



UNIVERSITÄT ROSTOCK



## **Vorlesung *Allgemeine Chemie* (CH01)**

Für Studierende im B.Sc.-Studiengang Chemie

**Prof. Dr. Martin Köckerling**

**Arbeitsgruppe Anorganische Festkörperchemie**

**Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Institut für Chemie**



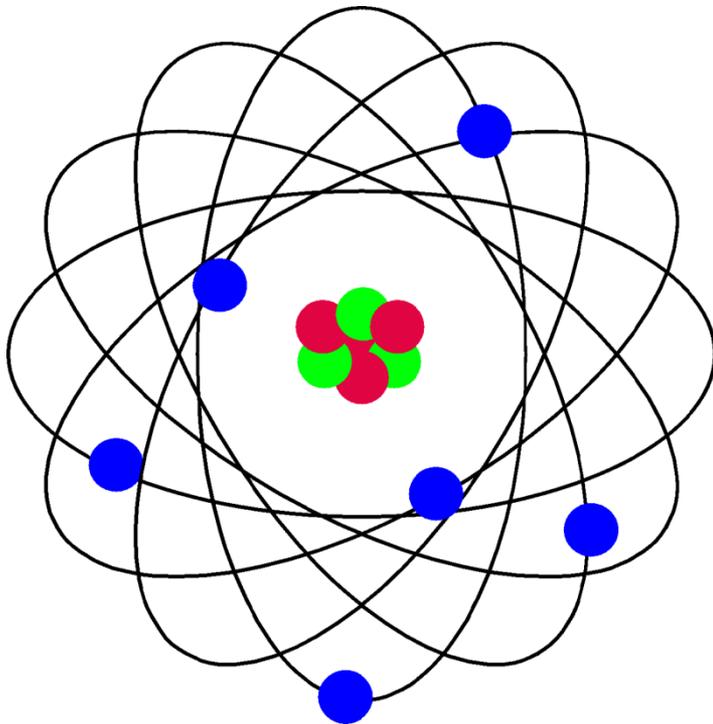
## **Wiederholung der letzten Vorlesungsstunde:**

Atommodelle, Rutherford-Experiment, Atomaufbau, Elektronen, Protonen, Neutronen, Element, Ordnungszahl

## **Thema heute: Aufbau von Atomkernen, Kernumwandlungen**



## Der Atomaufbau



Ladung eines Teilchens: Anzahl  
Protonen – Anzahl Elektronen;

Beispiel: Atom mit 6 Protonen:

Kernladungszahl = 6

+ 6 Neutronen  $\Rightarrow$  Nukleonenzahl = 12  
(Massenzahl)

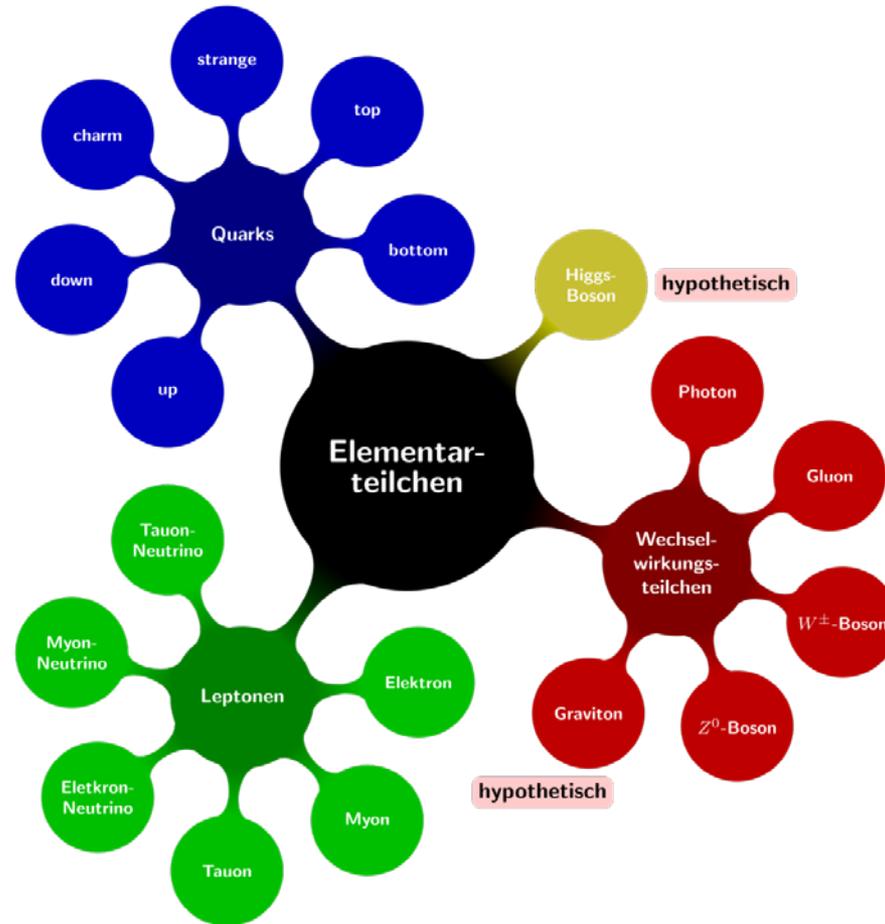
Zahl der Elektronen = Zahl der  
Protonen = 6

Symbole für die einzelnen Atomsorten

$P^+ = 6$   $\curvearrowright$  Element Kohlenstoff,  
Symbol C

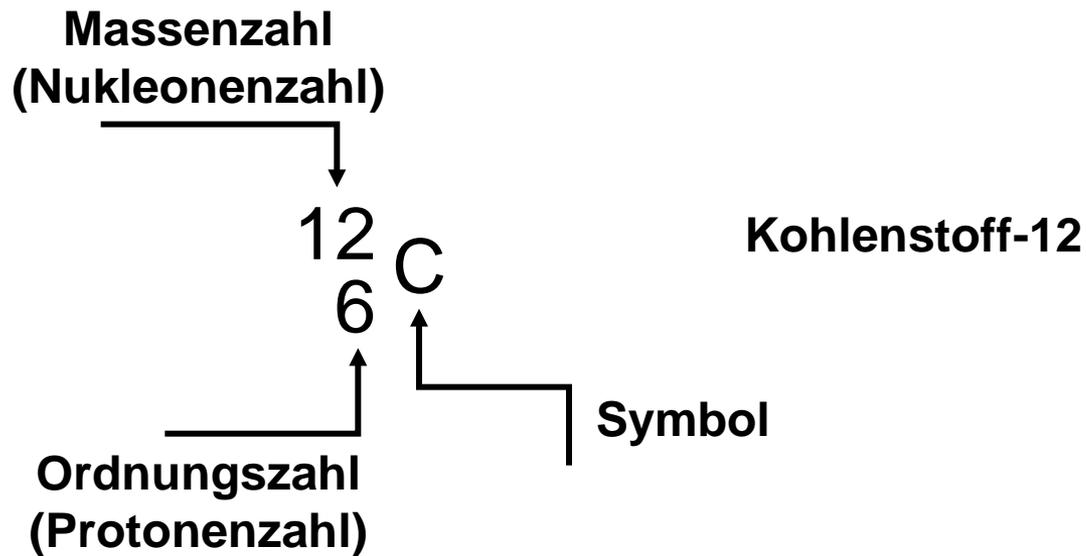


# Elementarteilchen





Unterschiedliche „Nuklide“ sind möglich, wenn bei gleicher Ordnungszahl (gleiches Element!) eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen vorhanden ist.

