

## 5. Kernphysik

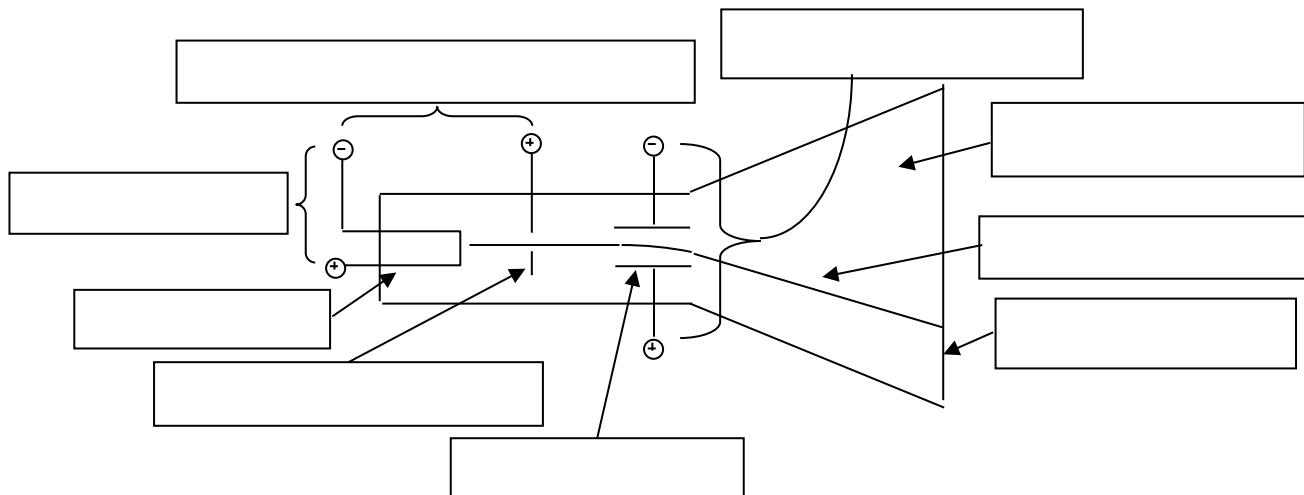
### 5.1 Elementarteilchen

#### Elektrische Kräfte und Ladungen

1. Körper können \_\_\_\_\_ oder \_\_\_\_\_ elektrisch aufgeladen werden.
2. \_\_\_\_\_ geladene Körper ziehen sich an, \_\_\_\_\_ geladene Körper stoßen sich ab.
3. Die Ladungskräfte nehmen mit wachsender Ladung \_\_\_\_\_ und mit wachsendem Abstand \_\_\_\_\_.

#### Nachweis von Elektronen mit dem Kathodenstrahlrohr (Braunsche Röhre)

Beschrifte mit den folgenden Begriffen: Ablenkplatten, Ablenkspannung 100 V, Glühkathode, Glühelektrode, Beschleunigungsanode, Beschleunigungsspannung 1000 V, Elektronenstrahl, Leuchtschirm aus ZnS, Vakuumröhre



Name	Masse in u (unit)	Ladung
Proton $p^+$ (griech. proton = erster)		
Neutron $n$ (lat. neuter = keiner von beiden)		
Elektron $e^-$ (griech. elektron = Bernstein)		

unit = atomare Masseneinheit mit 1 g = 602,2 Trilliarden u = 1 Mol u.

1 Mol Neutronen haben die Masse \_\_\_\_\_,

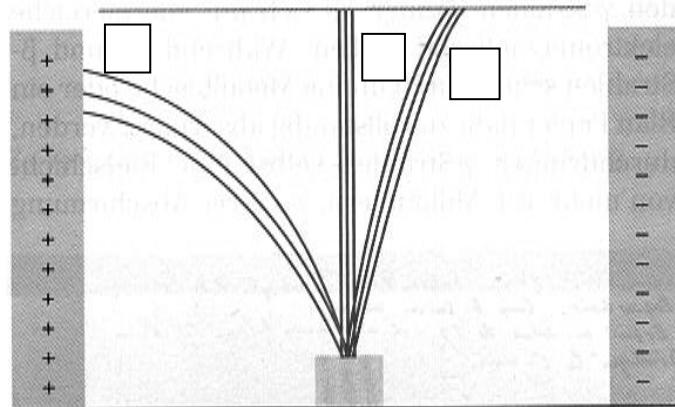
1 Mol Protonen haben die Masse \_\_\_\_\_,

1 Mol Elektronen haben die Masse \_\_\_\_\_ !

## 5.2 Radioaktive Strahlung

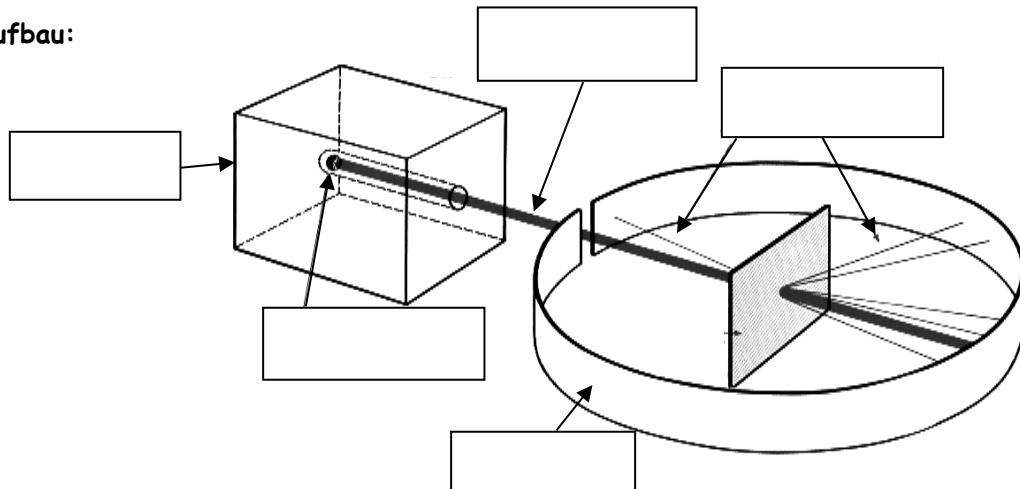
Beim Zerfall instabiler Atome entsteht **radioaktive Strahlung**, die man nach ihren Ablenkungsverhalten im **elektrischen Feld** eines Plattenkondensators in drei Arten unterteilt:

Bezeichnung	besteht aus	Abschirmung durch
$\alpha$ - Strahlung	$\text{He}^{2+}$ - Teilchen = ___ Protonen + ___ Neutronen	
$\beta$ - Strahlung	Elektronen	
$\gamma$ - Strahlung	sehr energiereiche Röntgenstrahlung	



