



Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz

© Dr. H. Künstner 2011

Klinik für Nuklearmedizin Universitätsmedizin Rostock

Dr. H. Künstner (Physiker)

Nuklearmedizinische Strahlenphysik



- Grundlagen der Radioaktivität
- Physikalische Wirkung auf den Organismus
- Strahlenschutz und Strahlenbelastung

Als ergänzende Literatur gibt es eine ganze Reihe von Büchern. Wir möchten hier stellvertretend nur 2 benennen:

Henning, Woller, Franke: „Nuklearmedizin – kurz und bündig“,
Gustav Fischer Verlag Jena

Schlegel, Bille: „Medizinische Physik, Bd. 2: Medizinische Strahlenphysik“
Springer-Verlag 2002

Dr. rer.nat. H. Künstner

Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz		
 Nuklearmedizin: Verwendung offener Radionuklide		
	Strahlentherapie	Radiologie
<p>Radioaktiv markierte Moleküle werden dem Patienten verabreicht und verteilen sich spezifisch im Körper bzw. in den Organen.</p> <p><u>Ursache:</u> Stoffwechsel oder andere Lebensfunktionen (Atmung, Nierenfunktionen u.a)</p>	<p>Bestrahlung von Außen oder mit umschlossenen Strahlungsquellen von Innen</p>	<p>„Durchleuchtung“ mit äußerer Strahlungsquelle (Röntgenröhre)</p>
<p>funktioniert nur in einem lebenden Organismus</p>	<p>wird nur am lebenden Organismus angewendet</p>	<p>an lebenden und an unbelebten Objekten anwendbar</p>

Im Vergleich mit der Radiologie und der Strahlentherapie ist die Nuklearmedizin nur am lebenden Organismus anwendbar, da die radioaktiv markierten Tracer (Radiopharmaka) durch den Stoffwechsel oder andere Lebensfunktionen zuerst verteilt werden müssen, bis eine diagnostische Messungen oder Therapiewirkungen möglich sind.

Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz →

© Dr. H. Künster 2011
Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Rostock

Nutzung der Radioaktivität in der Nuklearmedizin

Diagnostik Aus dem Körper austretende Strahlung wird registriert und bewertet.

- **Darstellung von Stoffwechselfunktionen / Molekular Imaging** (z.B. Karzinom- und Metastasensuche, Hirnfunktionsuntersuchungen)
- **Bestimmung von Konzentrationen bestimmter Stoffe in Organen und Proben** (z.B. Schilddrüsenszintigrafie)
- **Statische und dynamische Darstellung von Aktivitätsverteilungen** (z.B. Lungen-, Nieren- und Blasenfunktionsuntersuchungen)

Therapie Zerstörende Wirkung der Strahlung auf Zellen im Körper wird genutzt


- **Gezielte Zerstörung von Gewebe (SD, Metastasen)**
- **Veränderung der Funktion (meist Minderung von Überfunktionen bestimmter Organe)**
- **Entzündungsbehandlung (RSO)**

Je nachdem welche Strahlung (Art und Energie) ein radioaktives Isotop abgibt, kann es für diagnostische oder therapeutische Zwecke eingesetzt werden.

In der **Diagnostik** sind dies reine Gamma-Strahler (planare und SPECT-Untersuchungen) und Positronenstrahler (PET-Untersuchungen).

In der **Therapie** werden hauptsächlich Beta-Strahler verwendet, hier ist es vor allem das I-131 in der Radioiodtherapie der Schilddrüse (RIT)

Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz

 **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): 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


© Dr. H. Künster 2011
Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Rostock

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 im Kern 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.

Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz



Kennzeichnung von Radionukliden

$${}^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{222}_{86}\text{Rn} + \gamma$$

Alpha-Teilchen Gamma-Quant

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

Nuklide = Atomkerne

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

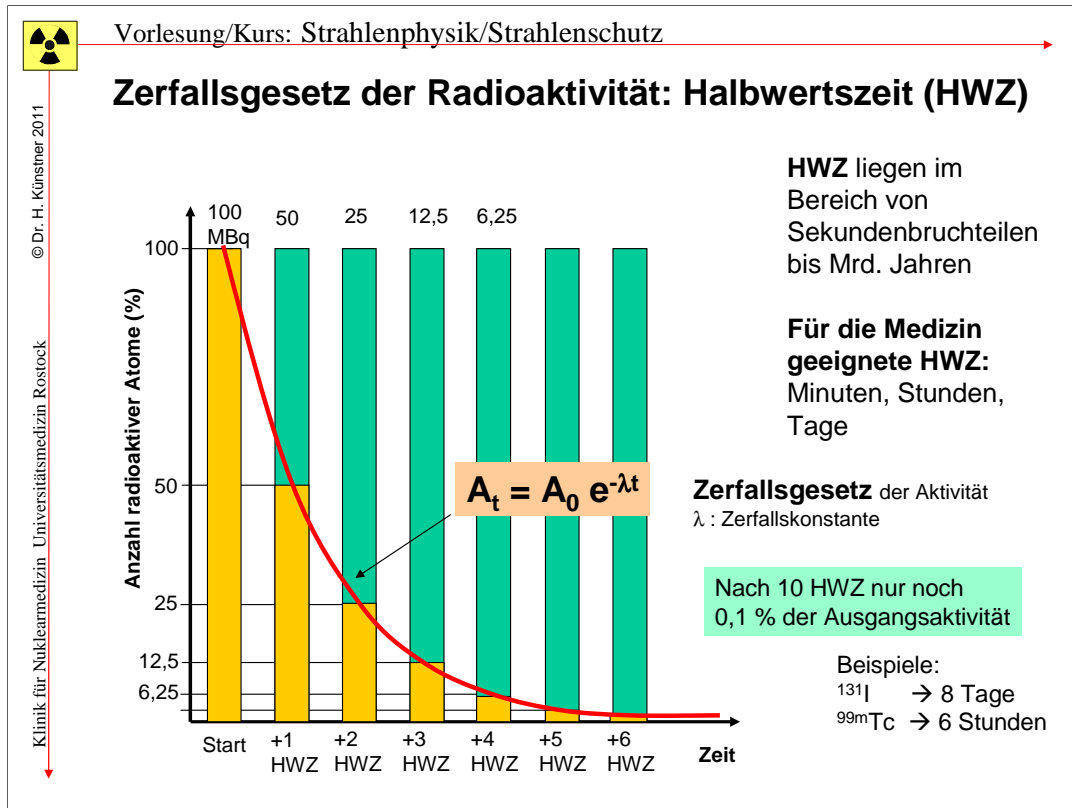
© Dr. H. Künster 2011
Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Rostock

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}J) oder das in der Radiojodtherapie verwendete radioaktive ^{131}J einbaut.

Die Herstellung radioaktiver Nuklide erfolgt oft in Kernreaktoren durch Beschuss stabiler Isotope mit langsamen Neutronen. Diese 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}Co (Kobalt), das durch Beschuss mit Neutronen zum radioaktiven Nuklid ^{60}Co wird.




Die Halbwertszeit (HWZ) eines radioaktiven Isotops ist eine wesentliche Konstante seines Zerfalls. Sie beschreibt die Zeit, nach der die Hälfte der radioaktiven Kerne eines Isotops in stabile Kerne oder instabile Tochternuklide zerfallen sind. Dies ist unabhängig vom tatsächlichen Volumen bzw. der Menge. 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 Zerfallskonstante 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).

Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz



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.