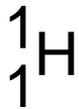


Unterschiedliche "Nuklide" sind möglich, wenn bei gleicher Ordnungszahl (gleiches Element) eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen vorhanden ist. Die Anzahl der Nukleonen setzt sich additiv aus der Anzahl der Neutronen und der Protonen zusammen.

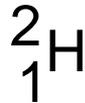


**Nukleonenzahl**  
**Elementsymbol**  
**Protonenzahl**

Anzahl Neutronen: Nukleonenzahl – Protonenzahl



Wasserstoff



Deuterium



Tritium (radioaktiv)

Isotope: Nuklide (Atomkerne) mit gleicher Protonenzahl (= Elemente) aber verschiedener Neutronenzahl (und damit unterschiedlicher Nukleonenzahl).

Insgesamt existieren ca. 340 natürlich vorkommende Nuklide, 270 sind stabil, 70 radioaktiv. Es existieren 92 natürlich vorkommende Elemente  
Die meisten Elemente sind Mischelemente



Teilchen	Symbol	Masse	Ladung
Neutron	n	1 u; $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg	neutral
Proton	p+	1 u; $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg	$+1,6 \cdot 10^{-19}$ C
Elektron	e <sup>-</sup>	0,00055 u; $0,91 \cdot 10^{-30}$ kg	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ C

Die atomare Masseneinheit u ist definiert als  $\frac{1}{12}$  der Masse eines Atoms des Kohlenstoffnuklids  $^{12}\text{C}$



1 cm<sup>3</sup> Materie ~ 10<sup>23</sup> Atome

Protonenzahl = Kernladungszahl

Protonenzahl = Elektronenzahl

Nukleonenzahl = Protonenzahl + Neutronenzahl



109 bekannte Elemente :  
lückenlose Folge der  
Protonenzahl 1 bis 109.

(= Ordnungszahl)

Mischelemente: Mischungen aus  
verschiedenen **Isotopen**

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

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



## Schematische Skizze eines Massenspektrometers

Experimenteller Nachweis von Isotopen:

Massenspektroskopie: Isotope unterscheiden sich in der Anzahl der Neutronen und damit in der Masse.

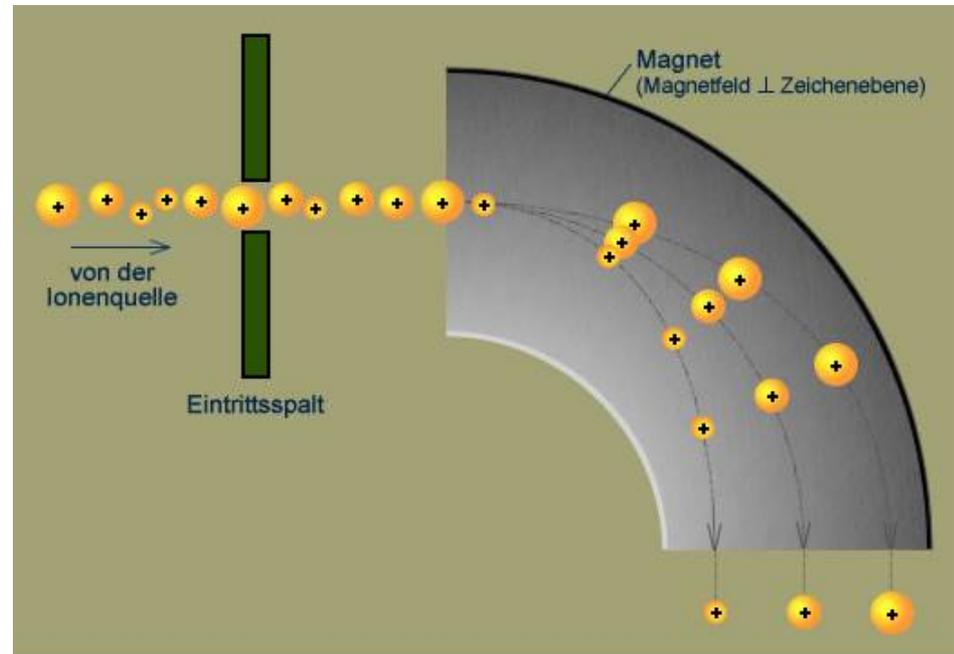
Gasteilchen – Ionisation:

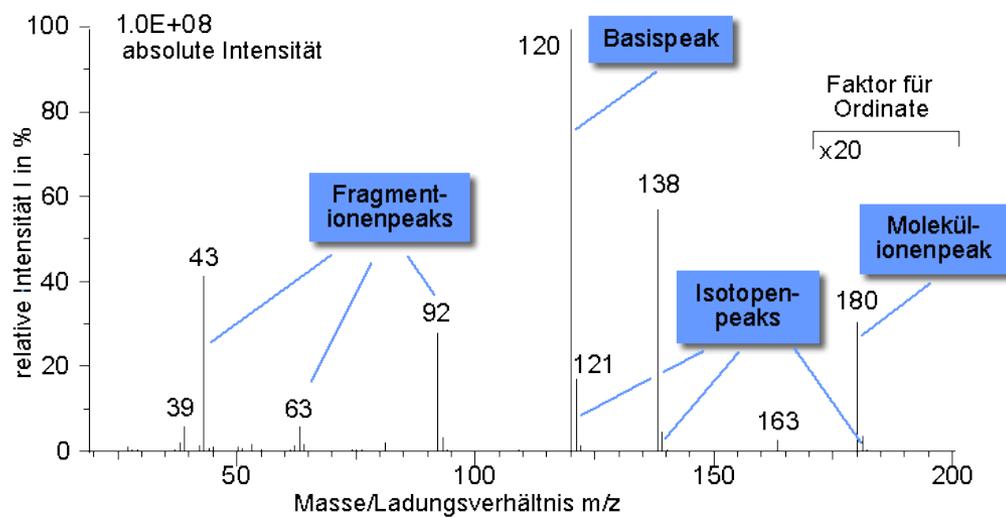
Ablenkung durch ein elektrisches und ein magnetisches Feld.

