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

Radioaktiver Zerfall
Strahlung
Nukliderzeugung

Wiederholung: Struktur der Materie

Radioaktivität
Nuklidkarte, Nuklide
Zerfallsarten
Strahlung

Aktivität

Nukliderzeugung

Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

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

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): 1Ci = 37 GBq (Giga-Bequerel)

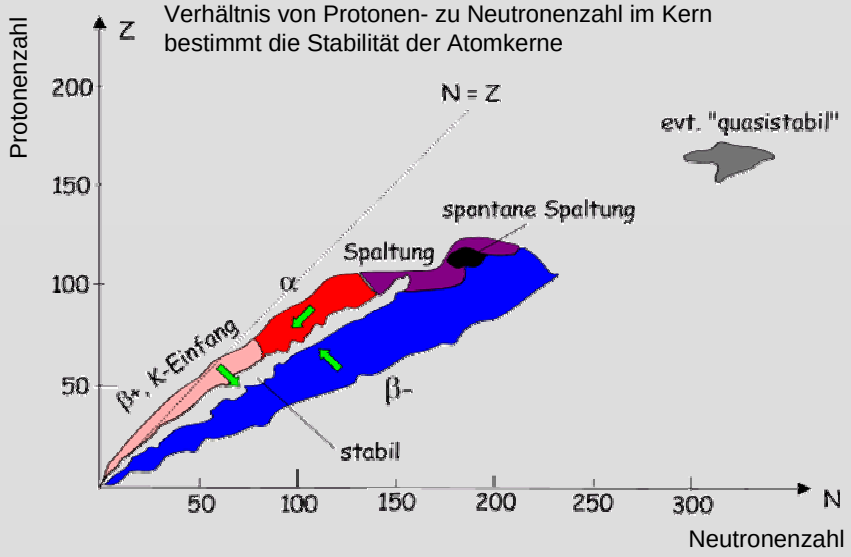
Halbwertszeit (HWZ)

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

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

Ursachen des radioaktiven Zerfalls

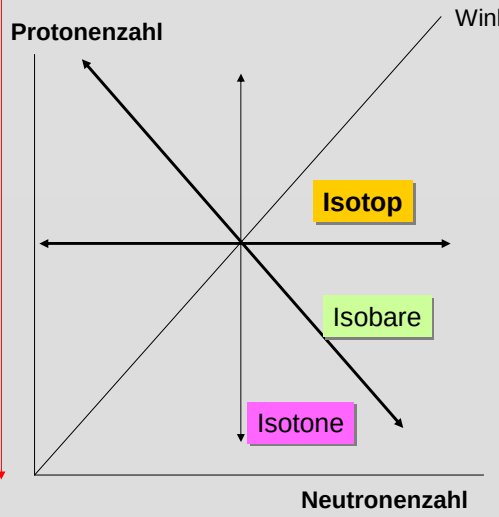
Verhältnis von Protonen- zu Neutronenzahl im Kern bestimmt die Stabilität der Atomkerne



Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

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

schematischer Aufbau einer Nuklidkarte



Isotope haben gleiche Anzahl von Protonen und ordnen sich waagerecht 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)