## 5.3 Streuversuch und Atommodell von Rutherford

Aufbau:



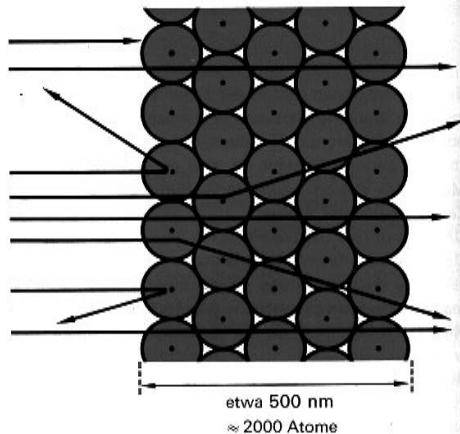
### Durchführung:

Beschuss einer dünnen \_\_\_\_\_ folie (ca. \_\_\_\_\_ Atomlagen)

mit \_\_\_\_\_-Teilchen ( $\text{He}^{2+}$ ) und Bestimmung der Bahn dieser Teilchen durch Schwärzung von Filmmaterial.

### Beobachtung:

Fast \_\_\_\_\_  $\alpha$ -Teilchen durchdringen die Goldfolie ungehindert.



### Erklärung durch das Atommodell von Rutherford:

Die Atome sind im Wesentlichen \_\_\_\_\_. Der **Atomkern** besteht aus \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_. Er ist sehr \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_ geladen. Die Elektronen halten sich in der **Atomhülle** auf, die ca. \_\_\_\_\_ mal so groß ist wie der Atomkern. Der Teilchenstrahl wird nur abgelenkt, wenn er genau das Zentrum (den \_\_\_\_\_) eines Atoms trifft:

Im Periodensystem bedeuten

**Ordnungszahl** = Zahl der \_\_\_\_\_  
= Zahl der \_\_\_\_\_

**Massenzahl** = Gesamtzahl der \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_  
= Masse von 1 Atom in \_\_\_\_\_  
= Masse von 1 Mol Atomen in \_\_\_\_\_

**Schreibweise:**  $\frac{\text{Massenzahl}}{\text{Ordnungszahl}}$  Elementsymbol

### Grenzen des Rutherford-Modells:

Das Rutherford-Modell erklärt zwar das Phänomen der Radioaktivität und das Ergebnis des \_\_\_\_\_-versuchs, kann aber keine Aussagen zur chemischen Bindung liefern.

## 5.4 Isotope

Atome, die sich nur in der Zahl der \_\_\_\_\_ unterscheiden, nennt man **Isotope**. Die meisten Elemente kommen in der Natur als \_\_\_\_\_ verschiedener Isotope vor. Die \_\_\_\_\_ **Atommasse** eines Elements erhält man aus den Atommassen der Isotope als \_\_\_\_\_ unter Berücksichtigung der natürlichen Isotopenhäufigkeit.

### Beispiel:

Das Element Bor besteht aus 19,78 %  $^{10}\text{B}$  und 80,22 %  $^{11}\text{B}$ . Von 100 Boratomen haben also durchschnittlich 19,78 Stück die Masse 10 u und 80,22 Stück die Masse 11 u. Die durchschnittliche Masse eines Boratoms ist also  $m = \underline{\hspace{10cm}}$

## 5.5 Zerfallsreihen

**Isotope mit hohen Massenzahlen sind häufig instabil und daher radioaktiv.**

**$\alpha$ -Zerfall:** Abspaltung eines  $\alpha$ -Teilchens (2 Protonen und 2 Neutronen) vom Kern:



**$\beta^-$ -Zerfall:** Ein Neutron zerfällt in ein Proton, welches im Kern bleibt, und ein Elektron, das den Kern verlässt:



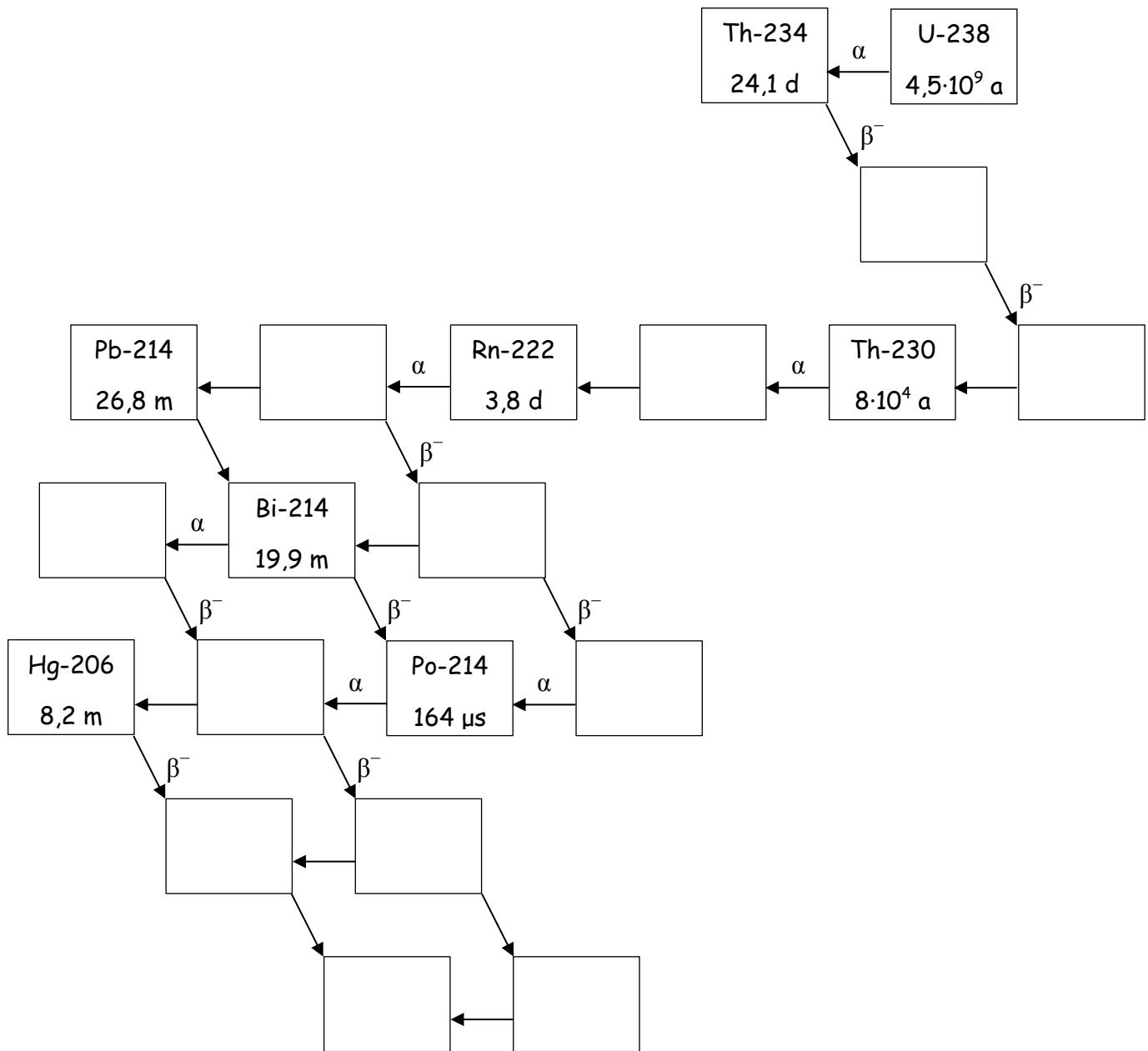
**$\beta^+$ -Zerfall:** Ein Proton zerfällt in ein Neutron, welches im Kern bleibt, und ein Positron (positiv geladenes Elektron), das ein Elektron der Hülle vernichtet und dabei  $\gamma$ -Strahlung aussendet:



