



Strahlenphysik

- Grundlagen der Radioaktivität
- Physikalische Wirkung auf den Organismus
- Messgrößen der Radioaktivität und deren Wirkung
- Messtechnik: Dosimetrie bis bildgebende Verfahren
- Strahlenschutz und Strahlenbelastung

Dieses Vorlesungsskript beinhaltet eine Zusammenstellung der in der Vorlesung „Strahlenphysik“ verwendeten Folie, die durch kurze Notizen, Beispiele und Erläuterungen ergänzt wurden.

Sie können als Leitfaden für die Vorlesung und die Prüfungsvorbereitung verwendet werden, wobei jedoch kein Anspruch auf Vollständigkeit geltend gemacht werden kann.

Eine Internetversion im PDF-Format wird in nächster Zeit auf der Seite unserer Klinik abrufbar sein:

<http://www-nuk.med.uni-rostock.de/>

Als ergänzende Literatur gibt es eine ganze Reihe von Büchern. Wir möchten hier stellvertretend ein kleines Taschenbuch benennen:

Henning, Woller, Franke: „Nuklearmedizin – kurz und bündig“,

Gustav Fischer Verlag Jena



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 (Neutronen+Protonen)

Maßeinheit der Radioaktivität:

Aktivität: Umwandlungen pro Sekunde = Bequerel (Bq)

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

Halbwertszeit (HWZ)

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

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

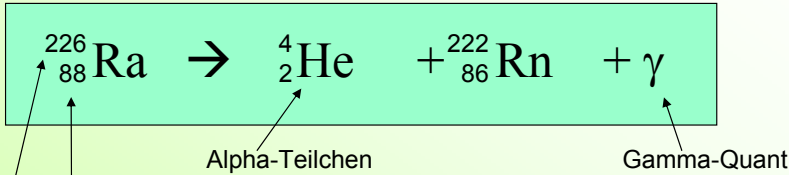
Für jedes chemische Element gibt es eine unterschiedliche Anzahl von Isotopen, wenige oder keine davon sind stabil, d. h. sie verändern sich nicht von sich aus. Diese Atome können nur unter extremen Bedingungen, wie sie beispielsweise in einem Atomreaktor oder einem starken Teilchenbeschleuniger herrschen, gespalten werden. Solche Fälle interessieren uns in der Nuklearmedizin nicht weiter.

Die radioaktiven Isotope hingegen befinden sich demgegenüber in einem instabilen Zustand, der irgendwann einmal bewirkt, dass sie sich umwandeln und dabei einen Teil ihrer innewohnenden Energie in Form von radioaktiver Strahlung abgeben. Wann der Zerfall eintritt ist für ein einzelnes Atom nicht vorhersagbar.

Lediglich die Zeit, wann die Hälfte der radioaktiven Isotope in einem bestimmten Volumen zerfallen sein werden, ist eine statistisch gesicherte individuelle Konstante für jedes Isotop. Diese Halbwertszeit (HWZ) ist insbesondere auch unabhängig von der Zahl der radioaktiven Isotope die sich zum Start des Betrachtungszeitraumes im untersuchten Volumen befindet und ob sich das Volumen mit der Zeit ändert. Praktisch ist es also egal, ob sie die HWZ einer radioaktiven Lösung in einer Spritze messen, oder ob sie den Inhalt der Spritze einem Patienten injizieren. Letzteres setzt natürlich voraus, dass der Patient selbst keine dieser Isotope ausscheidet.



Kennzeichnung von Radionukliden



Ordnungszahl Z = Zahl der Protonen im Kern

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

Nuklide = eine Atomart

Isotope = Nuklide mit gleicher Protonenzahl,
gleicher Ordnungszahl,
gleichen chemischen Eigenschaften,
aber unterschiedlichen Neutronenzahlen

Meist wird nur die links oben stehende Massenzahl angegeben, weil durch das Namenskürzel (Ra) die Zahl der Protonen im Kern (Ordnungszahl) festgelegt ist.

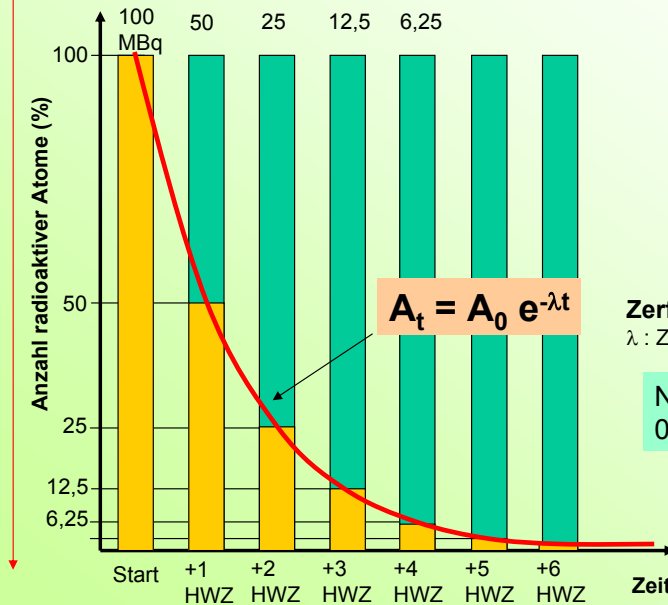
Für den Einsatz der radioaktiven Isotope in der Nuklearmedizin ist insbesondere wichtig, dass alle Isotope eines Nuklids die gleichen chemischen Eigenschaften besitzen, d.h. beispielsweise, dass es der Schilddrüse völlig egal ist, ob sie für den Hormonaufbau das stabile Jod (${}^{127}\text{J}$) oder das in der Radiojodtherapie verwendete radioaktive ${}^{131}\text{J}$ einbaut.

Die Herstellung radioaktiver Nuklide erfolgt in oft in Kernreaktoren durch Beschuss stabiler Isotope mit langsamen Neutronen. Dies werden von den stabilen Kernen eingefangen, wobei sich die Massezahl des Kerns erhöht. Ist dieser Kern instabil (hängt vom Neutronen:Protonen-Verhältnis ab), so wird er danach irgendwann einmal wieder zerfallen. Wann dies passieren wird ist zufällig, statistisch gesehen folgt eine große Menge instabiler Isotope aber dem beschriebenen Zerfallsgesetz.

Ein Beispiel dafür ist das stabile ${}^{59}\text{Co}$ (Kobalt), dass durch Beschuss mit Neutronen zum radioaktiven Nuklid ${}^{60}\text{Co}$ wird.



Halbwertszeit (HWZ)



HWZ liegen im Bereich von Sekundenbruchteilen bis Mrd. Jahren

Für die Medizin geeignete HWZ: Minuten, Stunden, Tage

Zerfallsgesetz der Aktivität
 λ : Zerfallskonstante

Nach 10 HWZ nur noch 0,1 % der Ausgangsaktivität

Beispiele:
 ^{131}I → 8 Tage
 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ → 6 Stunden

Die Halbwertszeit (HWZ) eines radioaktiven Isotops ist eine wesentliche Konstante seines Zerfalls. Sie beschreibt die Zeit, nach der die Hälfte der radioaktiven Kerne eines Isotope in stabile Kerne zerfallen sind. Dies ist unabhängig vom tatsächlichen Volumen. Wird einem Patienten beispielsweise ein Radiopharmakon von 2 ml appliziert, das eine Aktivität von 100 MBq (100 Mio. Zerfälle je Sekunde) hat, so werden nach 1 HWZ im gesamten Körper nur noch 50 Mio Zerfälle je Sekunde auftreten. (Vorausgesetzt es wurden keine Radioaktivitätsanteile ausgeschieden).

Der Abfall der Aktivität lässt sich nach dem Zerfallsgesetz als Exponentialfunktion beschreiben. Danach berechnet sich die Aktivität A_t einer radioaktiven Probe zu einer Zeit t aus der Aktivität A_0 zum Startzeitpunkt nach obiger Gleichung. Die Zerfallskonstant λ ist eine isotopentypischer Wert.

In der Medizin kommt neben dem physikalischen Zerfall natürlich noch die biologische Ausscheidung aus dem Körper des Patienten hinzu (siehe effektive HWZ).