Ablenkung ist abhängig von dem Quotienten aus Ladung und Masse

→ Trennung nach Masse

Genauigkeit  $\sim 10^{-6}$  u







Zwischen positiven und negativen Ladungen, elektrisch geladenen Teilchen oder Körpern wirken elektrostatische Kräfte. Gleichgeladene Teilchen stoßen sich ab; entgegengesetzt geladene Teilchen ziehen sich an.

Die Kraft, die zwischen einzelnen Ladungen wirkt, die elektrostatische Kraft  $F$ , lässt sich mit dem **Coulomb-Gesetz** berechnen.

Ladung 1 Coulomb (Elektrizitätsmenge)

1 Coulomb = Elektrizitätsmenge, die während der Zeit 1 s bei einem zeitlich gleichen elektrischen Strom der Stärke 1 A durch einen elektrischen Leiter fließt.

$$C = A \cdot s$$

$$F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

$F_c$  = Coulomb-Kraft

$\epsilon_0$  = elektrische Feldkonstante,  $8,854 \cdot 10^{-12} \frac{A^2 \cdot s^4}{m^3 \cdot kg}$

$Q_1, Q_2$  = Ladungen;  $r$  = Ladungsabstand



## Physikalische / chemische Größen und Einheiten

Eine eindeutige Fachsprache mit präzisen, klaren Definitionen ist nötig!  
messbare Eigenschaften von Objekten

Beispiele: Länge, Fläche, Volumen, Zeiten, Kräfte, Masse, Temperatur, elektrische Spannung

Die Messung / Angabe einer Größe erfolgt durch den Vergleich mit einer Einheit.

$$\text{Zahlenwert} = \frac{\text{gemessene Größe}}{\text{Einheit}}$$



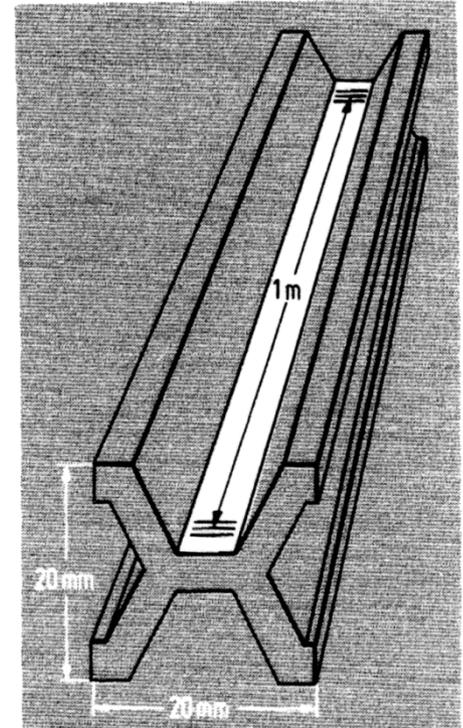
Gemessene, physikalisch / chemische  
**Größe = Zahlenwert · Einheit.**

Für die Definition des Meters existiert ein Urmaß  
(Prototyp) in Paris, 8m unter der Erde bei 0°C

Meßunsicherheit:  $\frac{1}{7000}$  mm

In der BRD gibt es in der Physikalisch-Technischen  
Bundesanstalt in Braunschweig eine Kopie des  
Prototyps, Nr.23

Modernere Definition: 1 Meter ist das 1.650.763,73 –fache  
der Wellenlänge der sich im Vakuum ausbreitenden Strahlung,  
die von Atomen des  $^{86}\text{Kr}$  beim Übergang vom Zustand  $5d^5$   
nach  $2p^{10}$  ausgesandt wird.



**Basisgrößen und Basiseinheiten**

<i>Basisgröße</i>	<i>Formelzeichen</i>	<i>Basiseinheit</i>	<i>Einheitenzeichen</i>
Länge	$l, s, r$	1 Meter	1 m
Zeit	$t$	1 Sekunde	1 s
Masse	$m$	1 Kilogramm	1 kg
Elektrische Stromstärke	$I$	1 Ampere	1 A
Thermodynamische Temperatur	$\vartheta$	1 Kelvin	1 K
Lichtstärke	$I_L$	1 Candela	1 cd
Stoffmenge	$\nu$	1 Mol	1 mol

**Vorsätze und Kurzzeichen**

Vorsatz	Kurzzeichen	Bedeutung	Vorsatz	Kurzzeichen	Bedeutung
Exa	E	$10^{18}$ fach	Dezi	d	$10^{-1}$ fach
Peta	P	$10^{15}$ fach	Zenti	c	$10^{-2}$ fach
Tera	T	$10^{12}$ fach	Milli	m	$10^{-3}$ fach
Giga	G	$10^9$ fach	Mikro	$\mu$	$10^{-6}$ fach
Mega	M	$10^6$ fach	Nano	n	$10^{-9}$ fach
Kilo	k	$10^3$ fach	Piko	p	$10^{-12}$ fach
Hekto	h	$10^2$ fach	Femto	f	$10^{-15}$ fach
Deka	da	$10^1$ fach	Atto	a	$10^{-18}$ fach



Vergleich der Massen von Atomen mit der Summe der Massen der Protonen und Neutronen:

$${}^4\text{He} = 4,0026 \text{ u}$$



$$2 \text{ p}^{\oplus} + 2 \text{ n} \\ 4,0319 \text{ u}$$

→  ${}^4\text{He}$  um 0,0293 u leichter!

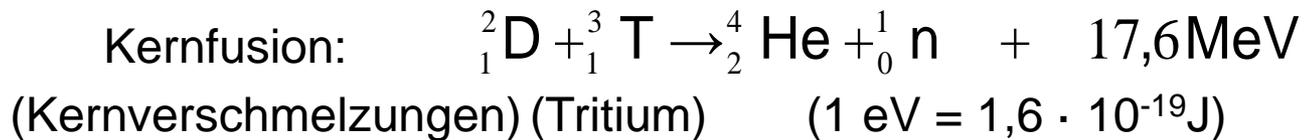
„Die Masse eines Nuklids (bei Nukliden mit Ordnungszahlen kleiner als die des Eisens) ist kleiner als die Summe der Masse seiner Bausteine.“

Einstein:  $E = m \cdot c^2$        $c$ : Lichtgeschwindigkeit  $\sim 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$   
Masse-Energie-Äquivalenz

Gesetz von der Äquivalenz von Masse und Energie! → Kernbindungsenergie

4,0026 g  ${}^4\text{He}$     Massendifferenz 0,03 g    →     $E \sim 2,7 \cdot 10^{12} \text{ J}$  (Tera-Joule)

chemische Reaktion:  $\sim 20 - 1000 \text{ kJ} \sim 10^6 \text{ J}$



1 kg He  $\rightarrow$  200 Millionen kWh Energie!