In der **Nuklidkarte** werden alle Isotope nach Atomzahl Z und Neutronenzahl N aufgetragen.

Die **Halbwertszeit  $T_{1/2}$**  ist die Zeit, in der die \_\_\_\_\_ der ursprünglich vorhandenen Teilchen zerfallen ist

Die natürliche Radioaktivität auf der Erde entsteht durch nur drei **Zerfallsreihen**. Z.B. beschreibt die **Uran-Radium-Reihe** den Zerfall von **Uran U** (nach dem im gleichen Jahr 1789 entdeckten Planeten Uranus) über Thorium Th (nach dem nordischen Kriegsgott Thor), Protactinium Pa (da es u.a. in Actinium zerfallen kann), **Radium Ra** (von lat. radius = strahl), Rn (entsteht aus Radium), Po (nach dem Geburtsland der Entdeckerin Marie Curie), Bismuth Bi (von altdeutsch wise mine = schlechtes Erz), Thallium Tl (nach thallos = sprühendes Blatt von der grünen Spektrallinie), Merkury Hg (engl. mercury oder früher quicksilver, lat. hydrargirum = flüssiges Silber) zu Pb (lat. Plumbum).



### **Physiologische Wirkung radioaktiver Isotope:**

Isotop	Halbwertszeit	Vorkommen
$^{129}\text{I}$	15,7 Mio Jahre	reichert sich in der _____ an
$^{90}\text{Sr}$	28,5 Jahre	reichert sich anstelle von _____ Ca in den _____ an
$^{137}\text{Cs}$	30,7 Jahre	wird anstelle von _____ Na und _____ K aufgenommen
$^{40}\text{K}$	1,38 Mill Jahre	wird anstelle von _____ Na und _____ K aufgenommen
$^{222}\text{Rn}$	3,8 Tage	wird als Gas über die _____ aufgenommen, entsteht aus natürlich vorkommendem _____ im Mauerwerk

## 5.6 Zerfallsgesetze

### Beispiel:

Von einer beliebigen Anzahl Radon-218-Atomen sind nach der Halbwertszeit  $T_{1/2} = 30 \text{ ms}$  jeweils die Hälften zerfallen.

Für  $N_0 = 100$  Atome gilt also das

### Zerfallsgesetz:

Nach  $t$  Zeiteinheiten (Z.B.  
 \_\_\_\_\_ a, \_\_\_\_\_ d,  
 \_\_\_\_\_ h, \_\_\_\_\_ m,  
 \_\_\_\_\_ s oder \_\_\_\_\_ -  
 ms) sind von ursprünglich  $N_0$  Atomen noch

$N(t) =$  Atome übrig.

Zeit $t$ in ms	Anzahl $N(t)$	Exponent $n =$
0	$N(0) = 100$	
30	$N(1) =$	
60	$N(2) =$	
90	$N(3) =$	
$t$	$N(t) =$	

## 5.1.7 Kernenergie

Durch die Kollision der freigesetzten Atombruchstücke mit anderen Atomen entsteht beim radioaktiven Zerfall auch Wärme, die in \_\_\_\_\_ zur Stromerzeugung genutzt wird. Diese Kollisionen können ihrerseits zum Zerfall neuer Atome führen, so dass sich der radioaktive Zerfall in einer \_\_\_\_\_ lawinenartig ausbreitet und verstärkt.

### Beispiel:

Kettenreaktion bei der Spaltung eines Uran-235-Kerns durch langsame Neutronen. Da jeder Uranskern selbst wieder 2 - 3 Neutronen aussendet, verdoppelt oder verdreifacht sich die Zahl der Spaltungen bei jedem Schritt:



$^{235}\text{Uran}$



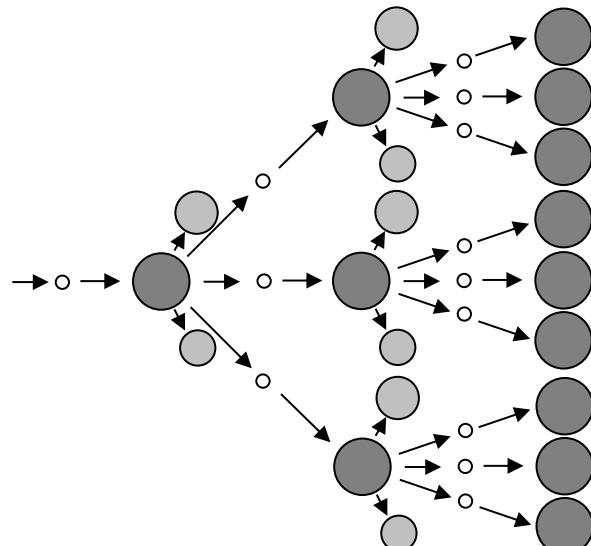
○ langsames Neutron



$^{139}\text{Barium}$



$^{94}\text{Krypton}$

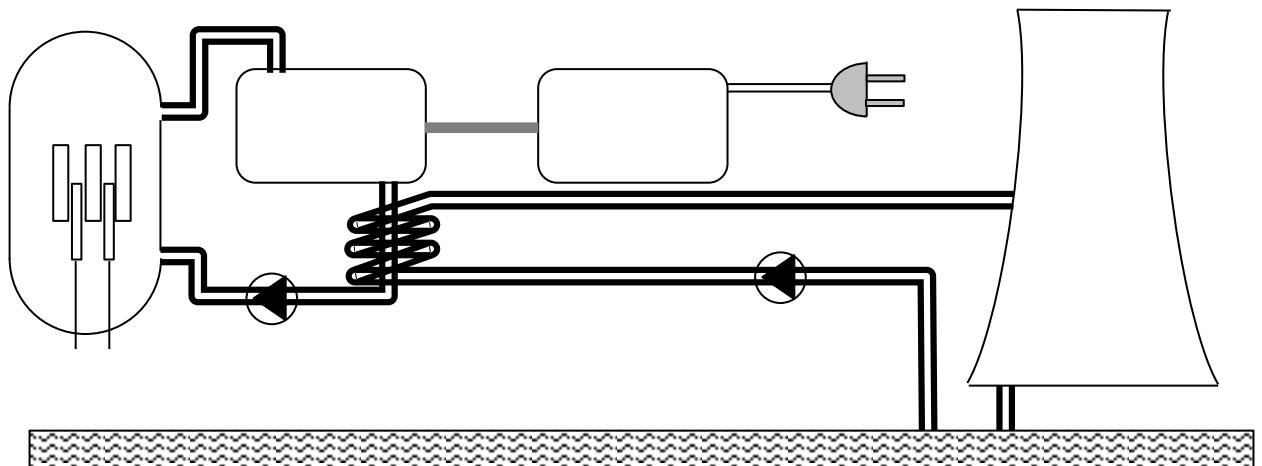


Schritt	1	2	3	4	5	6	...	n
Zahl der Folgespaltungen	3						...	

Ist die Konzentration der spaltbaren Kerne genügend hoch („**kritische Masse**“), so kommt es zur \_\_\_\_\_ **explosion**. In Kernkraftwerken ist die Konzentration der spaltbaren Kerne \_\_\_\_\_, so dass eine Atomexplosion auch bei einer unkontrollierten Kettenreaktion nicht möglich ist! Um die Kettenreaktion trotz der geringen Konzentration zu ermöglichen, dienen \_\_\_\_\_ wie das (Kühl-)Wasser und zusätzliche Borsäure dazu, die \_\_\_\_\_ (wirkungslosen) Neutronen auf eine wirksame Geschwindigkeit \_\_\_\_\_. Die Leistung des Reaktors wird durch \_\_\_\_\_ aus absorbierendem Material (z.B. **Graphit**) reguliert. Werden die Steuerstäbe ganz \_\_\_\_\_ **gefahren**, so wird fast alle Strahlung absorbiert und die Kettenreaktion klingt ab (**Abschaltung**). Werden die Steuerstäbe ganz \_\_\_\_\_ **gefahren**, so verstärkt sich die Kettenreaktion immer mehr, bis schließlich der Kern \_\_\_\_\_ und durch das Betonfundament in Richtung Erdkern dringt („**China-Syndrom**“).

Bei dem preiswerten **Siedewasserreaktor** führt der **Primärkreis** den \_\_\_\_\_ (Hochdruck)heißdampf direkt auf die Turbinen, welche dadurch ebenfalls \_\_\_\_\_ werden. Die Steuerstäbe werden **von unten** in den Kern gefahren bzw. im Notfall mit Druckluft „eingeschossen“. Für die \_\_\_\_\_ des „entspannten“ (Niederdruck)dampfes ist ein **Sekundärkühlkreis** mit Kühlung durch \_\_\_\_\_ und/oder \_\_\_\_\_ notwendig.

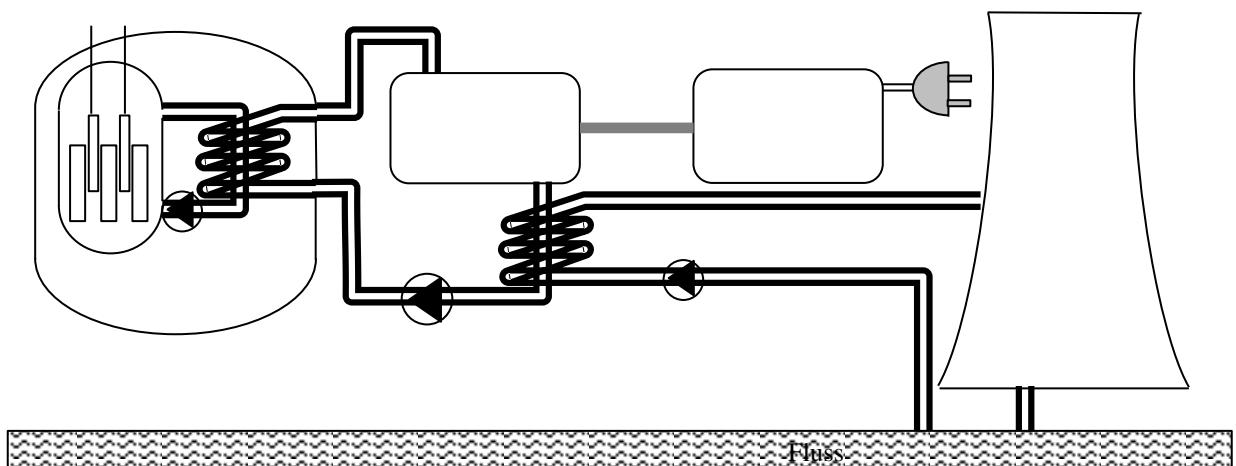
**Beispiel KK Leibstadt/AG (Toshiba-Westinghouse 1984, Leistung 1000 MW, Luftkühlung)**  
 Ergänze: Druckbehälter, Kühlturm, Fluss, Turbine, Generator, Brennstäbe, Steuerstäbe, Pumpe (2x), Kondensator, Primärkreis, Sekundärkreis, Hochdruckheißdampf



Bei dem teureren Druckwasserreaktor erwärmt der Primärkreis zunächst einen schwächer radioaktiven Sekundärkreis, der die Turbinen antreibt, welche dadurch \_\_\_\_\_ radioaktiv belastet sind. Die Steuerstäbe werden von oben in den Kern gefahren und \_\_\_\_\_ im Störfall ganz hinein, was automatisch zur Abschaltung führt. In U-Booten werden aus \_\_\_\_\_ gründen nur Druckwasserreaktoren eingesetzt!

### Beispiel Gösgen/SO (Siemens KWU 1972, Leistung 1000 MW, Luftkühlung)

Ergänze: Druckbehälter, Kühlurm, Fluss, Turbine, Generator, Brennstäbe, Steuerstäbe, Pumpe (3x), Kondensator, Wärmetauscher, Frischwasser, Hochdruckheißdampf, Primärkreis, Sekundärkreis, Tertiärkreis



## 5. Kernphysik

Mit der einfachen Atomvorstellung von lose aufeinander liegenden Kugeln lassen sich viele **Stoffeigenschaften** nicht erklären. Die Zusammensetzung von **Verbindungen** wie z.B. H<sub>2</sub>O und ihre Eigenschaften wie **Festigkeit**, **Aggregatzustände**, **Leitfähigkeiten für Wärme und Strom sowie Lösungsverhalten** lassen sich nur über die **Anziehungskräfte** verstehen, die die Atome aufeinander ausüben. Diese Kräfte resultieren aus ihrer inneren Struktur, dem **Atombau**. Auch **elektromagnetische Strahlen** wie z.B. **Farben**, **Röntgenstrahlung** und **Radioaktivität** entstehen im **Inneren der Atome**. Sie liefern die wichtigsten Informationen über den **Atombau** und damit zu den **Anziehungskräften** zwischen den Atomen sowie der Struktur der Materie.