Biologische und effektive Halbwertszeit

$T_{1/2 \text{ biol}}$:

Zeit, innerhalb der eine Substanz aus einem Verteilungsraum (z.B. Organ, Blut) zur Hälfte durch physiologische Prozesse verschwunden ist.

Effektive Halbwertszeit $T_{1/2 \text{ eff}}$:

Kombination aus physikalischer und biologischer Halbwertszeit. Sie ist **immer kleiner** als die biologische oder die physikalische HWZ.

$$1/T_{1/2 \text{ eff}} = 1/T_{1/2 \text{ biol}} + 1/T_{1/2 \text{ phys}}$$

oder

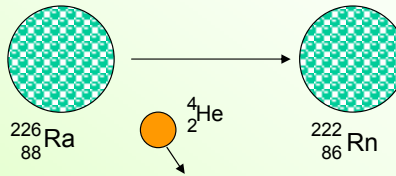
$$T_{1/2 \text{ eff}} = \frac{T_{1/2 \text{ biol}} * T_{1/2 \text{ phys}}}{T_{1/2 \text{ biol}} + T_{1/2 \text{ phys}}}$$

Die möglichst genaue Bestimmung oder Abschätzung der effektiven HWZ ist für die Nuklidtherapie besonders wichtig, weil sie bestimmt, welche Aktivität dem einzelnen Patienten verabreicht werden muss, um einen gewünschten Therapieerfolg zu erzielen. Einem Patienten der beispielsweise das Jod sehr lange in der Schilddrüse (SD) behält (effektive HWZ nahe der physikalischen HWZ von 8 Tagen) wird man bei gleichen sonstigen Bedingungen (SD-Volumen u.a.) weniger Aktivität verabreichen, als einem Patienten der das Jod sehr schnell wieder ausscheidet. Letzterer hat dann vielleicht nur eine effektive HWZ von 4 Tagen und braucht somit etwa die doppelte Aktivität gegenüber dem erstgenannten Patienten, um bei ihm die gleiche Bestrahlungswirkung an der SD zu erreichen.



Arten radioaktiver Kernstrahlung

Alpha-Strahlen

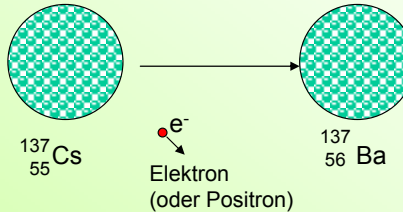


Energie der Strahlung:

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

Masse

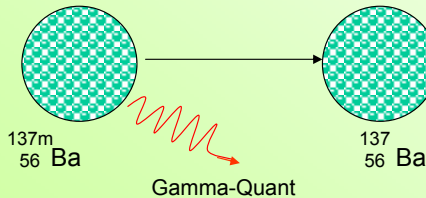
Beta-Strahlen



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

Geschwindigkeit

Gamma-Strahlen



$$h \nu$$

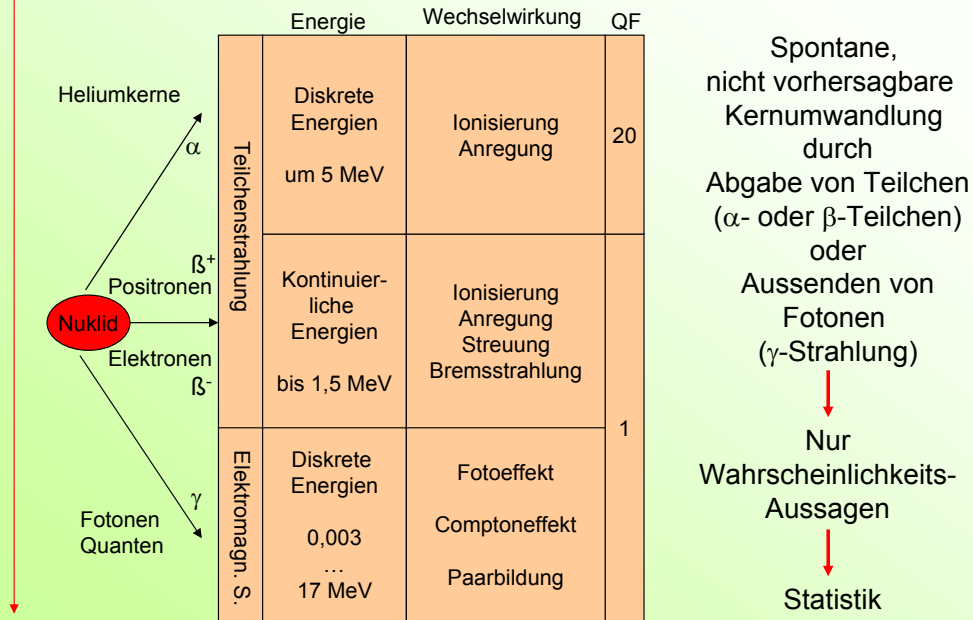
Frequenz

Alpha-Strahlen: Teilchenstrahlung, wobei vom radioaktiven Atomkern ein Heliumkern (2 Protonen+2Neutronen) ausgestoßen wird. Im obigen Beispiel wandelt sich das radioaktive Radium dadurch in ein neues Isotop des Radons um.

Beta-Strahlung: Teilchenstrahlung, wobei vom Atomkern entweder ein Elektron (β^-) oder ein Positron (β^+) abgegeben wird. Damit verändert sich die Anzahl der Protonen im Kern und als Ergebnis entsteht ein im Periodensystem benachbartes Atom. Im Beispiel wird von Cäsium mit 55 Protonen und 82 Neutronen ein Neutron durch Abgabe eines Elektrons in ein zusätzliches Proton verwandelt, so dass ein Bariumatom mit 56 Protonen und 81 Neutronen entsteht. Die Massenzahl von 137 bleibt dabei konstant, weil das Elektron eine wesentlich kleinere Masse als ein Proton oder Neutron hat.

Gamma-Strahlung: Elektromagnetische Strahlung, die direkt aus dem Kern abgegeben wird oder die bei Wechselwirkung mit Elektronen der Hülle entsteht.

Die Strahlung besteht aus diskreten Energiepaketen, die als Quanten oder Photonen bezeichnet werden. Die meiste Gamma-Strahlung entsteht als Folge von Alpha- und Beta-Strahlung (siehe auch Zerfallsschema)

**Übersicht: Radioaktive Strahlung**

Die Übersicht fasst alle wichtigen Größen der einzelnen Kernstrahlungen zusammen. Auf einige Details wird im folgenden Näher eingegangen.

Jedes sich bewegenden Teilchen (Alpha- oder Beta-) hat auf Grund seiner Masse und der jeweiligen Geschwindigkeit eine kinetische Energie.

Analoges gilt für die Gamma-Quanten. Nur ist ihre Energie proportional zur Frequenz ($h \nu$)

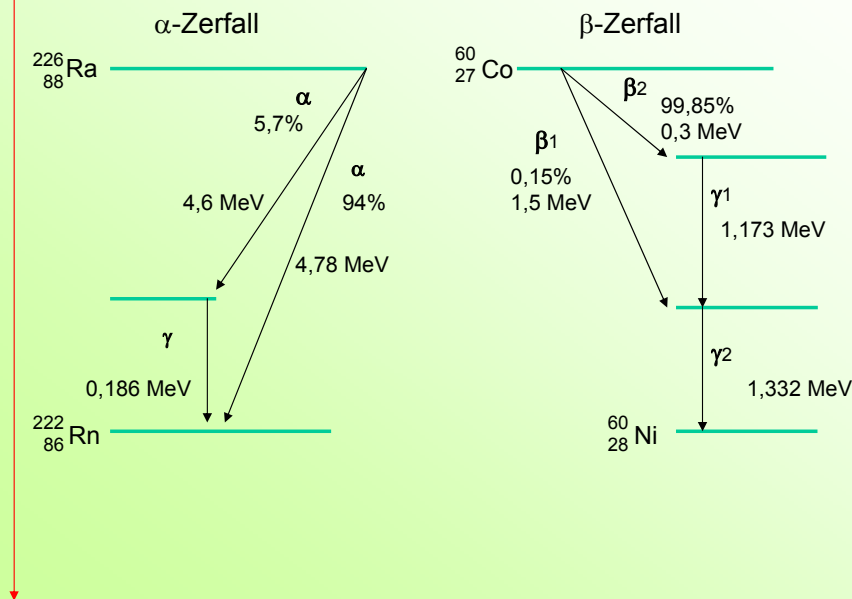
Im Nuklearbereich wird die Energie allgemein in eV (Elektronenvolt, bzw. $1000 \text{ eV} = 1 \text{ keV}$ oder $1000 \text{ keV} = 1 \text{ MeV}$) angegeben.