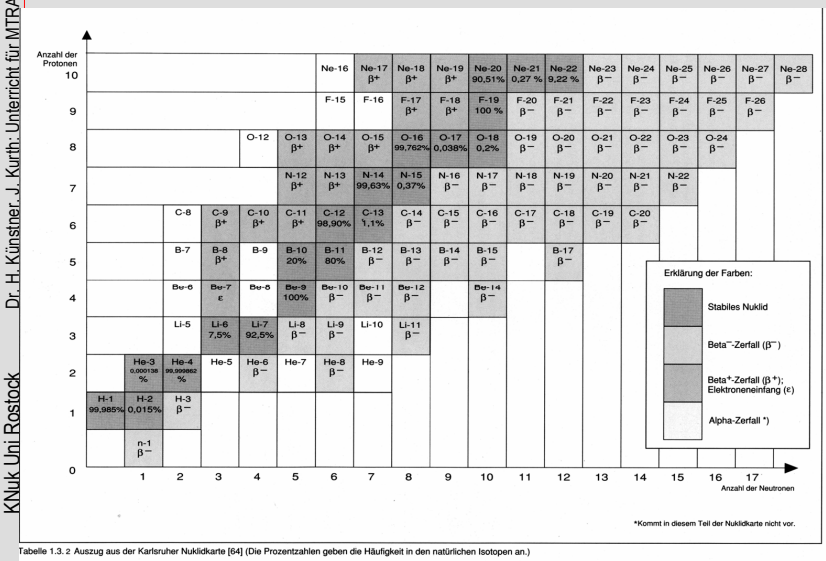


Tabelle 1.3.2 Auszug aus der Karlsruher Nuklidkarte [64] (Die Prozentzahlen geben die Häufigkeit in den natürlichen Isotopen an.)

Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

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

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
$1{,}3 \cdot 10^{9}$ a

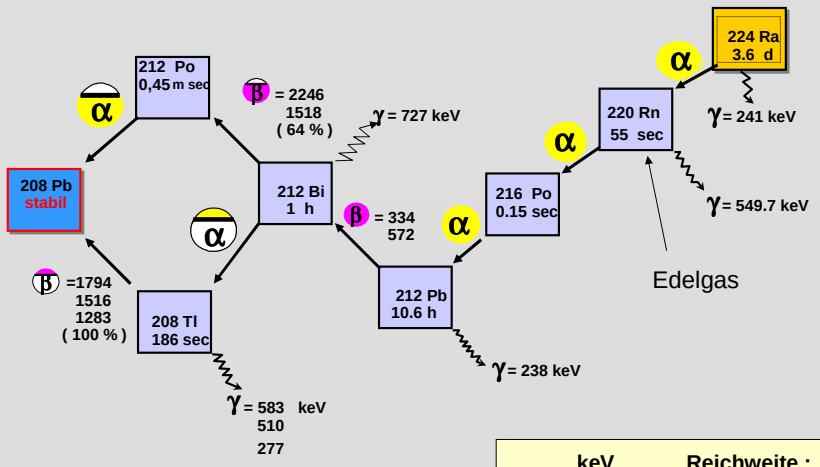
Rubidium-87
$4{,}8 \cdot 10^{10}$ a

Kohlenstoff-14
5730 a

Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

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

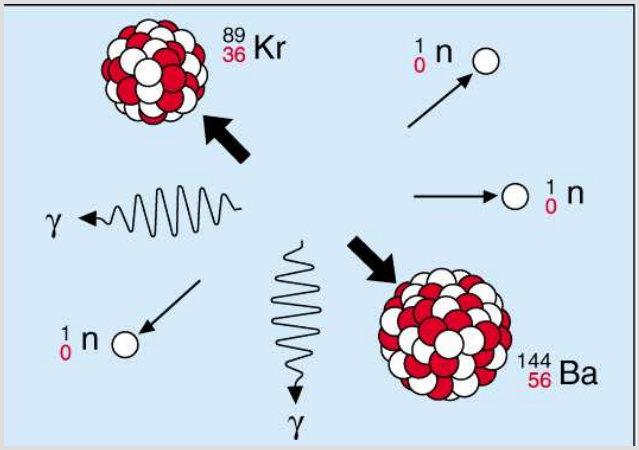
^{224}Ra – Zerfallsschema (Thorium-Reihe)



	keV		Reichweite :
α	~ 6778	→	0.05 mm
β	~ 2246	→	8 mm (mittl.)