### 5.1 Elementarteilchen

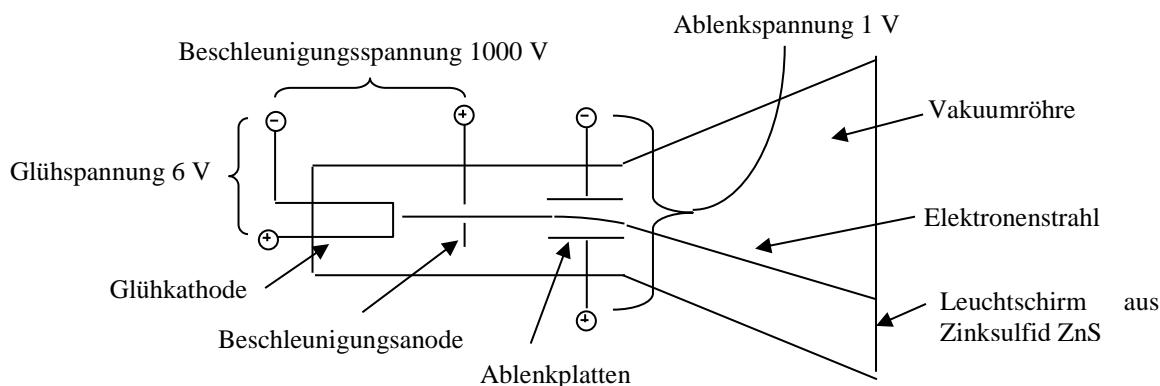
Elemente I S. 128 Chemie heute S. 158 Versuch: OHP-Folie und Gummistab mit Elektroskop, FWU Film Elektrostatik.

#### Kräfte und Ladungen

1. Körper können positiv oder negativ elektrisch aufgeladen werden.
2. Entgegengesetzt geladene Körper ziehen sich an, gleichsinnig geladene Körper stoßen sich ab.
3. Die Ladungskräfte nehmen mit wachsender Ladung zu und mit wachsendem Abstand ab.

Braunsche Röhre zeigen, youtube [Ferdinand Bauer und die Kathodenstrahlröhre](#)

#### Nachweis von Elektronen mit dem Kathodenstrahlrohr (Braunsche Röhre)



Elemente I S. 131 Abschnitt Elementarteilchen und B4 / Chemie heute S. 162

Name	Masse in u (unit)	Ladung
Proton p <sup>+</sup> (griech. πρῶτος = erster)	1	positive Elementarladung
Neutron n (lat. neuter = keiner von beiden)	1	-
Elektron e <sup>-</sup> (griech. ελεκτρον = Bernstein)	$\frac{1}{2000}$	negative Elementarladung

**unit** = atomare Masseneinheit mit 1 g = 602 200 000 000 000 000 000 000 u = 1 Mol u

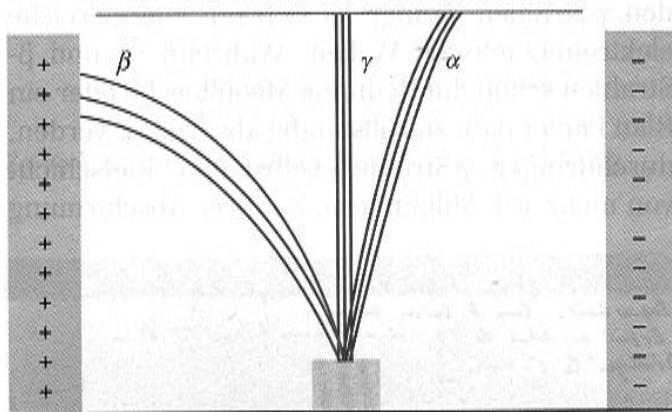
⇒ 1 mol Neutronen bzw. 1 Mol Protonen haben die Masse 1 g.

Übungen: Aufgaben zur Kernphysik Nr. 1 und 2

### 5.2 Radioaktive Strahlung

Chemie heute S. 160, youtube [Marie Curie und die Entdeckung der Radioaktivität](#) (43') oder [Marie Curie und die Radioaktivität](#) (15')

Beim Zerfall instabiler Atome entsteht **radioaktive Strahlung**, die man nach ihren Ablenkungsverhalten im **elektrischen Feld** eines Plattenkondensators in drei Arten unterteilt:



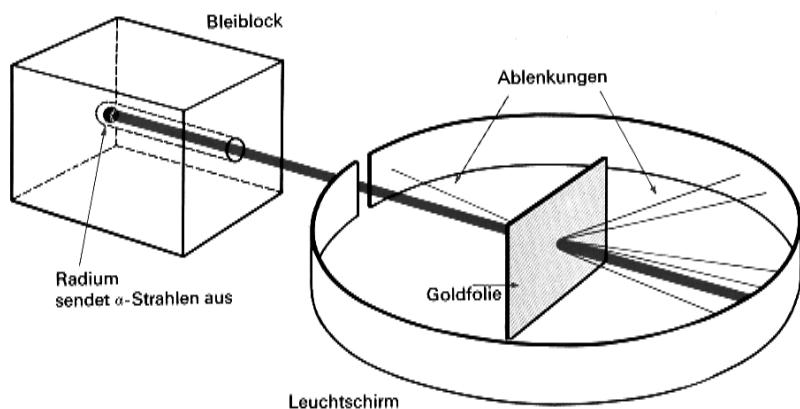
Bezeichnung	besteht aus	Abschirmung durch
α Strahlung	He <sup>2+</sup> - Teilchen (2 Protonen + 2Neutronen)	Blatt Papier
β- Strahlung	Elektronen	dickes Buch
γ- Strahlung	sehr energiereiche Röntgenstrahlung	2 m Beton

Übungen: Aufgaben zur Kernphysik Nr. 3

### 5.3 Streuversuch und Atommodell von Rutherford

Elemente I S. 130 / Chemie heute S. 161 / youtube [TERRA X Rutherford'scher Streuversuch](#)

**Aufbau:**



**Durchführung:**

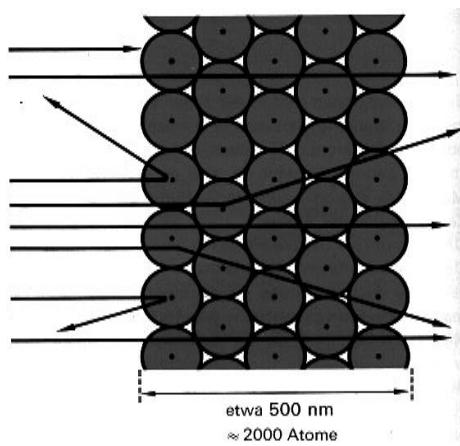
Beschuss einer dünnen Goldfolie (ca. 2000 Atomlagen) mit α-Teilchen ( $\text{He}^{2+}$ ) und Bestimmung der Bahn dieser Teilchen durch Schwärzung von Filmmaterial.

