



## Radioaktiver Zerfall Strahlung Nukliderzeugung

Wiederholung: Struktur der Materie

Radioaktivität  
Nuklidkarte, Nuklide  
Zerfallsarten  
Strahlung

Aktivität

Nukliderzeugung



## Was ist Radioaktivität ?

Eigenschaft energetisch instabiler **Atomkerne**,  
sich spontan umzuwandeln: **Radionuklid**

ca. 50 natürliche und weit über 1000 künstliche Nuklide

Was sind Isotope ?

Isotope eines Elements haben gleiche Ordnungszahl (Protonen),  
aber verschiedene Massenzahlen (Protonen+Neutronen)

Maßeinheit der Radioaktivität:

**Aktivität: Umwandlungen pro Sekunde = Becquerel (Bq)**

Alte Einheit Curie (Ci):  $1\text{Ci} = 37\text{ GBq}$  (Giga-Becquerel)

Halbwertszeit (HWZ)

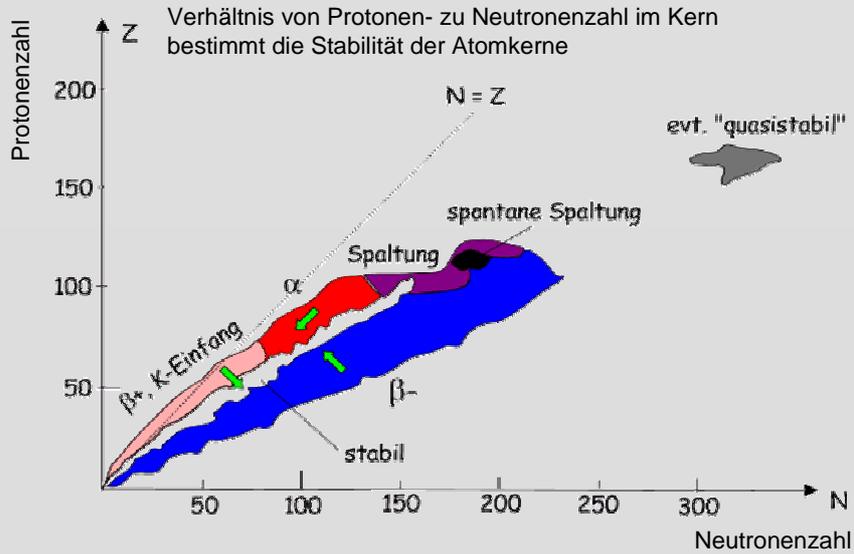
Zeit, in der sich die **Halfte** der Kerne **umwandelt**