Kernspaltung

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



Zwei Arten:

- spontane Kernspaltung (ähnlich α-Zerfall)
- induzierte Kernspaltung (Beschuss mit Neutronen)

Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

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

Arten radioaktiver Strahlung

Alpha-Strahlen

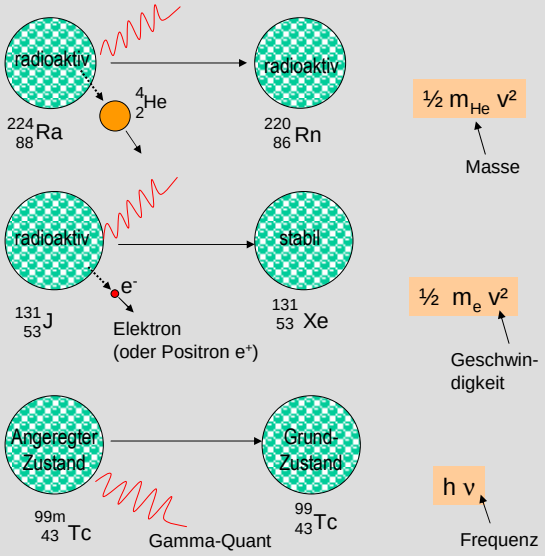
Heliumkerne
➔ große Wirkung, aber kurze Reichweite

Beta-Strahlen

Elektronen oder **Positronen**
➔ Kleine Wirkung, aber längere Reichweite

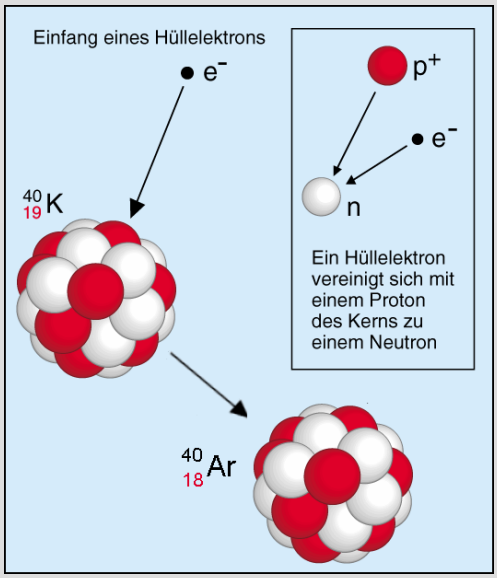
Gamma-Strahlen

Fotonen/Quanten
➔ Energie ist entscheidend



Elektroneneinfang (EC-Elelectroncapture)

Aus einem Proton im Kern entsteht ein Neutron, dass 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

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + \gamma$$

Alpha-Teilchen

Gamma-Quant

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,

aber unterschiedlichen Neutronenzahlen

z.B. Iod

^{127}I	stabil
^{125}I	radio-
^{131}I	aktiv

Entstehung von γ-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}Tc (Metastabiles Technetium)

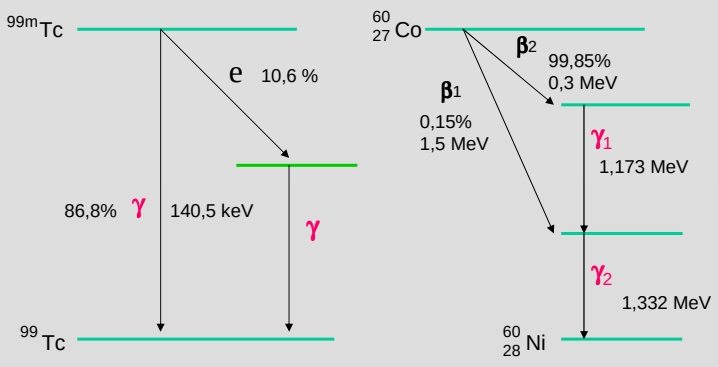
- Beim Alpha- oder Beta-Zerfall wird dem ausgesandten Teilchen nicht die volle mögliche Energie mitgegeben, deshalb wird der Rest als γ-Quant ausgesendet