Hierbei ist 1 eV die Energie, die ein Elektron in einem elektrischen Feld von 1 V erfährt.

Der Qualitätsfaktor QF wurde eingeführt, um die unterschiedliche Wirkung der einzelnen Strahlungsarten auf lebendes Gewebe zu berücksichtigen. Er ist bestimmend für die Äquivalentdosis (siehe weiter hinten).



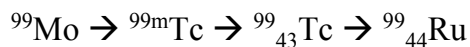
Radioaktiver Zerfall/ Zerfallsschema



Aus den oben angeführten einfachen Zerfallsschemata wird bereits ersichtlich, dass die meisten Strahlenarten nicht einzeln auftreten, sondern dass fast immer ein Gemisch an Strahlungen auftritt. Insbesondere sind die Teilchenstrahlen auch immer mit Gamma-Strahlung gekoppelt.

Hinzu kommt die Sekundärstrahlung aus den unterschiedlichen Wechselwirkungsprozessen. (siehe später).

Oft erfolgt der Zerfall nicht direkt von einem radioaktiven Isotop zu einem stabilen Isotop, wie oben dargestellt, sondern über radioaktive Zwischenstufen. Dies wird beispielsweise bei der Gewinnung des $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ausgenutzt. Es tritt als Zwischenstufe beim Zerfall des radioaktiven ^{99}Mo auf und kann chemisch extrahiert und dann für medizinische Zwecke (z.B. SD-Diagnostik) eingesetzt werden. Der gesamte Zerfall kann wie folgt beschrieben werden:



Mo: Molybdän, Tc: Technetium, Ru: Rubidium (stabil)



Wechselwirkung von α - und β -Strahlen

Ionisation

„Strahlung“ gibt kinetische Energie an Hüllenelektronen ab, so dass diese vom Atom gelöst werden

Kinetische Energie der α - und β -Teilchen wird vollständig in ungeordnete Bewegungsenergie (**Wärme**) oder **Sekundärstrahlung** (Röntgenstreustrahlung) umgewandelt

α -Strahlen: dichte Ionisation längs der Bahn

Starke Wirkung auf umgebende Materie → kurze Reichweite

Aber auch: Anregung der Hüllenelektronen und daraus folgend Abgabe eines Photons

β -Strahlen: lose Ionisation längs der Bahn

geringere Wirkung auf umgebende Materie → längere Reichweite

Aber auch Anregung, Streuung und Erzeugung von Bremsstrahlung

Die Wechselwirkungen mit der umgebenden Materie sind die entscheidenden Prozesse für die biologische Wirkung der radioaktiven Strahlung.

Insbesondere durch die Ionisationswirkung werden biologisch relevanten Moleküle (Proteine, Gene u.a.) im Körper betroffen und in der Folge Zellen zerstört bzw. in ihrer Funktion beeinträchtigt. Das führt bei massivem Auftreten zu Funktionsstörungen ganzer Organe und ggf. zum Tode.

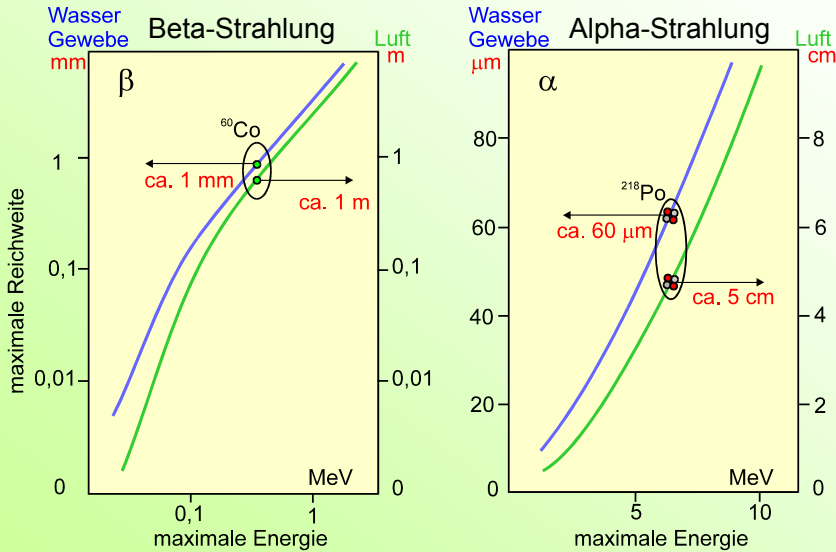
Einzelne Defekte dagegen kann der Körper „reparieren“.

Diese Regenerationsprozesse laufen im Körper ständig ab, weil eine stets vorhandene geringe Untergrundstrahlung (aus dem Kosmos, aus der Erde und der Atmosphäre) auf den Menschen einwirkt.



Reichweite von α - und β -Strahlung

Auf dem Weg durch das Material (die Materie) verlieren die geladenen Teilchen ihre Anfangsenergie bis auf Null: Sie haben eine definierte Reichweite.



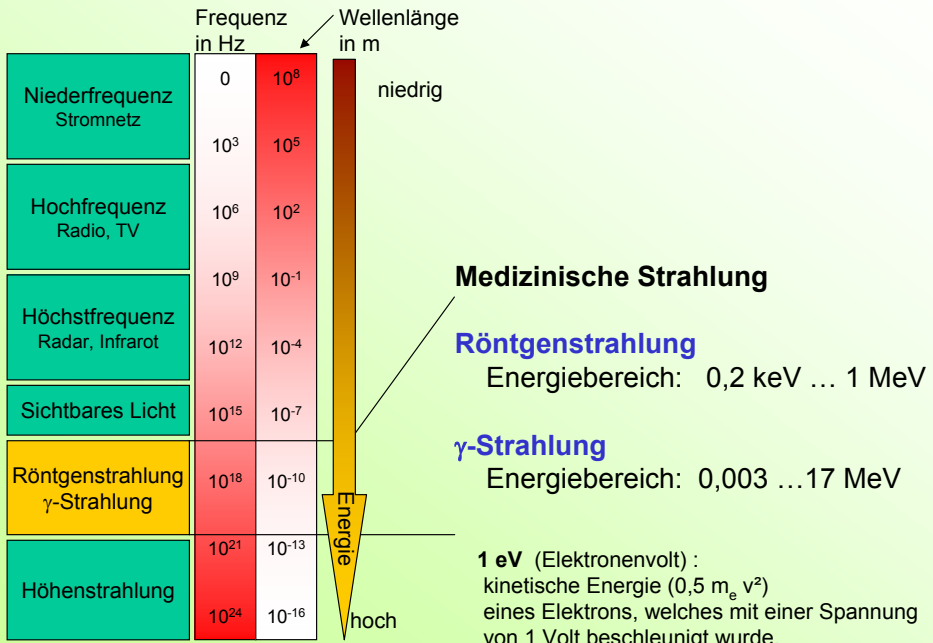
Die Reichweite der radioaktiven Teilchenstrahlung ist begrenzt und sowohl von der Strahlungsart als auch dem Medium, in dem sich die Strahlung ausbreitet, abhängig.

Beachten Sie bitte die unterschiedlichen Maßeinheiten jeweils auf der linken (Wasser, Gewebe) und rechten (Luft) y-Achse.

Die relativ geringen Reichweiten beider Strahler im Gewebe ermöglichen deren Einsatz in sehr begrenzten Körperregionen, z.B. den Gelenken. Durch Injektion in diese Bereiche, kann eine örtlich gewünschte Wirkung erzielt werden, ohne weitere Bereiche des Körpers der Strahlung auszusetzen.



Elektromagnetische Strahlung



Neben der Teilchenstrahlung (Alpha-, Beta-) gibt es aber auch noch die Gamma-Strahlung. Hierbei handelt es sich um eine elektromagnetische Strahlung im höheren Energiebereich.