**Beobachtung:**

Fast alle α-Teilchen durchdringen die Goldfolie ungehindert.

**Erklärung durch das Atommodell von Rutherford:**

Die Atome sind im Wesentlichen leer. Der **Atomkern** besteht aus Protonen und Neutronen. Er ist sehr klein und positiv geladen. Die Elektronen halten sich in der **Atomhülle** auf, die ca. 10 000 mal so groß ist wie der Atomkern. Der Teilchenstrahl wird nur abgelenkt, wenn er genau das Zentrum (den **Kern**) eines Atoms trifft:



Elemente I S. 132 / Chemie heute S. 162

Im <b>Periodensystem</b> bedeuten	
<b>Ordnungszahl</b>	= Zahl der Elektronen
	= Zahl der Protonen
<b>Massenzahl</b>	
	= Gesamtzahl der Neutronen und Protonen
	= Masse von 1 Atom in u (unit)
	= Masse von 1 Mol Atomen in g
<b>Schreibweise:</b>	$\frac{\text{Massenzahl}}{\text{Ordnungszahl}}$ Elementsymbol

### Grenzen des Rutherford-Modells:

Das Rutherford-Modell erklärt zwar das Phänomen der Radioaktivität und das Ergebnis des Streuversuchs, kann aber wie das Teilchenmodell keine Aussagen zur chemischen Bindung liefern.

*Übungen: Aufgaben zur Kernphysik Nr. 4, FWU-Film Atombau (1. Kurzfilm)*

## 5.4 Isotope

*Elemente I S. 133 / Chemie heute S. 163*

Atome, die sich nur in der Zahl der Neutronen unterscheiden, nennt man **Isotope**. Die meisten Elemente kommen in der Natur als Mischung verschiedener Isotope vor. Die **durchschnittliche Atommasse** eines Elements erhält man aus den Atommassen der Isotope als **Mittelwert** unter Berücksichtigung der natürlichen Isotopenhäufigkeit.

### Beispiel:

Das Element Bor besteht aus 19,78 %  $^{10}\text{B}$  und 80,22 %  $^{11}\text{B}$ . Von 100 Boratomen haben also durchschnittlich 19,78 Stück die Masse 10 u und 80,22 Stück die Masse 11 u. Die durchschnittliche Masse eines Boratoms ist also

$$m = \frac{19,78 \cdot 10\text{u} + 80,22 \cdot 11\text{u}}{100} = 0,1978 \cdot 10\text{u} + 0,8022 \cdot 11\text{u} = 10,80\text{u}$$

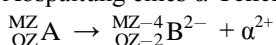
*Übungen: Aufgaben zum Kernphysik Nr. 5*

## 5.5 Zerfallsreihen

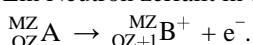
*Legende zur Nuklidkarte betrachten und Lücken mit Hilfe des Buches ausfüllen*

### Isotope mit hohen Massenzahlen sind häufig instabil und daher radioaktiv.

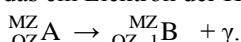
**$\alpha$ -Zerfall:** Abspaltung eines  $\alpha$ -Teilchens (2 Protonen und 2 Neutronen) vom Kern:



**$\beta^-$ -Zerfall:** Ein Neutron zerfällt in ein Proton, welches im Kern bleibt, und ein Elektron, das den Kern verlässt:



**$\beta^+$ -Zerfall:** Ein Proton zerfällt in ein Neutron, welches im Kern bleibt, und ein Positron (positiv geladenes Elektron), das ein Elektron der Hülle vernichtet und dabei  $\gamma$ -Strahlung aussendet:



In der **Nuklidkarte** werden alle Isotope nach Protonenzahl Z und Neutronenzahl N aufgetragen.

Die **Halbwertszeit**  $T_{1/2}$  ist die Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Teilchen zerfallen ist

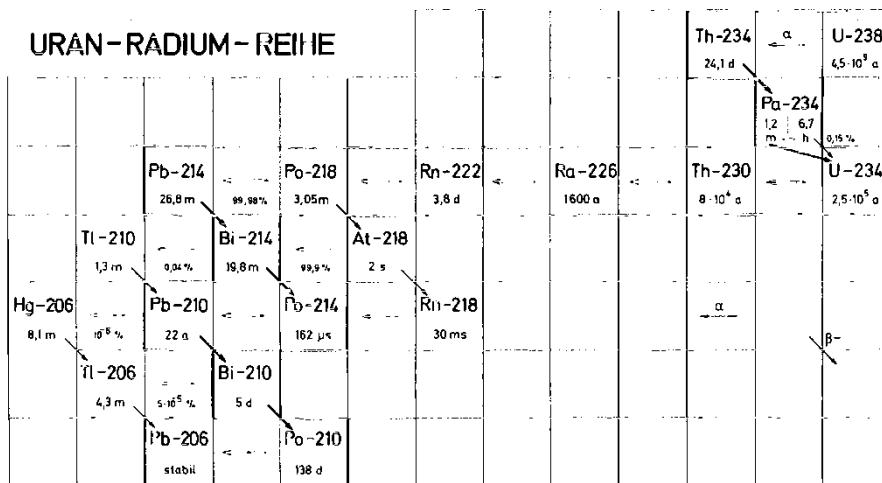
*Übungen: Aufgaben zum Kernphysik Nr. 6*