Aber: Kernfusion funktioniert ab einer Temperatur von ca.  $10^6$  Kelvin!

Temperaturskala  Bewegungsenergie + Schwingungsenergie  
bei  $T = 0$  K (Kelvin) keine Bewegungs- und Schwingungsenergie der Teilchen

$$\begin{aligned} \text{K} &= \text{°C} + 273,15 \\ \text{°F} &= 1,8 \text{ K} - 459,4 \\ &= 1,8 \text{ °C} + 32 \end{aligned}$$

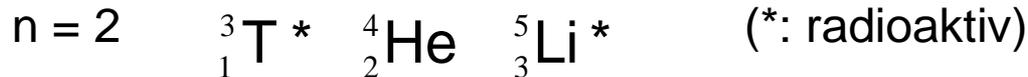
Bei Kernreaktionen wird Masse in Energie (und umgekehrt) umgewandelt; es werden Atomkerne verändert. Dabei spielt die Elektronenhülle keine Rolle. Der Energieumsatz ist ca.  $10^6$  mal größer als bei chemischen Reaktionen. Dabei treten messbare Massenveränderungen auf.



*Isotope:* Nuklide mit gleicher Protonenzahl (Ordnungszahl / Elemente!) aber unterschiedlicher Neutronenzahl



*Isotone:* Atome, deren Kern die gleiche Anzahl Neutronen hat.



*Isobare:* Atome, deren Kern die gleiche Nukleonenanzahl (und damit gleiche Masse) haben:



Bei chemischen Reaktionen finden Veränderungen in der Elektronenhülle statt, die Kerne bleiben unverändert! Da der Energieumsatz nur einige eV beträgt (pro Teilchen) gilt bei chemischen Reaktionen das Gesetz der Erhaltung der Masse.



## Element – Kernumwandlungen: Radioaktivität

Instabile Atomkerne wandeln sich unter Ausstoßung von Elementarteilchen oder kleinen Kernbruchstücken in andere Nuklide um. Bei solchen Kernreaktionen werden große Energiemengen freigesetzt.

- |      |                        |   |
|------|------------------------|---|
| 1896 | Becquerel:             | Uranverbindungen senden „Strahlen“ aus.             |
| 1898 | Pierre u. Marie Curie: | Radium entdeckt, aus Pechblende (Uranerz) isoliert. |
| 1903 | Rutherford/Soddy:      | Radioaktivität beruht auf Zerfall von Atomkernen    |

"natürliche Radioaktivität"      Aussendung von Strahlung

- ➔ Strahlenaussendung lässt sich nicht durch äußere Einwirkung beeinflussen.
- ➔ Radioaktive Präparate sind immer wärmer als Umgebung
- ➔ 3 unterschiedliche Arten von Strahlen
- ➔ Strahlen wirken auf Umgebung ionisierend



# Radioaktivität - 3 Arten radioaktiver Strahlung

Kernumwandlung	Teilchen der Strahlung	Eigenschaften der Strahlungsteilch			
		Bezeichnung der Strahlung	Ladungszahl	Nukleonenzahl	Durchdringungsfähigkeit
<p><math>{}^A_Z\text{E}</math> → <math>{}^{A-4}_{Z-2}\text{E}</math> + He-Kerne</p>	He-Kerne	$\alpha$ -Strahlung	+2	4	gering
<p><math>{}^A_Z\text{E}</math> → <math>{}^A_{Z+1}\text{E}</math> + <math>\ominus</math> Elektronen</p>	$\ominus$ Elektronen	$\beta$ -Strahlung	-1	0	mittel
<p><math>{}^A_Z\text{E}</math> (Kern im angeregten Zustand) → <math>{}^A_Z\text{E}</math> (Kern im Grundzustand) + Photonen (elektromagnet. Wellen)</p>	Photonen (elektromagnet. Wellen)	$\gamma$ -Strahlung	0	0	groß

● Proton      ● Neutron



**$\alpha$ -Strahlung:  $\text{He}^{2+}$**        ${}^A_Z\text{E} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{E}' + {}^4_2\text{He} + \text{Energie}$