Die Grafik verdeutlicht, dass im Spektrum der elektromagnetischen Strahlung, die Röntgen- und die Gamma-Strahlung oberhalb (im Sinne höherer Frequenz) des sichtbaren Lichtes liegt.

Das vom Sonnenbrand bekannte UV-Licht zeigt mit seiner Wirkung auf die Haut bereits Eigenschaften der Röntgen- bzw. Gamma-Strahlung. Durch ihre höhere Energie (proportional zur Frequenz) können letztere aber auch noch schädigende Wirkung im Körper erzielen.

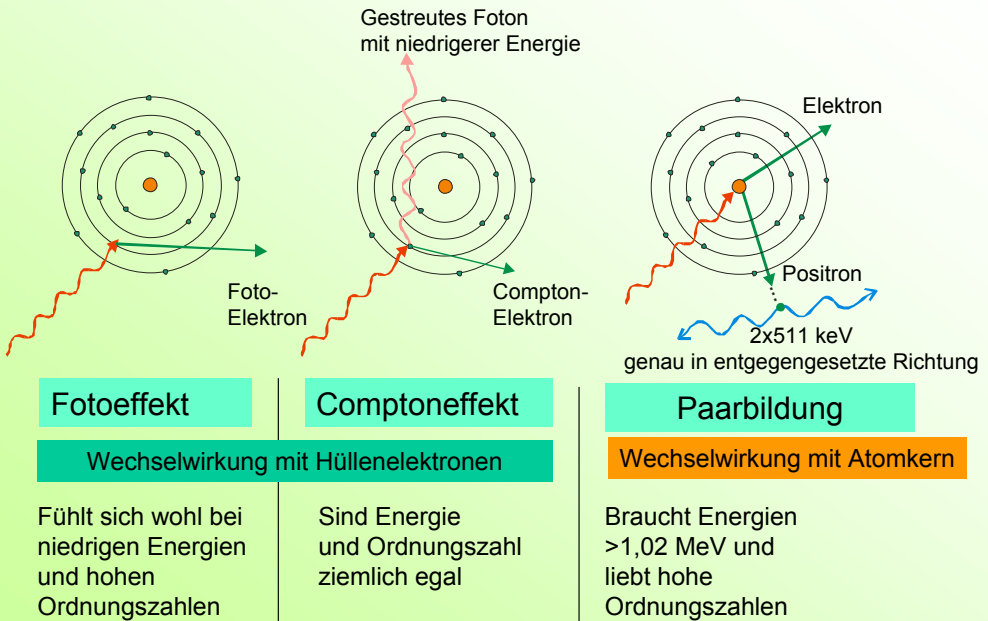
Der Übergang zwischen Röntgen- und Gamma-Strahlung ist fließend, wie obige Angaben zum Energiebereich zeigen.

Röntgenstrahlung entsteht beim Abbremsen von schnell bewegten Elektronen in der Röntgenröhre.

Von Gammastrahlung spricht man dagegen, wenn die Strahlung ihre Ursache im radioaktiven Zerfall oder den sekundären Wechselwirkungen hat. Dabei werden auch höhere Energien freigesetzt als bei der Röntgenstrahlung.



Wechselwirkung von γ -Strahlung



Die Wechselwirkung (WW) von Gamma-Strahlen mit den Hüllenelektronen führen zu einer Ionisation des Atoms, was in der Folge zu Veränderungen in den Molekülen führen kann. Daraus ergibt sich dann die biologische Wirkung der Strahlung.

Eine besondere Rolle spielt in der modernen Nuklearmedizin die Aussendung von Positronen, entweder durch den oben aufgezeichneten Paarbildungseffekt, wenn ein genügend energetisches Gamma-Quant einen Kern trifft, oder wenn es sich um einen Positronenstrahler (Beta⁺-Strahler) handelt.

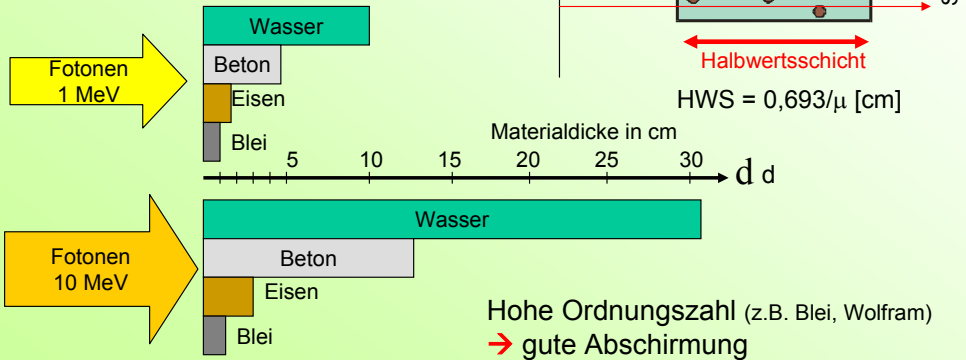
Da die Positronen Anti-Teilchen des Elektrons sind, können sie nicht lange in der für sie „feindlichen“ Umwelt existieren. Sie annihilieren (zerstören) somit kurz nach ihrer Aussendung mit einem „normalen“ Elektron in zwei Gamma-Quanten von je 511 keV, die in genau entgegengesetzte Richtung auseinander fliegen. Dies wird bei PET-Untersuchungen ausgenutzt.

**Abschirmung von γ -Strahlen**

Intensitätsabnahme:

$$I_d = I_o e^{-\mu d}$$

d: Dicke des Absorbers

 μ : linearer Schwächungskoeffizient

Gammastrahlen können im Gegensatz zu den Teilchenstrahlen nur in ihrer Intensität abgeschwächt werden. Letztere werden nach einer bestimmten Reichweite vollständig absorbiert. Bei den Gammastrahlen gibt es dagegen immer mehr oder weniger Quanten die durch die Abschirmung hindurch kommen. Ist die Abschirmung dick genug, so sind dies so wenige, dass man diese vernachlässigen kann.

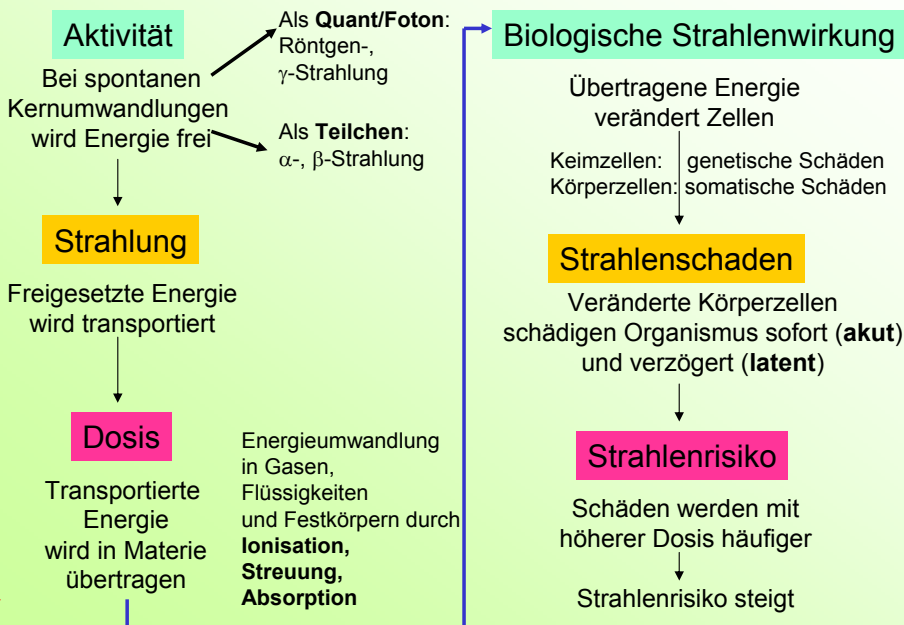
Die notwendige Dicke der Abschirmung ist somit von der Energie der Quanten als auch von der Intensität der Quelle und dem Abschirmmaterial abhängig.