Nach 10 HWZ ist nur noch 0,1% der Ausgangsaktivität vorhanden



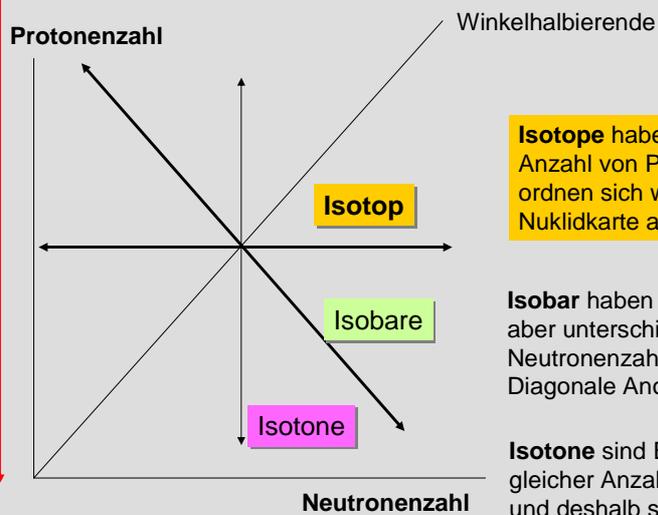
### Ursachen des radioaktiven Zerfalls

Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA  
KNuk Uni Rostock



### schematischer Aufbau einer Nuklidkarte

Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA  
KNuk Uni Rostock



**Isotope** haben gleiche Anzahl von Protonen und ordnen sich waagrecht auf Nuklidkarte an

**Isobar** haben gleiche Massezahl, aber unterschiedliche Protonen- und Neutronenzahlen, Diagonale Anordnung

**Isotone** sind Elemente mit gleicher Anzahl von Neutronen und deshalb senkrecht angeordnet



### Nuklidkarte (Ausschnitt)

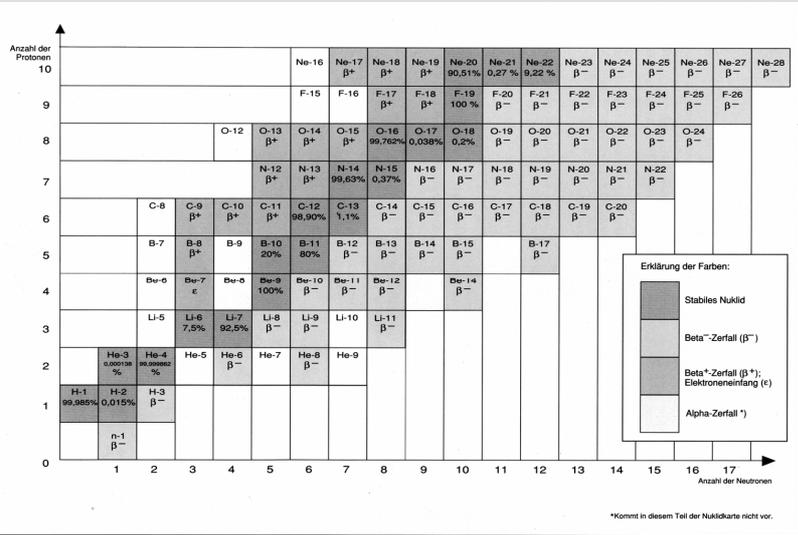


Tabelle 1.3.2 Auszug aus der Karlsruhe Nuklidkarte [64] (Die Prozentzahlen geben die Häufigkeit in den natürlichen Isotopen an.)



### Radioaktive Nuklide

#### Natürliche

Langlebige instabile Elemente aus der Entstehungszeit der Erde

**Thorium**  
**Uran**  
und deren Tochternuklide  
Radon, Radium,  
...

**Kalium-40**

Folgeprodukte der kosmischen Strahlung

**Kohlenstoff-14**  
**Tritium**

#### Künstliche

Bestrahlung in KKW  
Teilchenbeschleuniger

**Flur-18**  
**Jod-131**  
**Jod-125**  
...



### Natürliche Radionuklide

#### Zerfallsreihen der Urane und des Thorium

47 Radionuklide als Zwischenprodukte der Zerfallsreihen, mit sehr unterschiedlichen HWZ

#### 25 weitere primordiale Radionuklide

Langlebige Radionuklide, die aus der Entstehungszeit der Erde stammen

#### Kosmogene Radionuklide

Radionuklide, die in der Atmosphäre durch Beschuss mit kosmischer Strahlung entstehen

Wichtige Vertreter dieser Gruppen sind:

Radium-224

3,64 d

Radon-220 (Thoron)

55,6 s

Radon-222

3,8 d

Pollonium-216

0,15 s

Blei-212

10,6 h

....

Kalium-40

1,3\*10<sup>9</sup> a

Rubidium-87

4,8\*10<sup>10</sup> a

Kohlenstoff-14

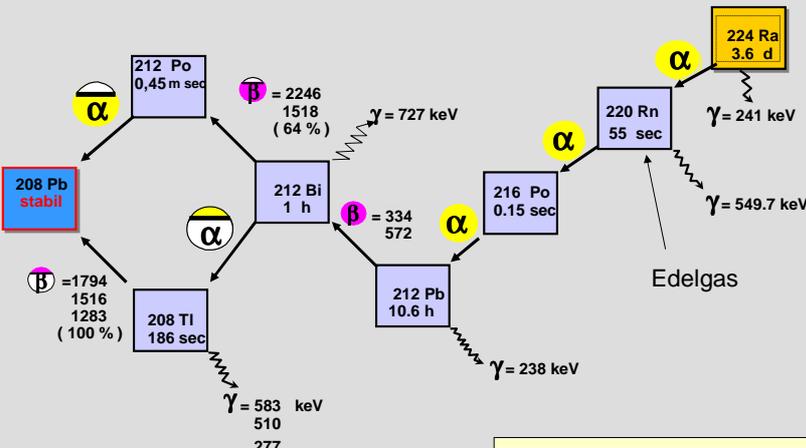
5730 a

Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA

KNuk Uni Rostock



### <sup>224</sup>Ra – Zerfallsschema (Thorium-Reihe)



	keV	Reichweite :
$\alpha$	~ 6778	→ 0.05 mm
$\beta$	~ 2246	→ 8 mm (mittl.)

Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA

KNuk Uni Rostock

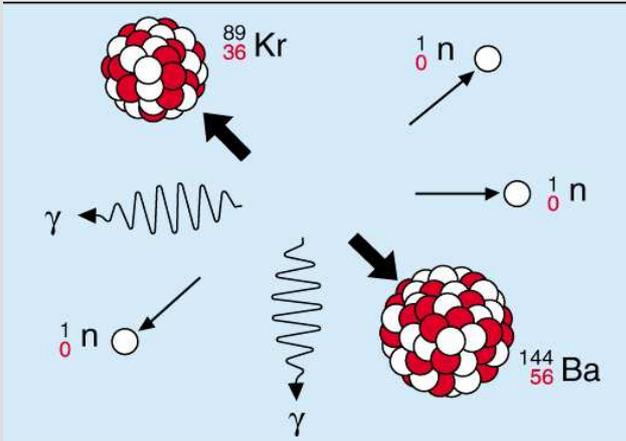




Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA  
KNuk Uni Rostock

## Kernspaltung

Bei der Spaltung **eines Kerns U-235** werden ca. **210 MeV** Energie frei.



### Zwei Arten:

- spontane Kernspaltung (ähnlich  $\alpha$ -Zerfall)
- induzierte Kernspaltung (Beschuss mit Neutronen)



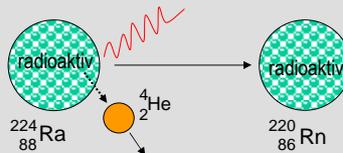
Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA  
KNuk Uni Rostock

## Arten radioaktiver Strahlung

### Alpha-Strahlen

#### Heliumkerne

→ große Wirkung, aber kurze Reichweite



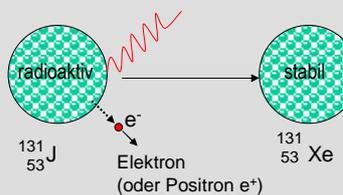
$$\frac{1}{2} m_{\text{He}} v^2$$

Masse

### Beta-Strahlen

#### Elektronen oder Positronen

→ Kleine Wirkung, aber längere Reichweite



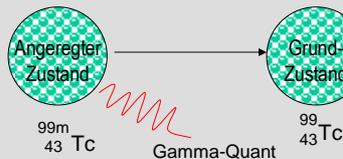
$$\frac{1}{2} m_e v^2$$

Geschwindigkeit

### Gamma-Strahlen

#### Fotonen/Quanten

→ Energie ist entscheidend



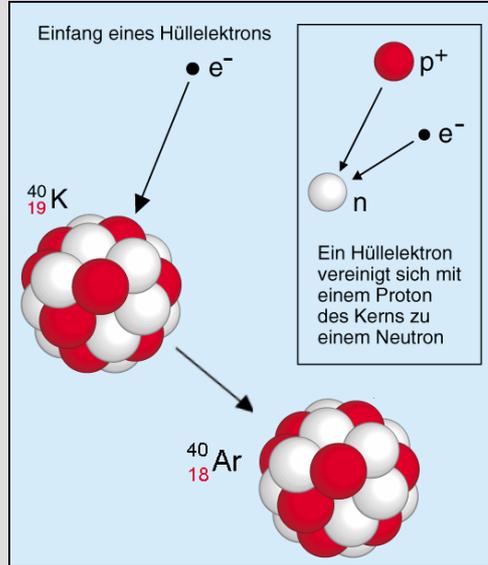
$$h \nu$$

Frequenz

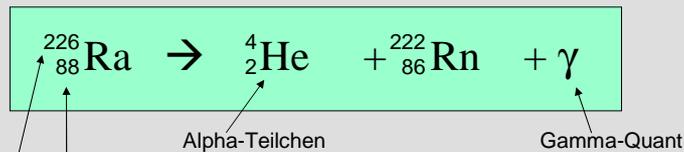


### Elektroneneinfang (EC-Electroncapture)

Aus einem Proton im Kern entsteht ein Neutron, das dafür nötige Elektron wird aus der Hülle (meist K-Schale) eingefangen. Die Lücke in der Hülle wird durch ein weiter entferntes Elektron aufgefüllt. Die Differenz der Bindungsenergie wird als charakteristische Gamma-Strahlung freigesetzt.