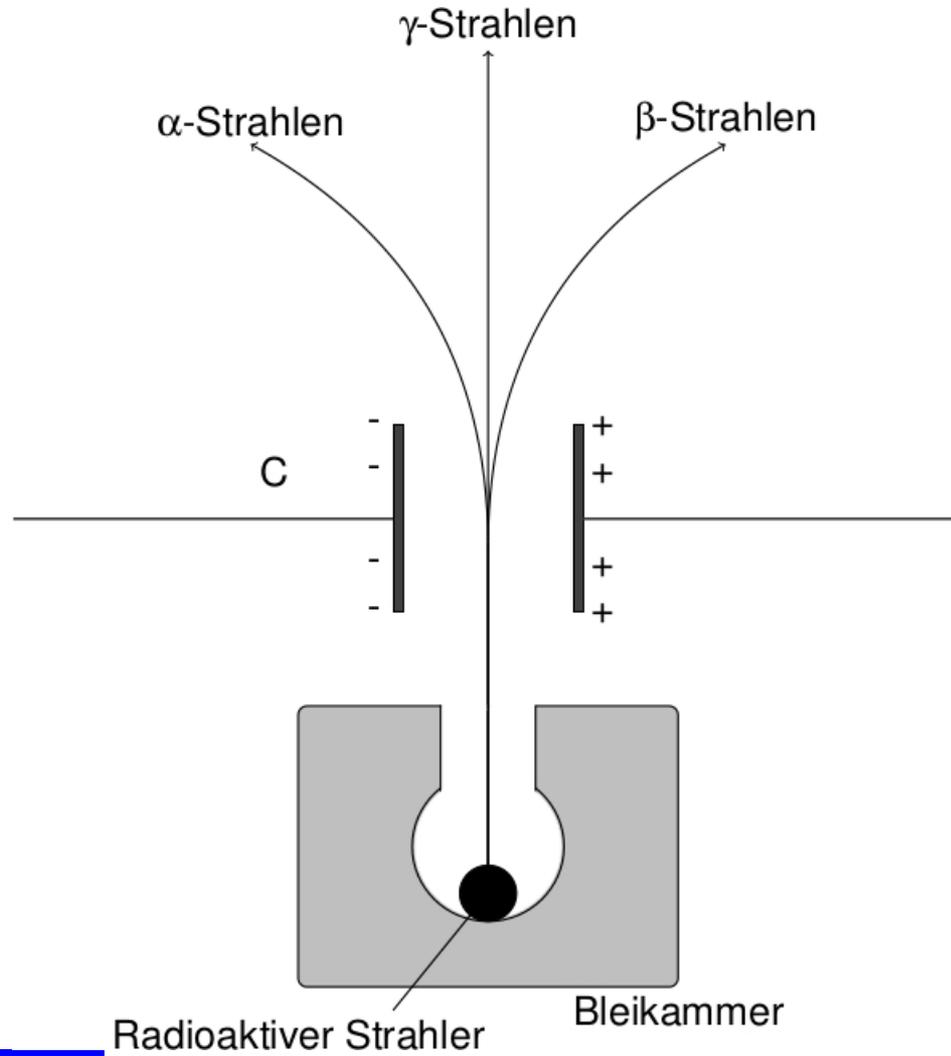


**$\beta$ -Zerfall: Elektronen**       ${}^A_Z\text{E} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{E}' + \text{e}^{\ominus} + \text{Energie}$

Das Elektron stammt aus dem  
Atomkern; Zerfall eines Neutrons:



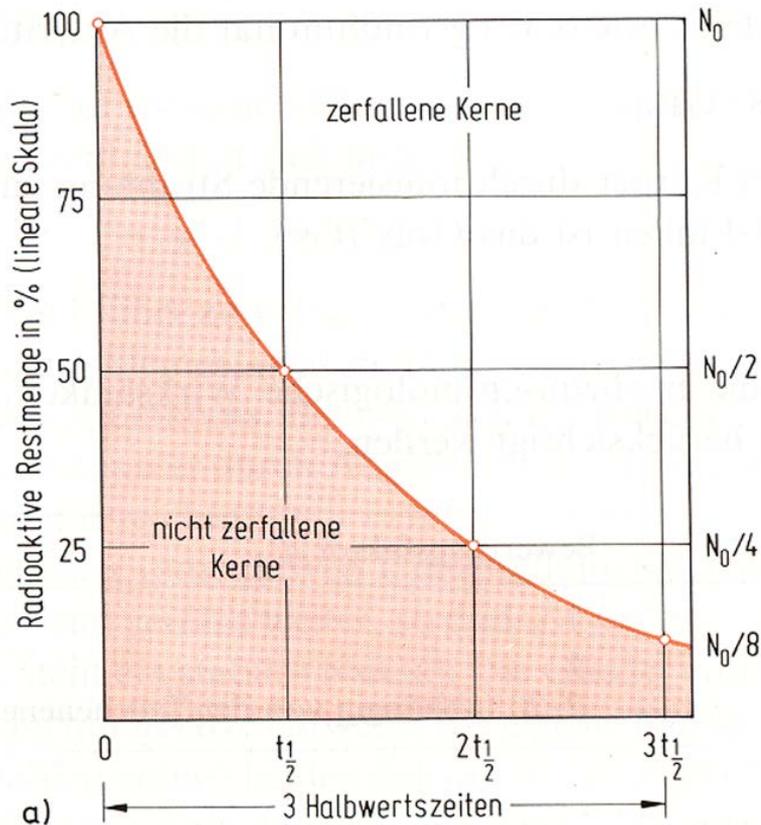
**$\gamma$ -Strahlung:** Abgabe hochenergetischer elektromagnetischer Strahlung





## Die radioaktive Zerfallsgeschwindigkeit

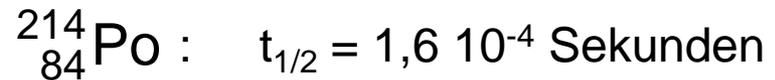
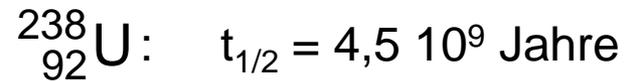
Radioaktive Zerfallsprozesse verlaufen 1) statistisch und 2) nach einem exponentiellen Zerfallsgesetz



$$N_t = N_0 \cdot e^{-kt}$$

K: Zerfallskonstante

### Halbwertszeit



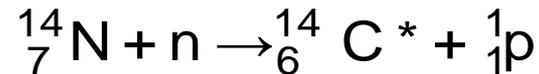
Altersbestimmung "biologischer"  
Materialien:



## Altersbestimmungen

### Altersbestimmung "biologischer Materialien"

$^{14}\text{C}$ -Methode (Libby 1947)



Bei konstanter Neutroneneinstrahlung (kosmische Strahlung) besteht ein Gleichgewicht zwischen Bildung und Zerfall von  $^{14}\text{C}$  in der Atmosphäre. Die Halbwertszeit von  $^{14}\text{C}$  beträgt 5730 Jahre.

### Alter von Mineralien

Die größte Halbwertszeit einer Zerfallsreihe bestimmt die Geschwindigkeit des Zerfalls.



Berechnung des Alters aus den Verhältnissen  ${}^{206}_{82}\text{Pb}/{}^{238}_{92}\text{U}$  bzw.  ${}^4_2\text{He}/{}^{238}_{92}\text{U}$

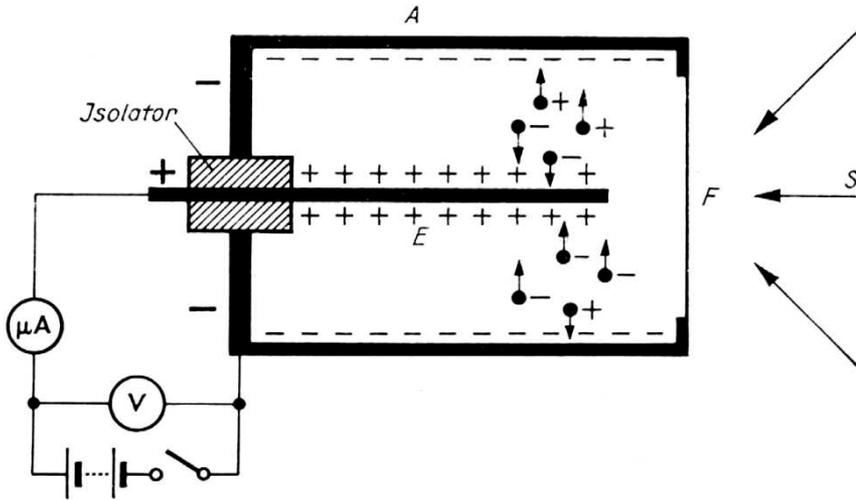
andere Methoden:





# Nachweis/Messung radioaktiver (ionisierender) Strahlung

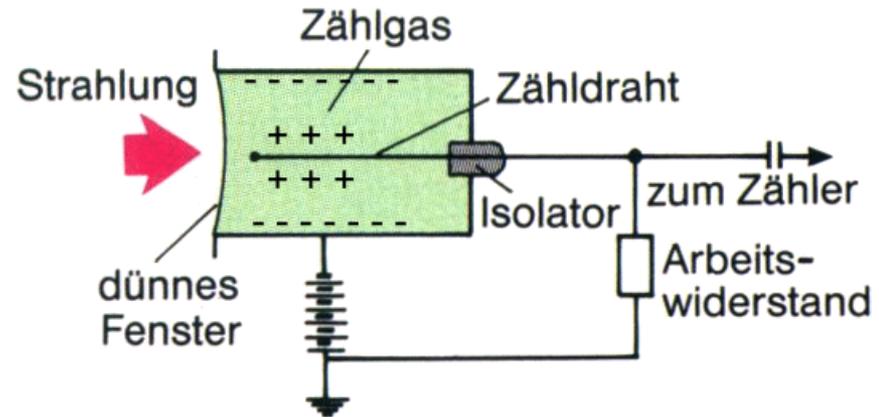
## Ionisationskammer/Geiger-Müller-Zählrohr



Prinzip der Ionisationskammer.

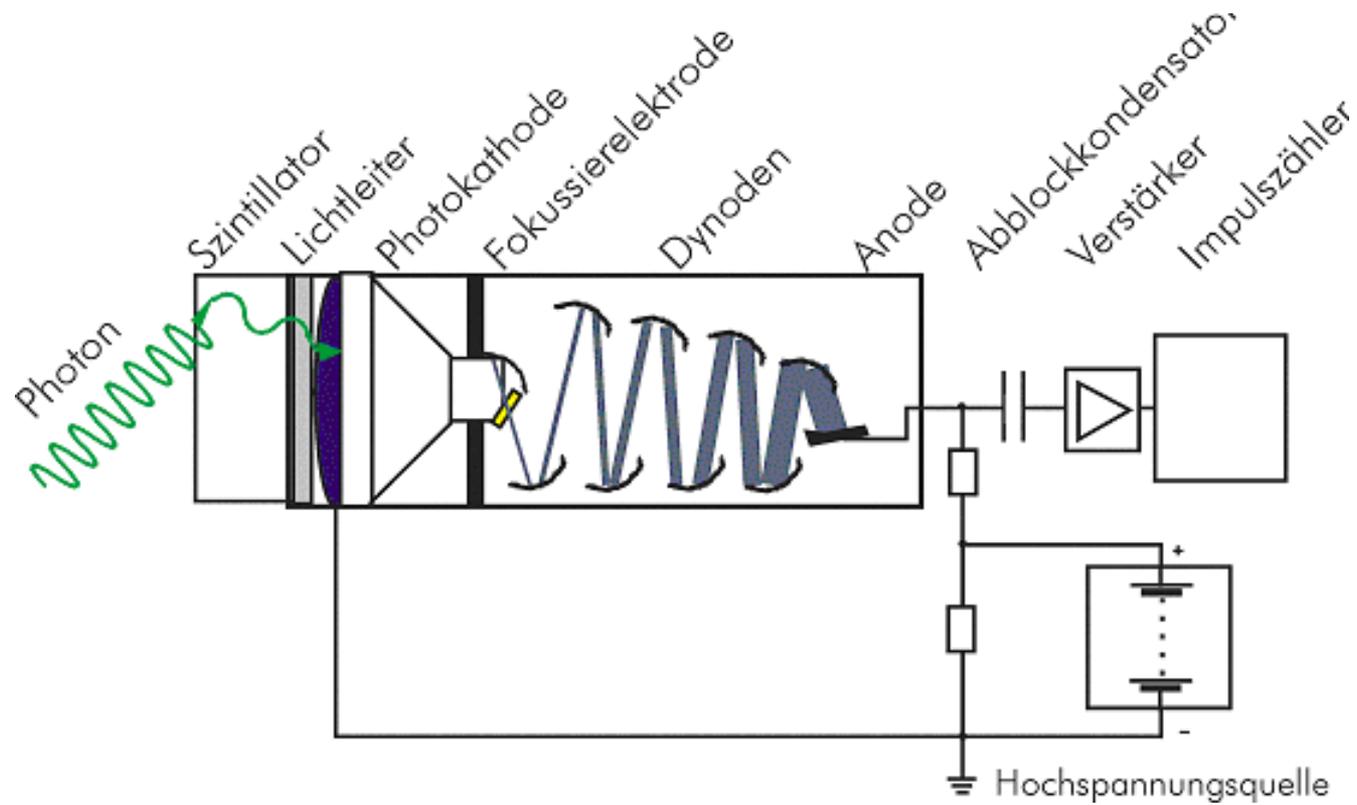
- F* Eintrittsfenster;
- E* Innenelektrode;
- I* Isolator;
- A* Abschirmung;
- kV Spannungsmesser;
- A* Strommesser