Die Abnahme der Intensität beim Durchgang der Strahlung durch eine Abschirmung zeigt wieder einen exponentiellen Abfall, wie wir ihn bereits beim Zerfallsgesetz kennen gelernt haben. Daraus ergibt sich, dass auch nach großen Dicken d der Abschirmung noch eine kleine Intensität I_d berechnet wird.

Die Schichtdicke, nach der die Intensität auf die Hälfte gefallen ist, wird in Analogie zum Zerfallsgesetz als Halbwertsschicht bezeichnet.



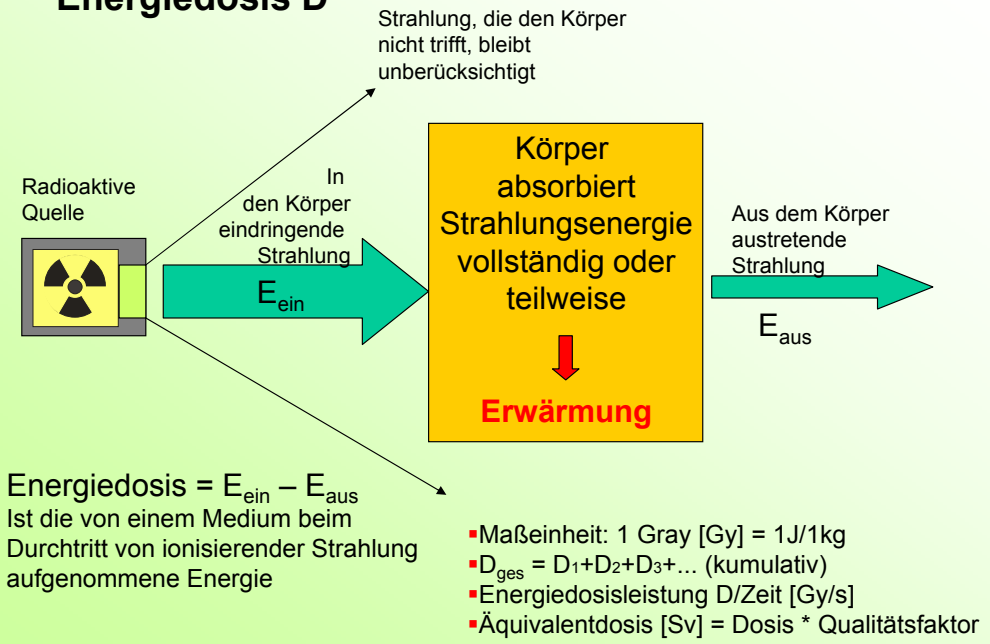
Grundbegriffe und ihr Zusammenhang



Obige Abbildung beschreibt den Wirkungszusammenhang von der radioaktiven Strahlungsquelle mit einer bestimmten Aktivität (Zerfälle je Sekunde), über die Strahlung, die die Energie transportiert, bis zur Dosis, die durch die Wechselwirkung der Strahlung in unserem Körper verursacht wird.

Aus diesen Wechselwirkungen in unserem Körper ergibt sich die biologische Strahlenwirkung in Form von zerstörten oder in ihrer Funktion veränderter Zellen und damit ein mehr oder weniger großer Strahlenschaden, der akut oder latent sein kann.

Entscheidend ist hier die Feststellung, dass mit steigender Dosis auch das Strahlenrisiko steigt. Deswegen muss es unser Ziel sein, die Strahlenwirkung auf unsere Körper und damit die Dosis möglichst gering zu halten.

**Energiedosis D**

Die Energiedosis (kurz Dosis) ist ein wichtiger Begriff in der Nuklearmedizin, da er ein Maß für die Wirkung der Strahlung auf den Menschen beschreibt.

Bei der Dosis handelt es sich nur um den Anteil der Gesamtstrahlungsenergie, der durch Wechselwirkungsprozesse im Körper in Wärme umgesetzt wurde.

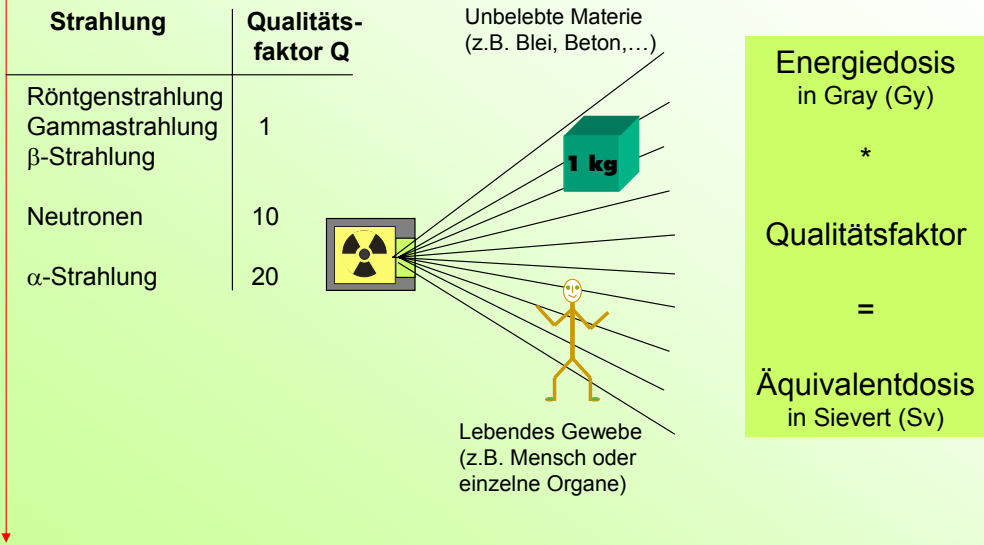
Um so mehr Wechselwirkungen stattfinden, um so höher also die Dosis und um so höher auch die Wahrscheinlichkeit der biologischen Wirkung der Strahlung.

Die Dosis wird in Gray (Gy) angegeben. Die Dosisleistung ist die je Zeiteinheit im Körper umgesetzte Energie.



Qualitätsfaktor → Äquivalentdosis

(Berücksichtigt die Wirkung auf lebendes Gewebe)



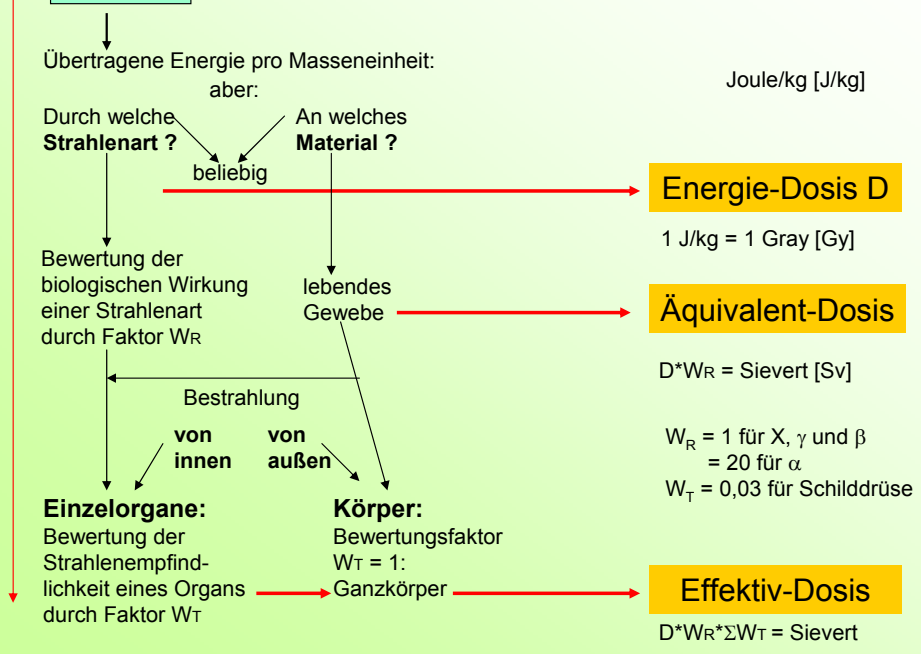
Da die Strahlenarten unterschiedlich auf biologisches Gewebe wirken, wird ein Qualitätsfaktor eingeführt. Dieser berücksichtigt die höhere Wirkung von Alpha-Strahlen mit dem Faktor 20.