*Lücken mit Hilfe des PSE ausfüllen*

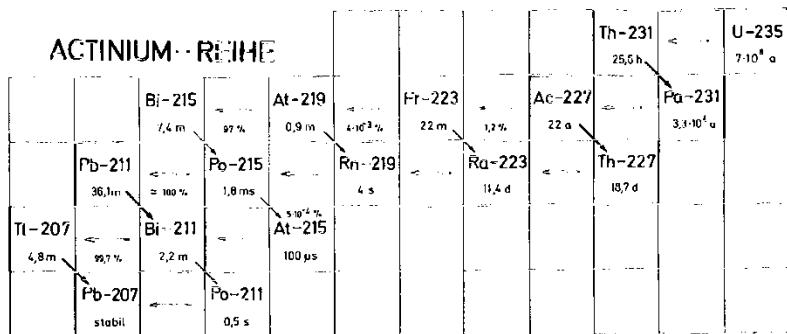
Die natürliche Radioaktivität auf der Erde entsteht durch nur drei Zerfallsreihen. Z.B. beschreibt die **Uran-Radium-Reihe** den Zerfall von **Uran U** (nach dem im gleichen Jahr 1789 entdeckten Planeten **Uranus**) über **Thorium Th** (nach dem nordischen Kriegsgott Thor), **Protactinium Pa** (da es u.a. in Actinium zerfallen kann), **Radium Ra** (von lat. radius = Strahl), **Radon Rd** (entsteht aus Radium), **Polonium Po** (nach dem Geburtsland der Entdeckerin Marie Curie), **Bismut Bi** (von altdeutsch wise mine = schlechtes Erz), **Thallium Tl** (nach thallos = sprühendes Blatt von der grünen Spektrallinie), **Quecksilber Hg** (engl. mercury oder früher quicksilver, lat. hydrargirum = flüssiges Silber) zu **Blei Pb** (lat. Plumbum).

*Lücken mit Hilfe der Nuklidkarte ausfüllen*

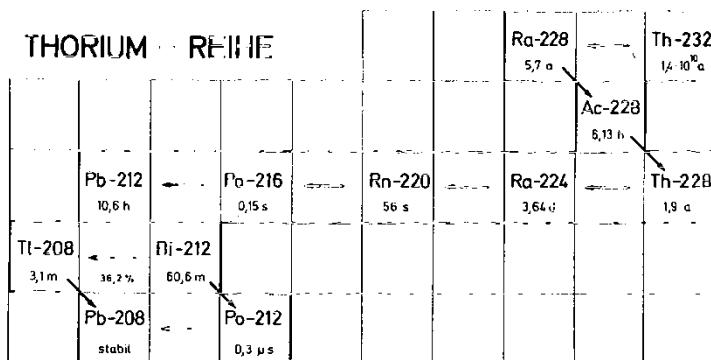
### URAN-RADIUM-REIHE



### ACTINIUM-REIHE



### THORIUM-REIHE



### Physiologische Wirkung radioaktiver Isotope:

Isotop	Halbwertszeit	Vorkommen
129I	15,7 Mio Jahre	reichert sich in der Schilddrüse an
90Sr	28,5 Jahre	reichert sich anstelle von Ca in den Knochen an
137Cs	30,7 Jahre	wird anstelle von Na und K im Körper aufgenommen
40K	1,38 Mill Jahre	wird anstelle von Na und K im Körper aufgenommen
222Rn	3,8 Tage	Aufnahme über die Lunge, entsteht bei natürlichen Zerfallsprozessen im Mauerwerk

Übungen: Aufgaben zur Kernphysik Nr. 7

## 5.6 Zerfallsgesetze

### Beispiel:

Von einer beliebigen Anzahl Radon-218-Atom sind nach der Halbwertszeit  $T_{1/2} = 30 \text{ ms}$  jeweils die Hälfte zerfallen.  
Für  $N_0 = 100$  Atome gilt also:

### Zerfallsgesetz:

Nach  $t$  Zeiteinheiten (Je nach Angabe der Halbwertszeit in der Nuklidkarte Jahre a, Tage d, Stunden h, Minuten m, Sekunden s oder Millisekunden ms) sind von ursprünglich  $N_0$  Atomen noch

$$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \text{ Atome übrig.}$$

*Übungen: Aufgaben zur Kernphysik Nr. 8 und 9*

## 5.7 Kernenergie

Durch die Kollision der freigesetzten Atombruchstücke mit anderen Atomen entsteht beim radioaktiven Zerfall auch Wärme, die in **Kernkraftwerken** zur Stromerzeugung genutzt wird. Diese Kollisionen können ihrerseits zum Zerfall neuer Atome führen, so dass sich der radioaktive Zerfall in einer **Kettenreaktion** lawinenartig ausbreitet und verstärkt.

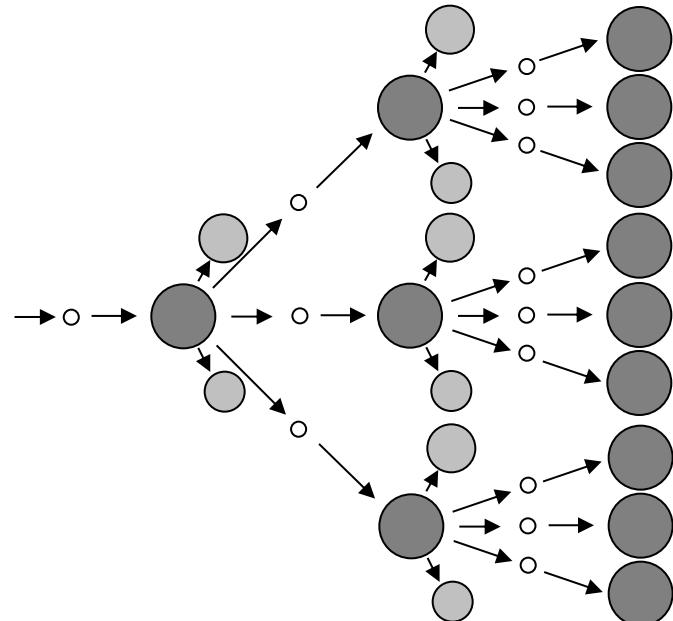
### Beispiel:

Kettenreaktion bei der Spaltung eines Uran-235-Kerns durch **langsame** Neutronen.

Da jeder Urankern selbst wieder 2 – 3 Neutronen aussendet, verdoppelt oder verdreifacht sich die Zahl der Spaltungen bei jedem Schritt:

- langsames Neutron
- $^{235}\text{Uran}$
- $^{139}\text{Barium}$
- $^{94}\text{Krypton}$

Zeit t	Anzahl $N(t)$	Exponent n =
0 s	$N(0) = N_0 = 100$	0
30 s	$N(1) = N_0 \cdot \frac{1}{2} = 50$	1
60 s	$N(2) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 25$	2
90 s	$N(3) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 = 12,5$	3
t	$N(t) = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$	$\frac{t}{T_{1/2}}$