## Geiger-Müller-Zählrohr:



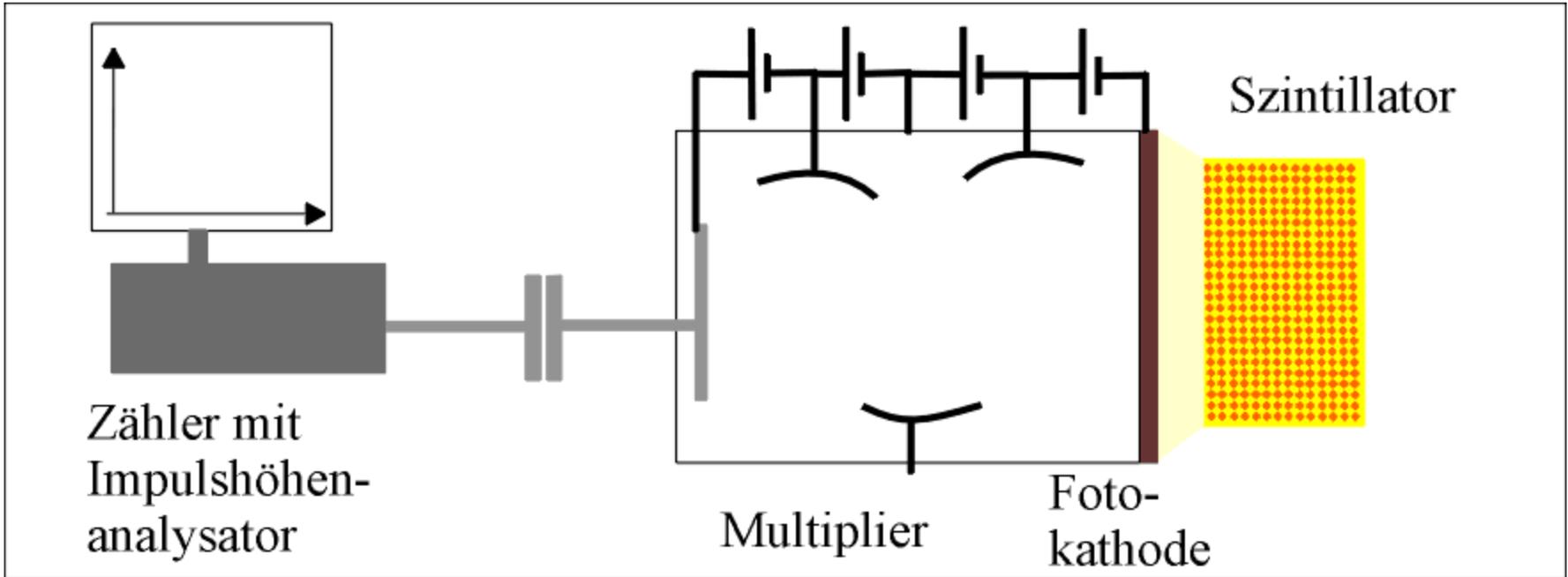


# Szintillationszähler





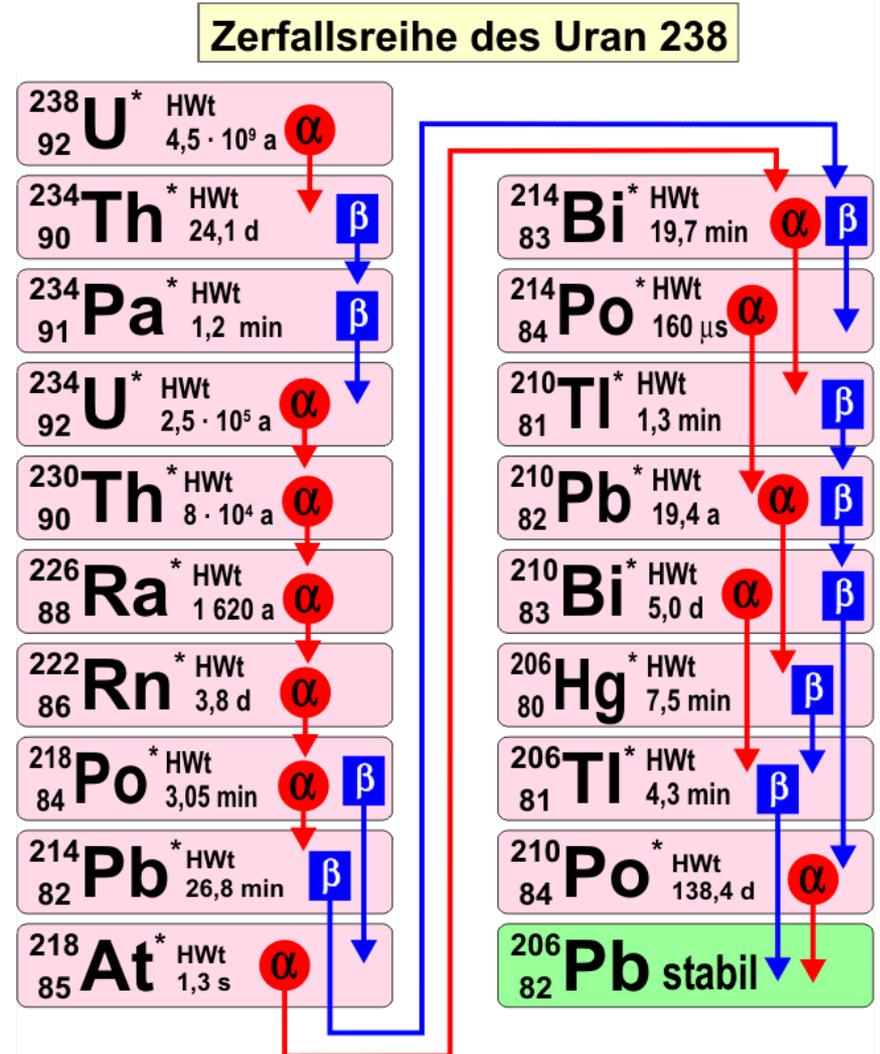
# Szintillationszähler





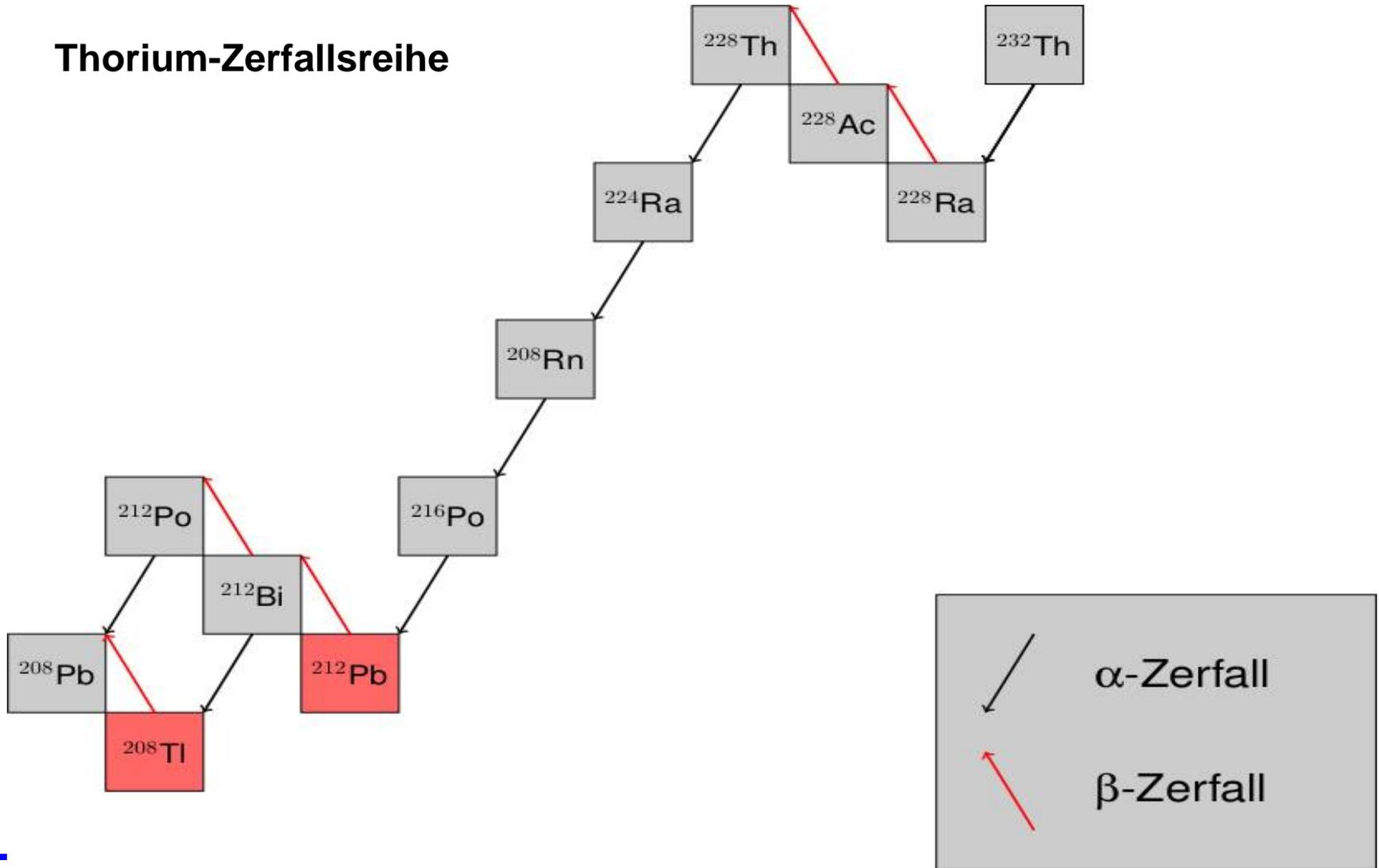
## Natürliche, radioaktive Zerfallsreihen