### Kennzeichnung von Radionukliden



**Ordnungszahl Z** = Zahl der Protonen im Kern (bestimmt das Element)

**Massenzahl A** = Zahl der Neutronen+Protonen im Kern = Atomgewicht

**Nuklid** = ein Atomkern

**Isotope** = Nuklide mit gleicher Protonenzahl, gleicher Ordnungszahl, gleichen chem. Eigenschaften,

<b>z.B. Iod</b>	
${}_{53}^{127}\text{I}$	stabil
${}_{53}^{125}\text{I}$	radio-
${}_{53}^{131}\text{I}$	aktiv

aber unterschiedlichen Neutronenzahlen



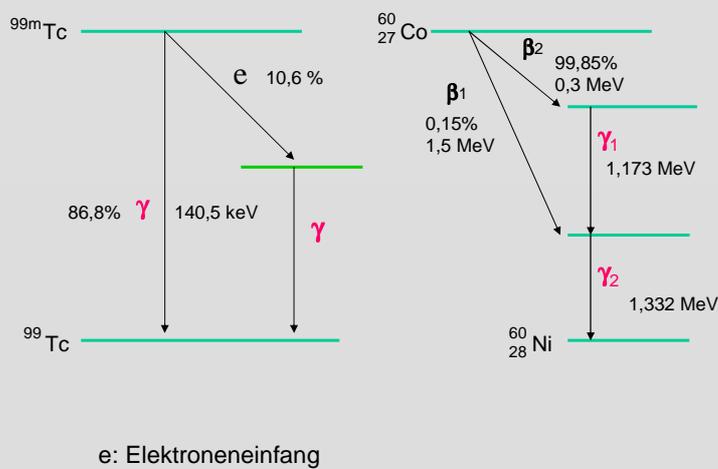
## Entstehung von $\gamma$ -Strahlung

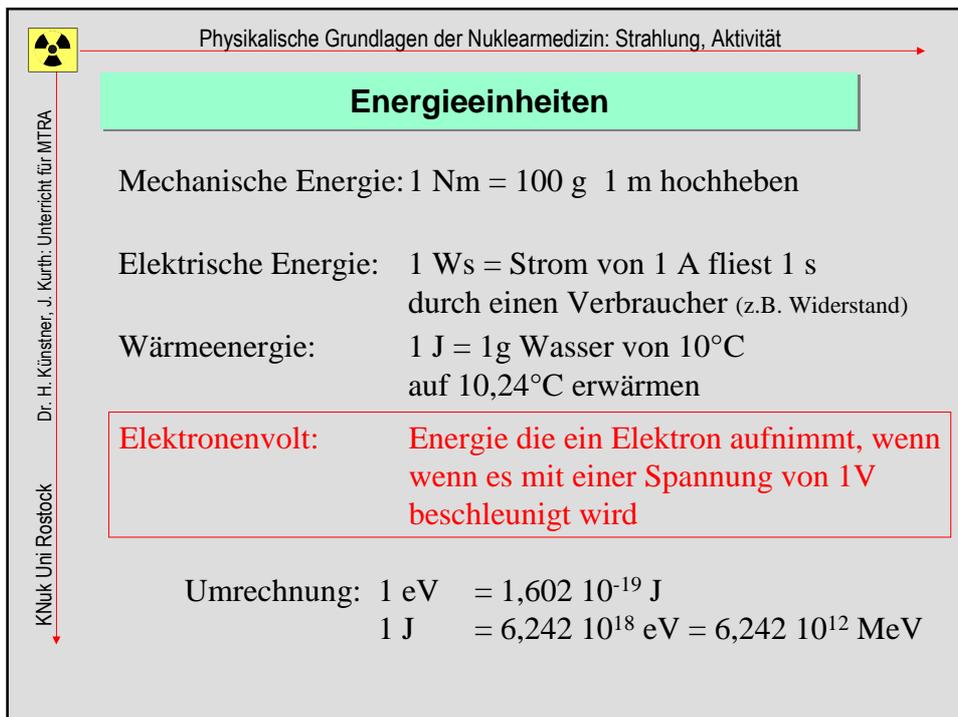
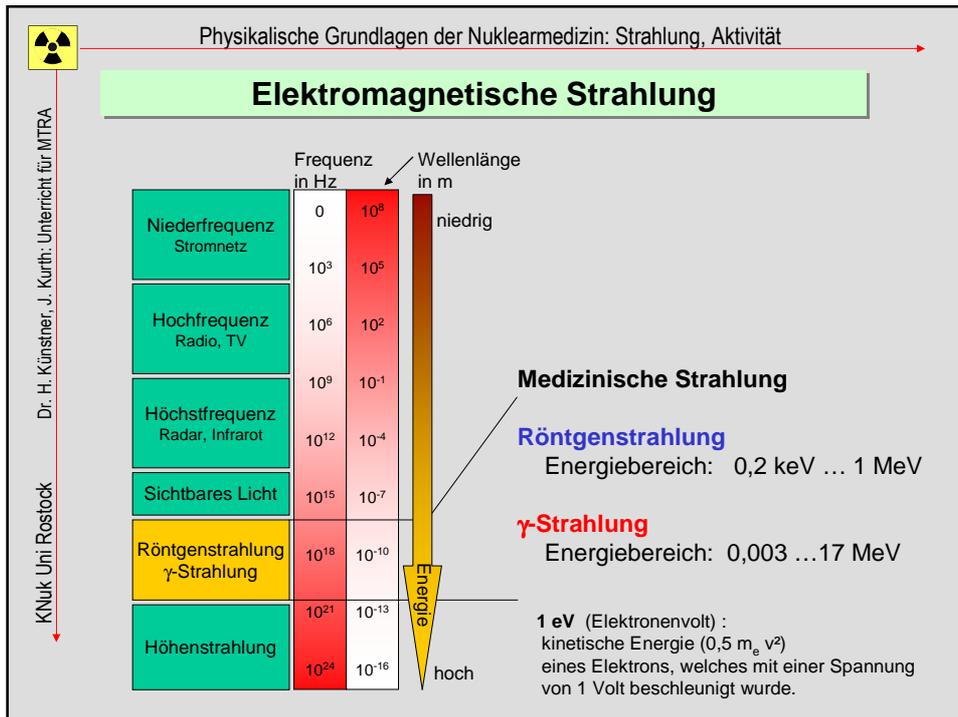
Ziel jedes Zerfallsaktes ist es, einen für das zerfallende Atom energetisch günstigeren Zustand zu erreichen.