Schritt	1	2	3	4	5	6	...	n
Zahl der Spaltungen	1	3	9	27	81	243	...	$3^n$

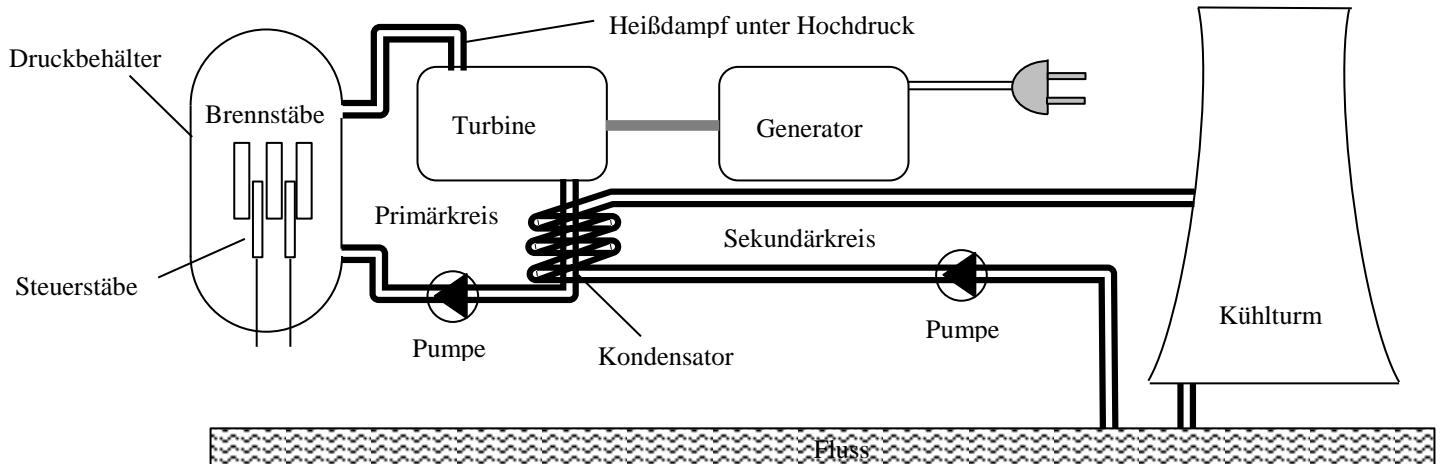
Planet Schule [Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?](#)

Ist die Konzentration der spaltbaren Kerne genügend hoch („**kritische Masse**“), so kommt es zur **Atomexplosion**. In Kernkraftwerken ist die Konzentration der spaltbaren Kerne geringer, so dass eine Atomexplosion auch bei einer unkontrollierten Kettenreaktion nicht möglich ist! Um die Kettenreaktion trotz der geringen Konzentration zu ermöglichen, dienen **Moderatoren** wie das (Kühl-)Wasser und zusätzliche Borsäure dazu, die **schnellen** (wirkungslosen) Neutronen auf eine wirksame Geschwindigkeit **abzubremsen**. Die Leistung des Reaktors wird durch **Steuerstäbe** aus absorbierendem Material (z.B. **Graphit**) reguliert. Werden die Steuerstäbe ganz **hereingefahren**, so wird fast alle Strahlung absorbiert und die Kettenreaktion klingt ab (**Abschaltung**). Werden die Steuerstäbe ganz **herausgefahren**, so verstärkt sich die Kettenreaktion immer mehr, bis schließlich der Kern **schmilzt** und durch das Betonfundament in Richtung Erdkern dringt („**China-Syndrom**“).

Bei dem preiswerten **Siedewasserreaktor** führt der **Primärkreis** den **radioaktiven** (Hochdruck)heißdampf direkt auf die Turbinen, welche dadurch **verstrahlt** werden. Die Steuerstäbe werden **von unten** in den Kern gefahren, bzw. im Notfall mit Druckluft „eingeschossen“. Für die **Kondensation** des „entspannten“ (Niederdruck)dampfes ist ein **Sekundärkühlkreis** mit Kühlung durch Flusswasser und/oder Luft notwendig.

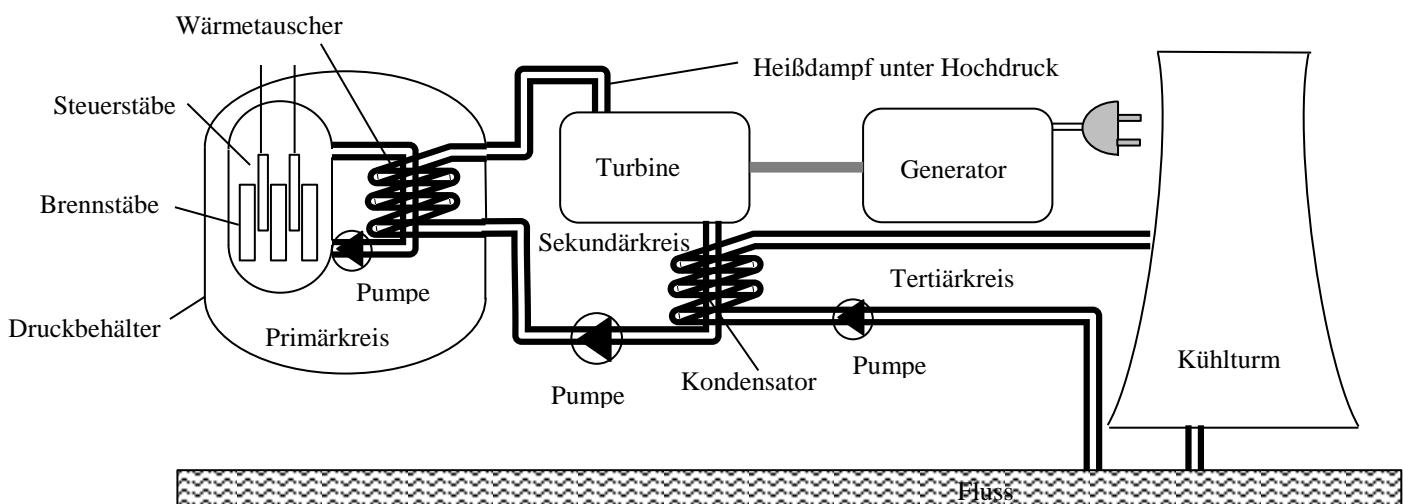
*Bilder nach Beschreibung beschriften*

**Beispiel KK Leibstadt/AG (Hersteller Westinghouse, Baujahr 1984, Leistung 1000 MW, Luftkühlung)**



Bei dem teureren **Druckwasserreaktor** erwärmt der **Primärkreis** zunächst einen schwächer radioaktiven **Sekundärkreis**, der die Turbinen antreibt, welche dadurch kaum radioaktiv belastet sind. Die Steuerstäbe werden **von oben** in den Kern gefahren und **fallen** im Störfall ganz hinein, was automatisch zur Abschaltung führt. In **U-Booten** werden ausschließlich Druckwasserreaktoren eingesetzt.

**Beispiel KK Gösgen/SO (Hersteller Siemens/KWU, Baujahr 1972, Leistung 1000 MW)**



*Übungen: Aufgaben zur Kernphysik Nr. 10*