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

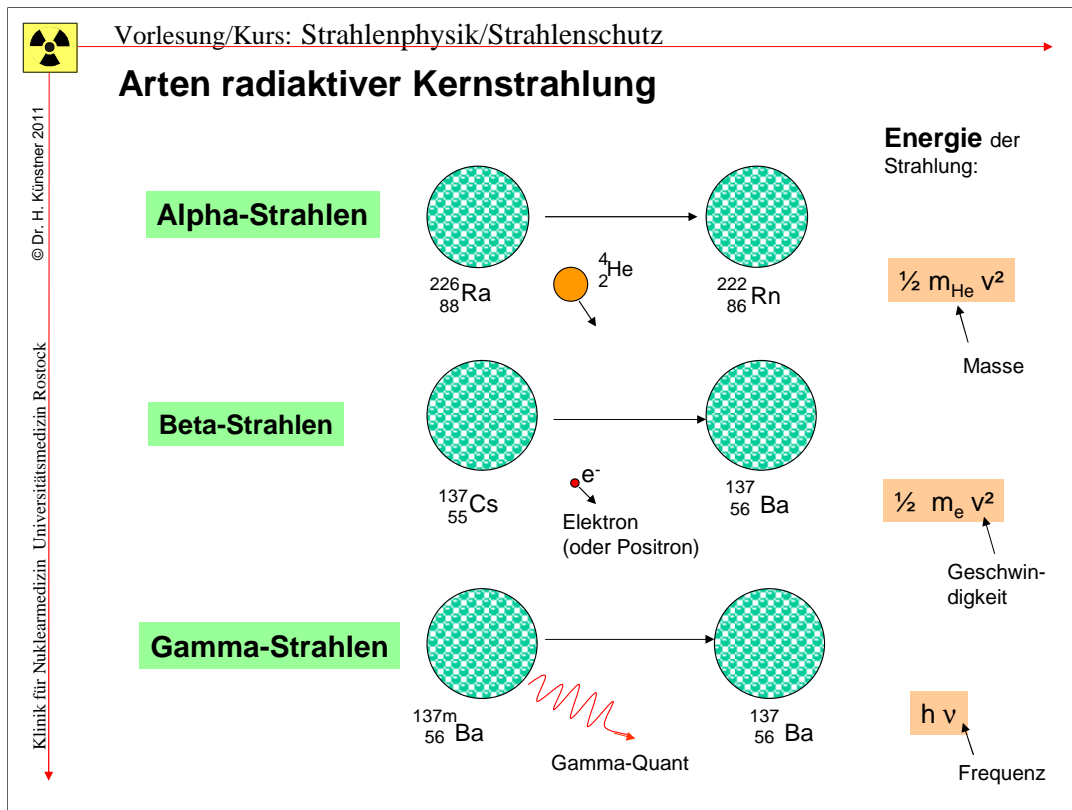
oder

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

© Dr. H. Künster 2011
Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Rostock

Die möglichst genaue Bestimmung oder Abschätzung der effektiven HWZ ist für die Radionuklidtherapie besonders wichtig, weil sie mitbestimmt, 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.