Daraus ergibt sich die Bezeichnung Äquivalentdosis.

Für Gamma-, Röntgen- und Beta-Strahlung sind die Energiedosis und die Äquivalentdosis gleich.



Dosis: Art, Messgrößen, Einheiten

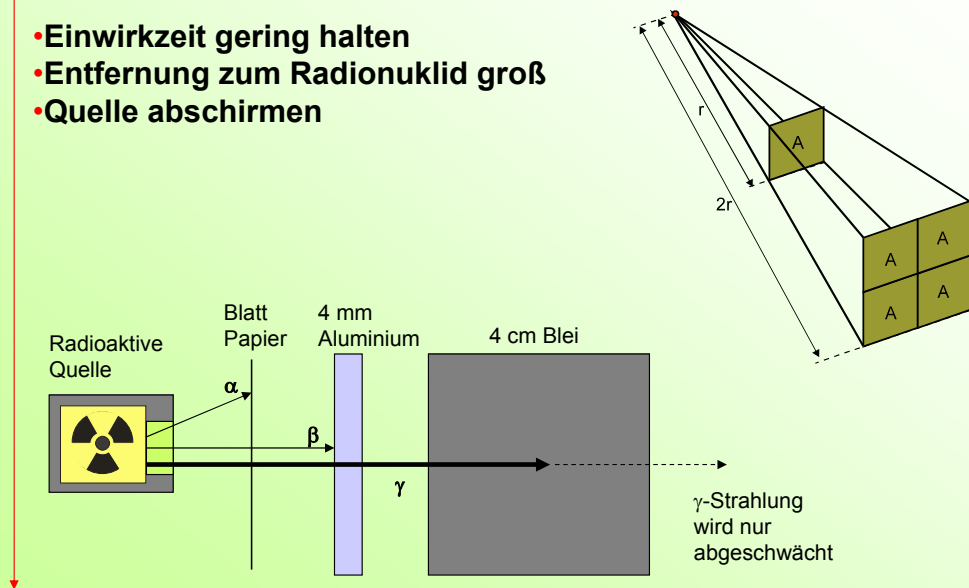


Obiges Schema zeigt die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Dosisbegriffen. Die bisher noch nicht erwähnte effektive Dosis berücksichtigt, dass neben der Strahlenart auch noch jedes betroffene Organ spezifisch auf die Strahlung reagiert. So sind z.B. die Augen wesentlich empfindlicher als die Extremitäten.



Strahlenschutz

- **Einwirkzeit gering halten**
- **Entfernung zum Radionuklid groß**
- **Quelle abschirmen**



Die 3 oben aufgeführten Grundregeln sollten von jedem Menschen berücksichtigt werden, der mit ionisierender Strahlung in Berührung kommt:

Einwirkzeit gering halten

Heißt z.B. bei Kontamination mit radioaktiven Stoff (auf Kleidung oder Haut) diese so schnell wie möglich entfernen (Kleidung wechseln, Körper waschen, ...)

Aufenthalt in strahlenden Bereich so kurz wie möglich gestalten, sich der Strahlung nur so kurz wie möglich aussetzen.

Entfernung zum Radionuklid groß

Das bedeutet, dass man zu therapierten Patienten einen möglichst großen Abstand hält, bzw. nach Punkt 1 die Verweilzeit kurz hält.

Quellen abschirmen

Radioaktive Strahler sind in Bleibehältern aufzubewahren, beim Spritzen von Radioaktivitäten sind Spritzenabschirmungen zu verwenden u.v.a.m.



Grundprinzipien des Strahlenschutzes (ICRP)

Strahlenanwendung

Rechtfertigung
„Es darf keine mit einer Exposition verbundene Anwendung gestattet werden, die nicht ausreichend Nutzen erzielt, um das Schadendetriment aufzuwiegen.“

Mehr Nutzen als Schaden

Strahlenexposition

Begrenzung
„Keine Person soll Strahlendosen oder –risiken Ausgesetzt werden, die für diese Anwendung unter normalen Bedingungen unakzeptabel erscheinen“

Grenzwerte einhalten !

Planerisch:
Arbeitsbedingungen

Konkret:
ständige Überprüfung

Minimierung
„Damit soll die Ungerechtigkeit begrenzt werden, die aus den wirtschaftlichen und sozialen Beurteilungen entstehen kann, die den Verfahren eigen sind“

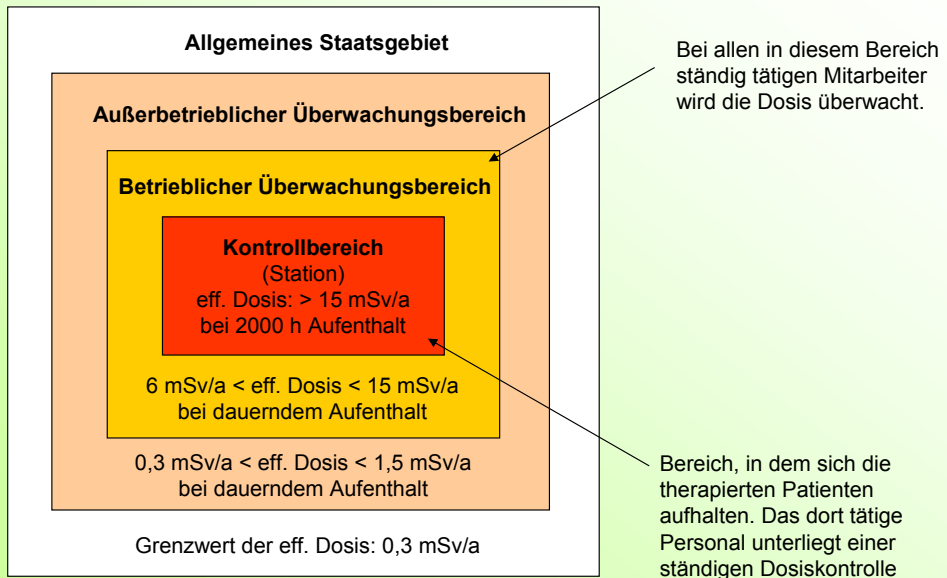
So niedrig bleiben wie vernünftigerweise erreichbar !

Individuelle Dosis

Anzahl der exponierten Personen

Es muss alles getan werden, damit beim Einsatz von Radioaktivität

- keine unbeteiligten der Strahlung ausgesetzt werden,
- das Personal so wenig wie möglich zusätzlicher Strahlung ausgesetzt wird, was durch Dosismessung zur Grenzwerteinhaltung regelmäßig zu kontrollieren ist
- jeder Patienten eine individuelle Dosis erhält, die zur Erreichung der diagnostischen bzw. therapeutischen Ziel notwendig ist und ihm mehr nutzt als schadet.

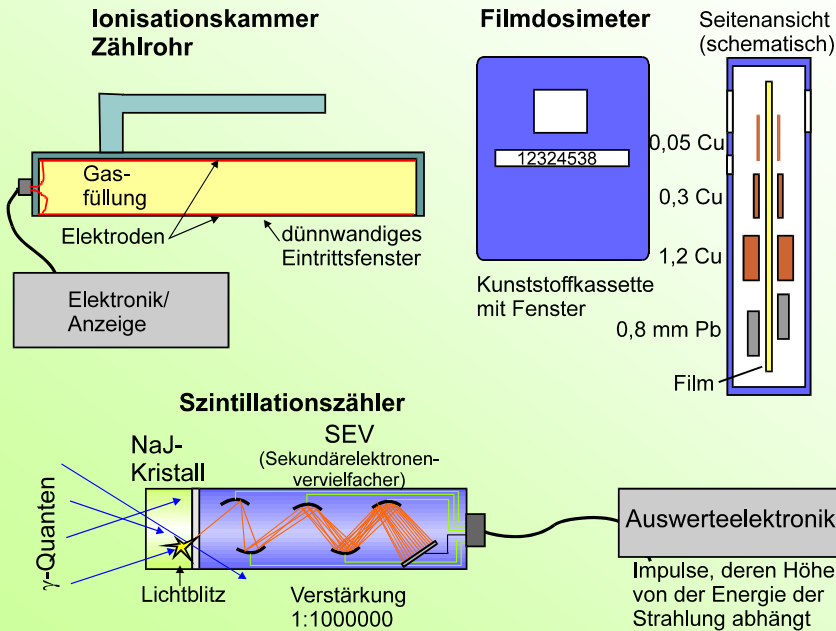
**Strahlenschutzbereiche** nach Strahlenschutzverordnung

Durch die Strahlenschutzverordnung wird festgelegt, welche zusätzliche effektive Dosen pro Jahr in bestimmten Bereichen zulässig sind. Kontrollmaßnahmen (Filmdosimeter, regelmäßige Messungen und Verhaltensmaßregeln) sichern, dass diese Grenzwerte eingehalten werden.