- Bei Wechselwirkungsprozessen von Strahlungsteilchen werden ebenfalls sekundäre Gamma-Quanten freigesetzt

Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

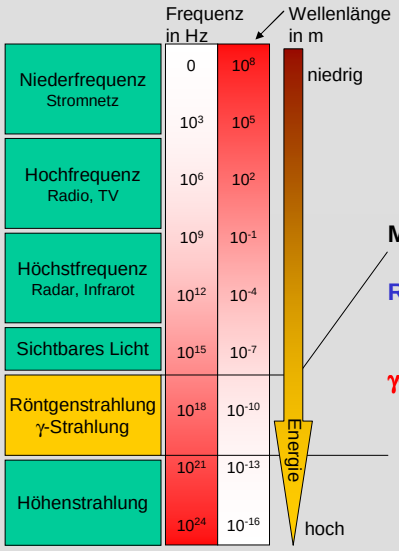
KNuk Uni Rostock Dr. H. Künstner, J. Kurth: Unterricht für MTRA

Entstehung von γ-Strahlung / Zerfallsschema



e: Elektroneneinfang

Elektromagnetische Strahlung



Medizinische Strahlung

Röntgenstrahlung
Energiebereich: 0,2 keV … 1 MeV

γ-Strahlung
Energiebereich: 0,003 …17 MeV

1 eV (Elektronenvolt) :
kinetische Energie ($0{,}5\ m_e\ v^2$)
eines Elektrons, welches mit einer Spannung von 1 Volt beschleunigt wurde.

Energieeinheiten

Mechanische Energie: 1 Nm = 100 g 1 m hochheben

Elektrische Energie: 1 Ws = Strom von 1 A fliest 1 s durch einen Verbraucher (z.B. Widerstand)

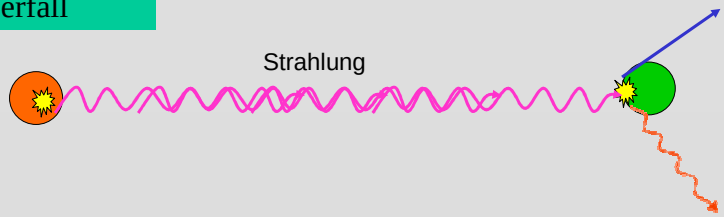
Wärmeenergie: 1 J = 1g Wasser von 10°C auf 10,24°C erwärmen

Elektronenvolt: Energie die ein Elektron aufnimmt, wenn wenn es mit einer Spannung von 1V beschleunigt wird

Umrechnung: 1 eV = $1{,}602\ 10^{-19}$ J
1 J = $6{,}242\ 10^{18}$ eV = $6{,}242\ 10^{12}$ MeV

Strahlung dient der Energieübertragung

Radioaktiver Zerfall → Energieübertragung → Wechselwirkung



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)

Physikalische Grundlagen der Nuklearmedizin: Strahlung, Aktivität

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

Eigenschaften von radioaktiven Nukliden der Nuklearmedizin

Alpha-Strahler	Beta-Strahler		Gamma-Strahler
	ß⁻ Elektronen	ß⁺ Positronen	
Einsatzgebiete (vorrangig)			
Therapie	Therapie	Diagnostik	Diagnostik
Typische Nuklide			
^{224}Ra HWZ:87 h α: 5,6 MeV α: 5,4 MeV	^{131}I HWZ: 8 d ß⁻: 606 keV γ: 364 keV	^{18}F HWZ:110 m ß⁺: 633 keV γ: 511 keV	^{99m}Tc HWZ: 6 h γ: 140 keV

Gamma-Komponenten bzw. sekundäre Gamma-Quanten sind wichtig für die Aktivitätsmessungen und bildgebende Verfahren (Kontrolluntersuchungen) bei α- und β-Strahlern

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 Ci = 3,7 10^{10} 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.