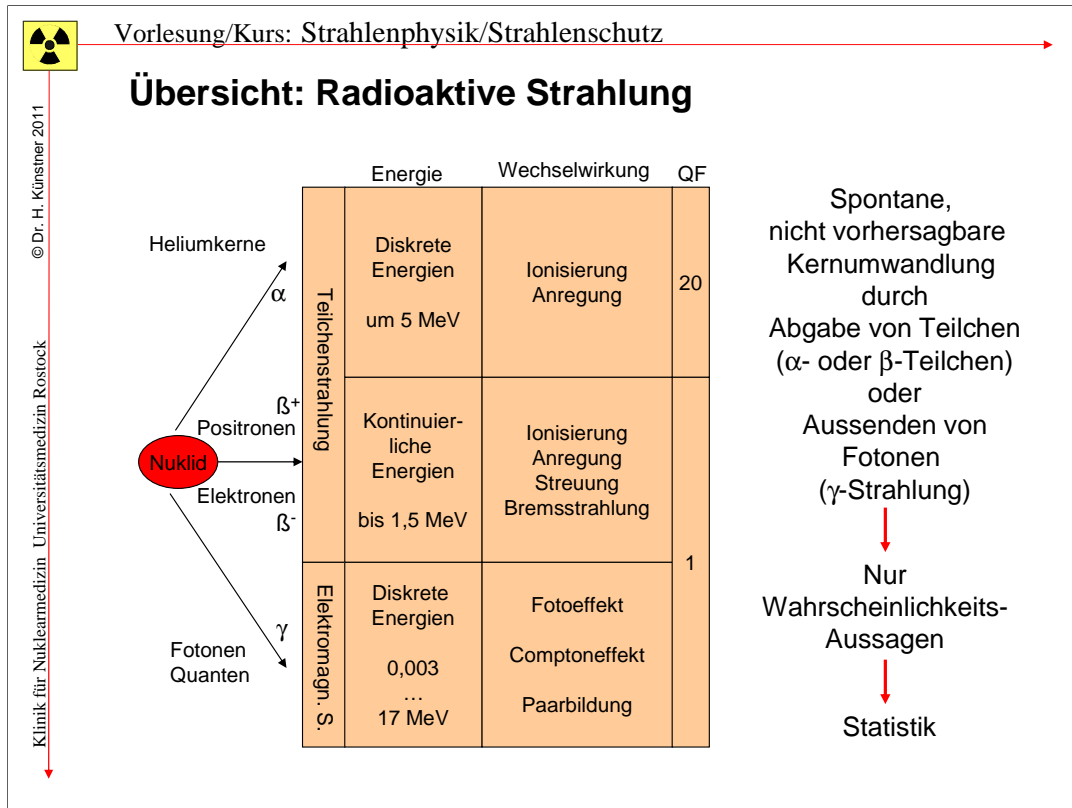


Alpha-Strahlen: Teilchenstrahlung, wobei vom radioaktiven Atomkern ein Heliumkern (2 Protonen+2Neutronen) ausgestoßen wird. Im obigen Beispiel wandelt sich das radioaktive Radium dadurch in ein neues Isotop des Radons um.

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 Massezahl 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)



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

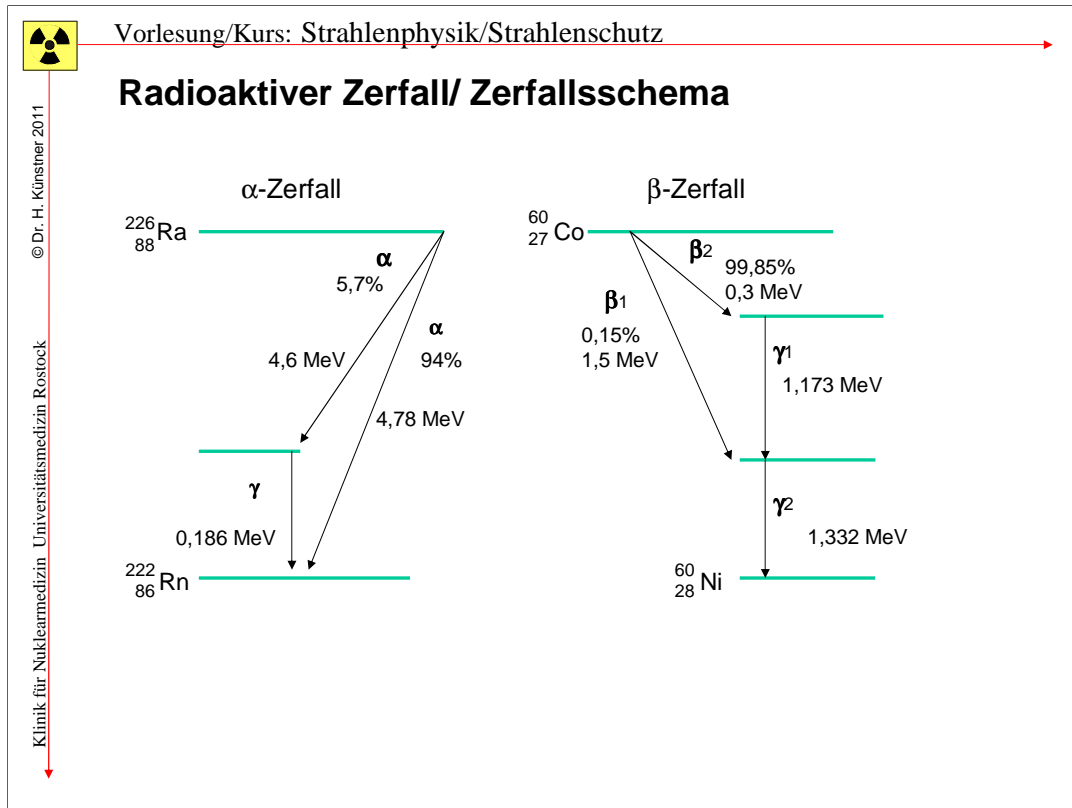
Jedes sich bewegenden Teilchen (Alpha- oder Beta-) hat auf Grund seiner Masse und der jeweiligen Geschwindigkeit eine kinetische Energie.