- 1) Uran-Radium-Reihe ( $^{238}\text{U}$ )
- 2) Thorium-Reihe
- 3) Uran-Actinium-Reihe ( $^{235}\text{U}$ )
- 4) Neptunium-Reihe





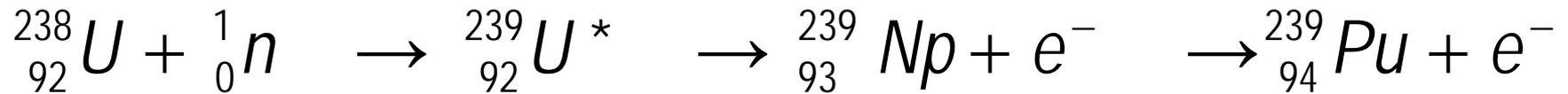
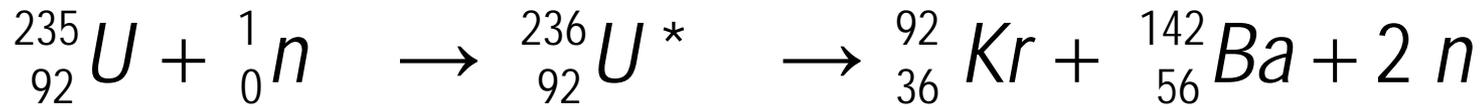
# Thorium-Zerfallsreihe





## Kernspaltung

1938 Hahn u. Strassmann



**Brutreaktion!**

Multiplikationsfaktor  $k$  = erzeugte Neutronen, durch die neue Kernspaltungen ausgelöst werden.

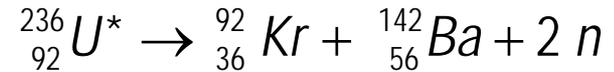
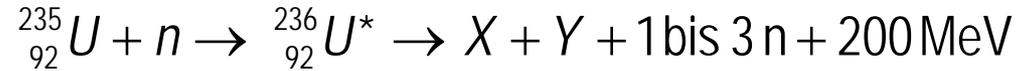
$k > 1$  ungesteuerte Kettenreaktion (Atomexplosion)

$k \sim 1$  gesteuerte Kettenreaktion

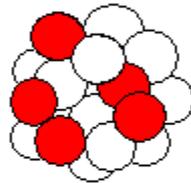


## Kernspaltung

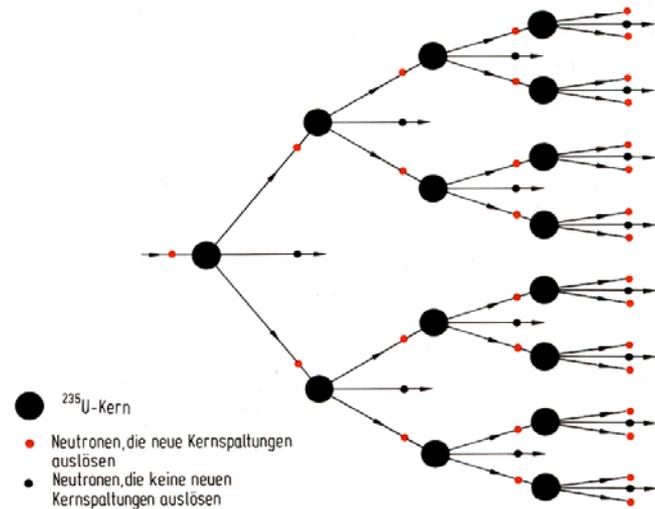
1938 Hahn u. Strassmann  
z.B.



Neutron



Zielatom





## Kernreaktoren

erster Kernreaktor 1942 in den USA (Chicago)  
(E. Fermi)



Sehr wichtig sind die Betriebsbedingungen:

Neutronenverluste

Neutronenbremsung (Moderatoren Wasser o. Graphit)

Neutroneneinfang (Bor / Cadmium)

1 kg  ${}^{235}\text{U}$  liefert Energie von  $2,5 \cdot 10^6$  kg Kohle

1 Reaktor mit  $10^6$  kW Leistung produziert 1 kg Pu/d



E. Fermi  
(1901-1954)





Durch Beschuss von Atomkernen mit Elementarteilchen oder anderen Atomkernen lassen sich gezielt künstliche Isotope und auch neue Elemente herstellen.



- 95: Americium (Am)
- 96: Curium (Cm)
- 97: Berkelium (Bk)
- 98: Californium (Cf)
- 99: Einsteinium (Es)
- 100: Fermium (Fm)
- 101: Mendeleevium (Md)
- 102: Nobelium (No)
- 103: Lawrencium (Lr)



## Elemententstehung im Universum

Gesamtmasse des Milchstraßensystems besteht zu 2/3 aus H und zu 1/3 aus Helium

Rest  $\ll$  1%

Fe:  $1/10^6$  % der Gesamtmasse

Schwerere Elemente als Eisen entstehen durch Neutroneneinfang und anschließendem  $\beta$ -Zerfall