- Energetisch angeregter Kern gibt spontan einen Teil seiner Energie als Quant ab  
z.B.  $^{99m}\text{Tc}$  (Metastabiles Technetium)
- Beim Alpha- oder Beta-Zerfall wird dem ausgesandten Teilchen nicht die volle mögliche Energie mitgegeben, deshalb wird der Rest als  $\gamma$ -Quant ausgesendet
- Bei Wechselwirkungsprozessen von Strahlungsteilchen werden ebenfalls sekundäre Gamma-Quanten freigesetzt



## Entstehung von $\gamma$ -Strahlung / Zerfallsschema





Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

## Strahlung dient der Energieübertragung

Radioaktiver  
Zerfall

→

Energieübertragung

→

Wechselwirkung

Strahlung

Spontanes Aussenden  
eines Quants  
(und/oder Teilchen)

$E = h\nu$   
Energie des Quants

Fotoeffekt  
Comptoneffekt  
Paarbildungseffekt

Es gibt keine radioaktive Strahlung!  
Es gibt nur Teilchen- oder elektromagnetische Strahlung  
(die auch beim radioaktiven Zerfall freigesetzt wird)

Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA

KNuk Uni Rostock

Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

## Eigenschaften von radioaktiven Nukliden der Nuklearmedizin

Alpha-Strahler	Beta-Strahler		Gamma-Strahler
	$\beta^-$ Elektronen	$\beta^+$ Positronen	
<b>Einsatzgebiete (vorrangig)</b>			
Therapie	Therapie	Diagnostik	Diagnostik
<b>Typische Nuklide</b>			
<b><math>^{224}\text{Ra}</math></b> HWZ: 87 h $\alpha$ : 5,6 MeV $\alpha$ : 5,4 MeV	<b><math>^{131}\text{I}</math></b> HWZ: 8 d $\beta^-$ : 606 keV $\gamma$ : 364 keV	<b><math>^{18}\text{F}</math></b> HWZ: 110 m $\beta^+$ : 633 keV $\gamma$ : 511 keV	<b><math>^{99\text{m}}\text{Tc}</math></b> HWZ: 6 h $\gamma$ : 140 keV

Gamma-Komponenten bzw. sekundäre Gamma-Quanten sind wichtig für die Aktivitätsmessungen und bildgebende Verfahren (Kontrolluntersuchungen) bei  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlern

Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA

KNuk Uni Rostock



## Aktivität

**Radioaktive Zerfälle je Sekunde in einer bestimmten Stoffmenge bzw. am Ort des Detektors**

**Maßeinheit :** **Bequerel Bq** (meist in kBq bzw. MBq)  
früher Curie:  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$

Je Höher die Aktivität einer Probe (Generatorinhalt, Spritze, Kontamination) um so mehr Strahlungsteilchen werden an die Umgebung abgegeben.

aber

Noch keine Aussage über die Höhe der übertragenen Energie und die biologische Wirkung.

Das hängt von der Energie der einzelnen Komponenten und der Strahlenart ab.