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.

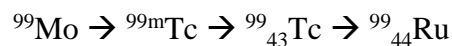
Der Qualitätsfaktor QF wurde eingeführt, um die unterschiedliche biologische Wirkung der einzelnen Strahlungsarten auf lebendes Gewebe zu berücksichtigen. Er ist bestimmend für die Äquivalentdosis (siehe weiter hinten).



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.

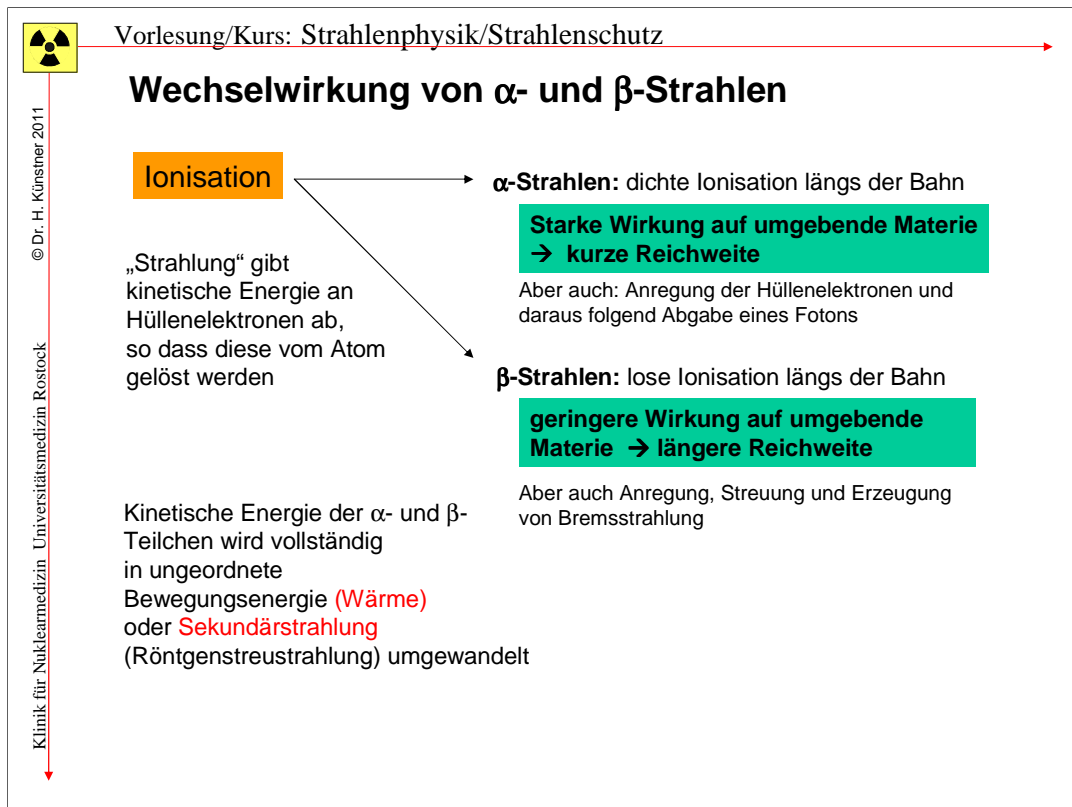
Hinzu kommt die Sekundärstrahlung aus den unterschiedlichen Wechselwirkungsprozessen. (siehe später).