Für Schwangere gelten gesonderte Regelungen.



Strahlungsmessung



Drei grundlegende Messprinzipien der Nuklearmedizin (nicht nur dieser)

1. Dosiskontrolle des Personals

Filmdosimeter: dabei wird ausgenutzt, dass radioaktive Strahlung Film in Abhängigkeit von seiner Energie und Intensität schwärzt. Alle Mitarbeiter werden im Monatswechsel kontrolliert.

2. Aktivitätsmessung zu Kontrollzwecken

Hierfür wird meist die Ionisationskammer (früher das Geiger-Müller-Zählrohr) verwendet. In der Gasfüllung werden von der Strahlung Gasmoleküle ionisiert und die entstehenden geladenen Teilchen (Elektron, Ion) durch die Hochspannung zu den Elektroden beschleunigt. Auf dem Weg dort hin können sie weitere Gasmoleküle ionisieren, so dass am Ende eine kleine Ladungslawine an den Elektroden ankommt, die von der Elektronik verstärkt und ggf. in einem Lautsprecher als Knackgeräusch hörbar gemacht wird.

3. Registrierung mit Energieauflösung

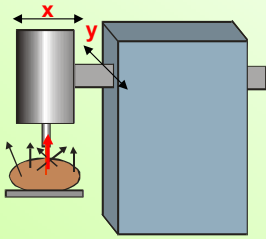
Mit dem Szintillationszähler können insbesondere Gammastrahlen registriert werden, wobei die Höhe des Impulses am Ausgang eine Aussage über die Energie des registrierten Gamma-Quants zulässt.

Die wichtigsten Bauteile sind der **Szintillationskristall** aus NaJ zur Umwandlung von Gamma-Quanten in Lichtblitze, der **SEV** zur Verstärkung der durch die Lichtblitze ausgelösten Elektronen (Faktor 1 Mio) und die **Auswerteelektronik** zur Zählung der Impulse und zur Einteilung in verschiedene Energiekanäle (Spektrum).

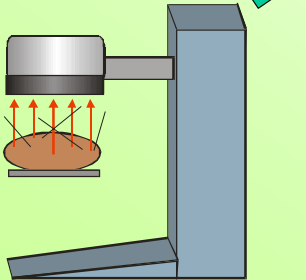


Bildgebende Verfahren

x-y-Scanner



γ -Kamera



SPECT

Singel-Photon-Emissions-Computer-Tomographie

Aktivität: Alle in der Medizin üblichen Gammastrahler

1-3 Kameraköpfe werden in Aufnahmeschritten um den Patienten bewegt.

Viele Einzelbilder werden im Computer zu tomographischen Bildern verarbeitet

PET

Positronen-Emissions-Tomographie

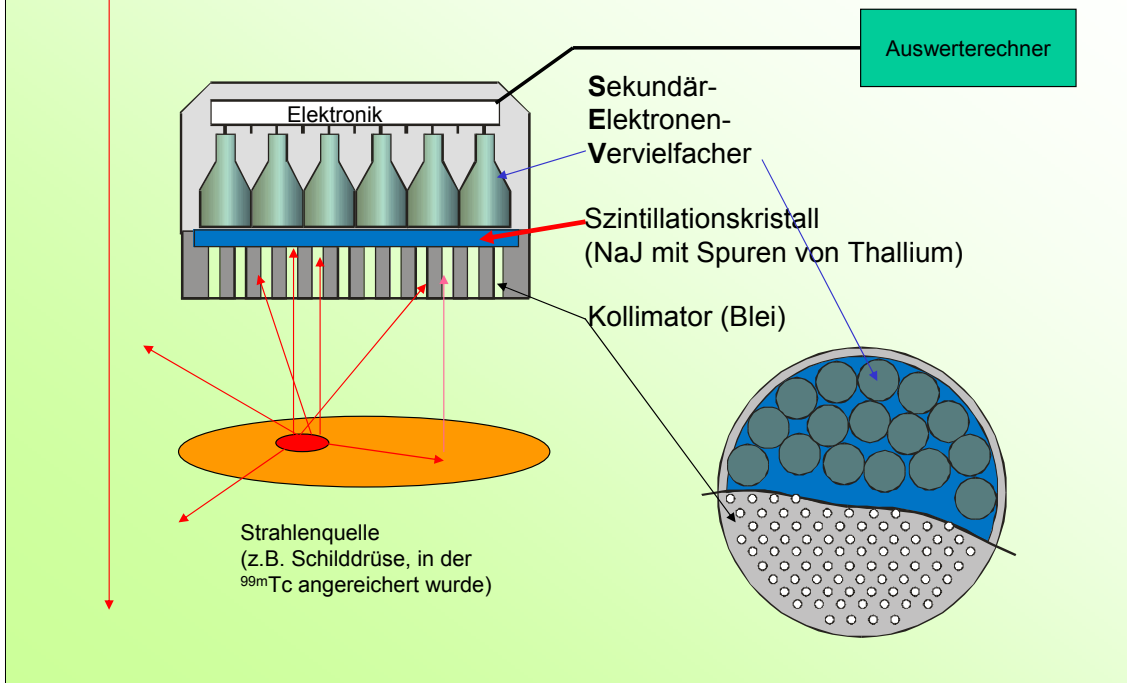
Aktivität: Positronenstrahler (z.B. ^{18}F)

Mit mindestens 2 Kameraköpfen werden Koinzidenzen (gleichzeitige Ereignisse) ermittelt, aus denen dann vom Computer der Entstehungsort im Körper berechnet werden kann.
→ Tomographische Aufnahmen

Der heute in der abgebildeten Form kaum noch verwendete Scanner ist ersetzt durch Gamma-Kameras mit großflächigen Kristallen (Durchmesser etwa 40 cm).

Neben den planaren Einzelaufnahmen, z.B. von der Schilddrüse, werden zunehmend tomographische Verfahren eingesetzt, die nach entsprechender Rekonstruktion 3D-Bilder ergeben. Die beiden Verfahren sind rechts kurz dargestellt.

Zur Bildentstehung wird auf andere Vorlesungsteile verwiesen.

**Bildgebende Verfahren: γ -Kamera** (planar, SPECT)

Der Grundaufbau einer Gamma-Kamera besteht aus:

- dem **Kollimator**, um nur parallel aus dem Untersuchungsobjekt (z.B. einer Körperregion) austretende Gamma-Quanten zu erfassen,
- dem **Szintillationskristall**, in dem die Gamma-Quanten kleine Lichtblitze auslösen,
- die von den **SEV** (z.B. 64) einzeln erfasst und in messbare Stromimpulse umgewandelt werden, Höhe abhängig von der Energie der Quanten ist,
- der **Auswerteelektronik**, die eine Vorselektion und elektronische Zählung vornimmt,
- sowie des **Auswerterechners**, der aus den gewonnenen Zählimpulsen ein planares Bild (z.B. der Schilddrüse) oder bei Bewegung des Kamerakopfes um den Körper, ein 3D-Bild der Aktivitätsverteilung rekonstruiert.

Kollimator: Im oben beschriebenen Fall eine Bleischeibe von etwa 1 cm Dicke mit vielen feinen parallelen Löchern (ca. 1 mm Durchmesser)

Szintillationskristall: Kristall aus NaJ mit Spuren von Thallium. Dieser Kristall ist bei modernen Gammakameras etwa 1-2 cm dick und hat einen Durchmesser in der Größenordnung von 40 cm (kann auch viereckig sein). Wenn Gamma-Quanten in dem Kristall wechselwirken, so werden dabei kleine Lichtblitze erzeugt, deren Intensität von der Energie des Quants abhängt.

