Reaktorblöcken ab. In Block 1 bis 3 kam es zu Kernschmelzen. Große Mengen an radioaktivem Material – unter anderem etwa 15 EBq Xe-133, also etwas mehr als das Doppelte von Tschernobyl, und ca. 36 PBq Cs-137, also ca. 42 % der Cs-137 Emission von Tschernobyl – wurden freigesetzt und kontaminierten Luft, Böden, Wasser und Nahrungsmittel in der land- und meerseitigen Umgebung.



Ungefähr 170.000 Einwohner wurden aus den betroffenen Gebieten evakuiert