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:



Das aus dem metastabilen Zustand entstehende ^{99}Tc können wir bereits als stabil betrachten, weil seine HWZ etwa 210000 Jahre beträgt, und somit während des Lebens des Patienten nur noch wenige Zerfälle passieren. Wirklich stabil ist erst das Rubidium.

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

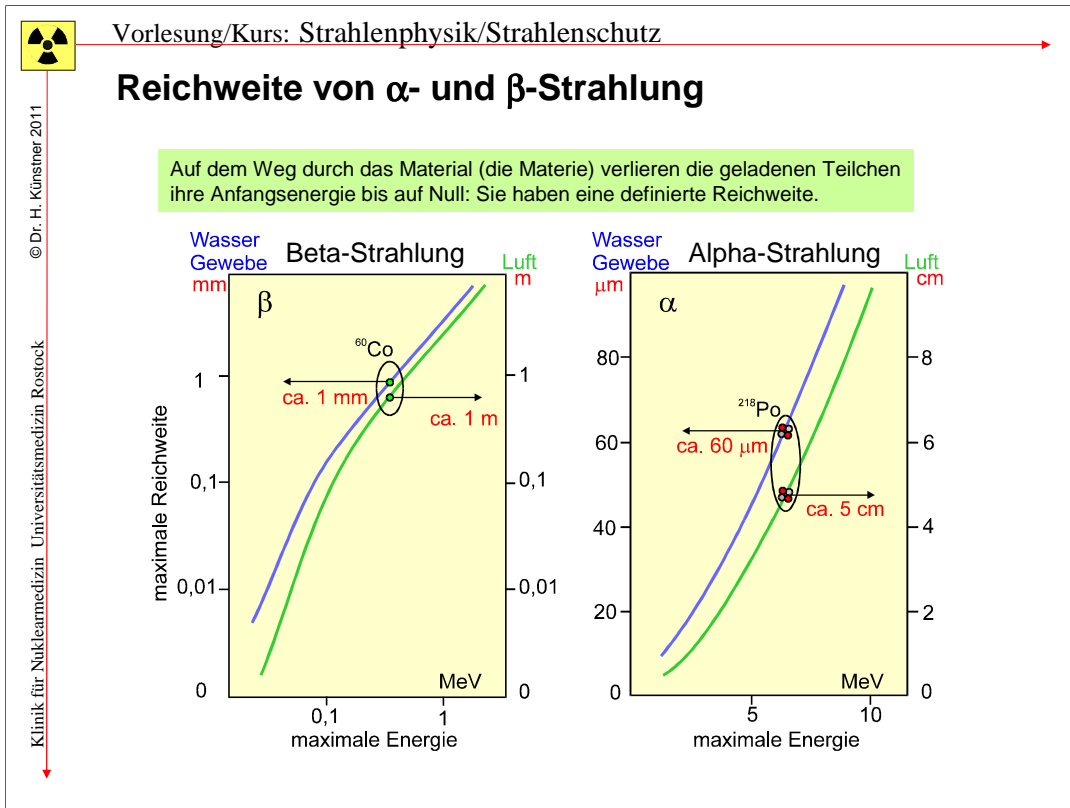


Die Wechselwirkungen mit der umgebenden Materie sind die entscheidenden Prozesse für die biologische Wirkung der radioaktiven Strahlung.