SEV: Elektronisches Bauteil (Röhre), in dem durch Einfall einer kleinen Lichtmenge Elektronen aus der Fotokathode herausgelöst und in einer Kaskade von Dynoden etwa 1 Millionen mal verstärkt werden.

**Natürliche und zivilisatorische Strahlungsbelastung für Deutschland (statistisches Mittel)****Strahlenexposition aus natürlichen Quellen**

	Jährliche Dosis in mSv
Kosmische Strahlung	0,3
Terrestrische Strahlung	0,5
Natürliche Radionuklide im Körper	0,3
Inhalation von Radon und Folgeprod.	1,3
Summe	2,4

Strahlenexposition aus zivilisatorischen Quellen

	Jährliche Dosis in mSv
Medizin	1,5
Kernwaffenfallout	0,02
Reaktorunglück Tschernobyl	0,02
Wissenschaft, Technik, KKW	0,01
Summe	1,55

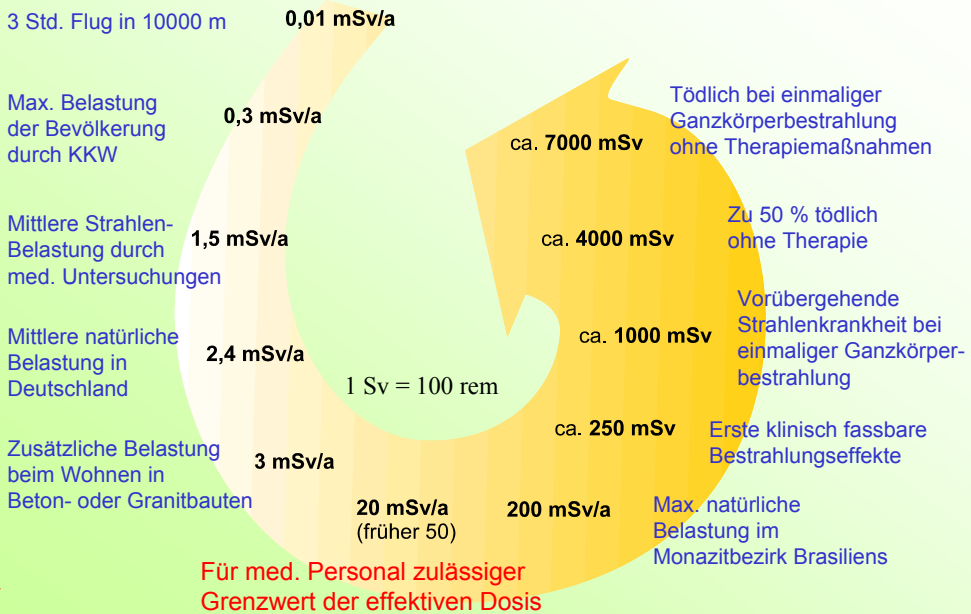
Die obere Grafik zeigt die Hauptanteile der natürlichen Strahlung, der alle Menschen (statistisches Mittel für Deutschland) ausgesetzt sind, die ihre Ursachen zum einen in der kosmischen Strahlung (Sonne) und zum anderen in den noch vorhandenen langlebigen radioaktiven Isotopen aus der Erdentstehung haben. Auch das Edelgas Radon stammt aus solchen Zerfallsreihen, die in den Gesteinen der Erdkruste nach wie vor ablaufen.

Die zweite Grafik zeigt den Anteil, den die Menschheit selbst verursacht hat und weiter verursacht (Medizin).

Bei all den oben angeführten Dosiswerten handelt es sich um statistische Mittelwerte, die im Einzelfall insbesondere durch medizinische Untersuchungen erheblich davon abweichen können. So erhält ein Patient beispielsweise bei einem Ganzkörper-CT oder einer nuklearmedizinischen Herzuntersuchung etwa 10 mSv an effektiver Dosis.



Jährliche Strahlenbelastung

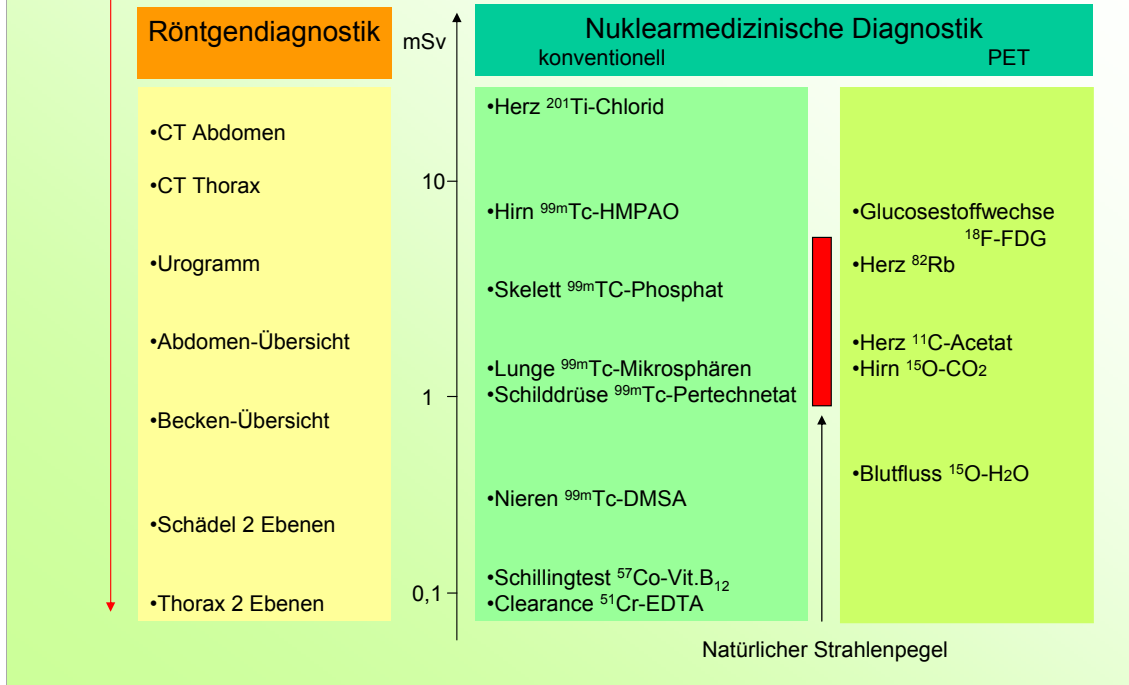


Die Abbildung zeigt auf der linken Seite verschiedene natürliche und zivilisatorische Belastungen für die Bevölkerung in Deutschland (statistische Mittelwerte), sowie den Grenzwert für das medizinische Personal unten.

Zum Vergleich ist außerdem die wesentlich höhere natürliche Belastung in einem bestimmten Gebiet in Brasilien angegeben. Es gibt auf der Welt weitere Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (z.B. Indien, mittlerer Osten).

Im weiteren Verlauf sind auf der rechten Seite effektive Dosen aufgeführt, die bei einmaliger Bestrahlung zu den angegebenen gesundheitlichen Schäden führen.

Dabei ist unter Therapie zu verstehen, dass der Selbstheilungsprozess der gestörten Körperfunktionen entsprechend unterstützt wird und das vor allem Kontaminationen durch Abwaschen und Inkorporationen durch beschleunigte Ausscheidungen vermindert werden.

**Strahlenbelastung durch med. Diagnostik**

Diese Tabelle soll verdeutlichen, dass die Strahlenbelastung in der Röntgen- und der Nuklearmedizinischen Diagnostik etwa in der gleichen Größenordnung von maximal 10-20 mSv liegen.

Dabei können die Untersuchungen aber nicht direkt verglichen werden, weil sie ganz unterschiedliche Zielstellungen verfolgen und im allgemeinen nicht gegeneinander austauschbar sind.

Vielmehr gilt es die Röntgendiagnostik mit der modernen nuklearmedizinischen Methode der PET-Untersuchung zu verbinden. Letzteres gestattet insbesondere Stoffwechseluntersuchungen mit geringerer Strahlenbelastung für den Patienten, die im Bereich der natürlichen Belastung (roter Balken) liegen.