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“.

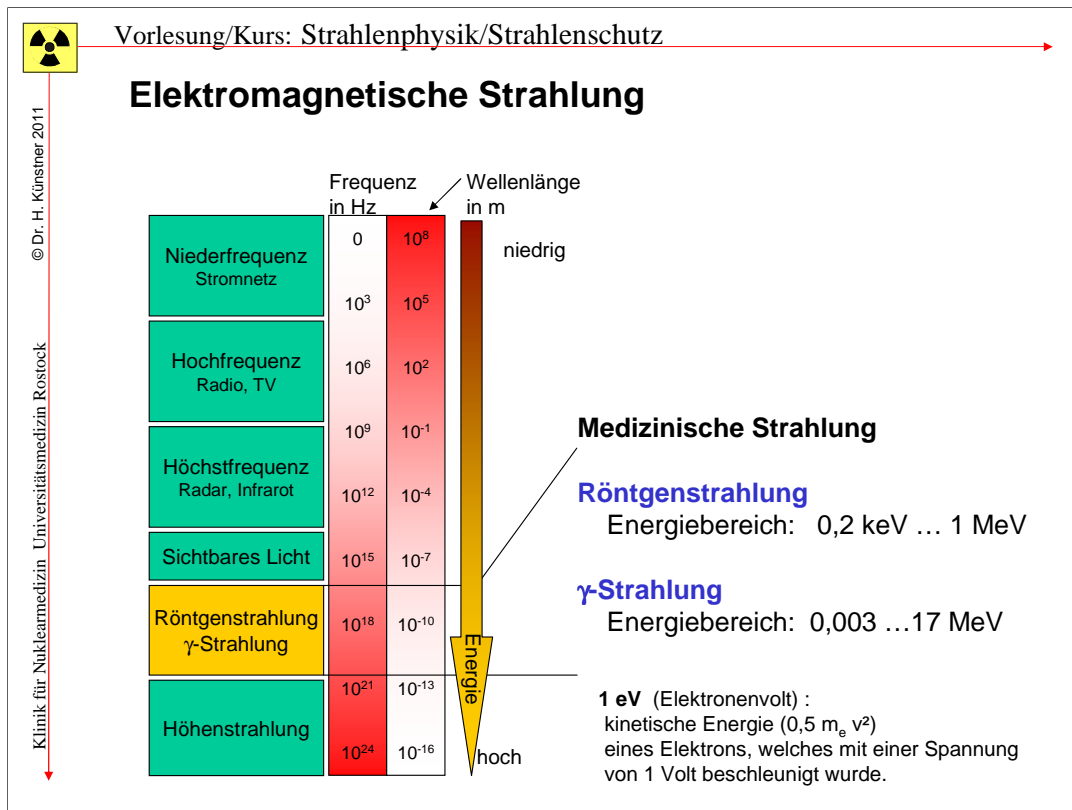
Diese Regenerationsprozesse laufen im Körper ständig ab, weil eine stets vorhandene geringe Untergrundstrahlung (aus dem Kosmos, aus der Erde und der Atmosphäre) auf den Menschen einwirkt.



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.



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 können auch höhere Energien freigesetzt werden als bei der Röntgenstrahlung.

Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz

Wechselwirkung von γ -Strahlung

Fotoeffekt	Comptoneffekt	Paarbildung
Wechselwirkung mit Hüllenelektronen		Wechselwirkung mit Atomkern
Fühlt sich wohl bei niedrigen Energien und hohen Ordnungszahlen	Sind Energie und Ordnungszahl ziemlich egal	Braucht Energien $>1,02$ MeV und liebt hohe Ordnungszahlen

© Dr. H. Küstner 2011
Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Rostock

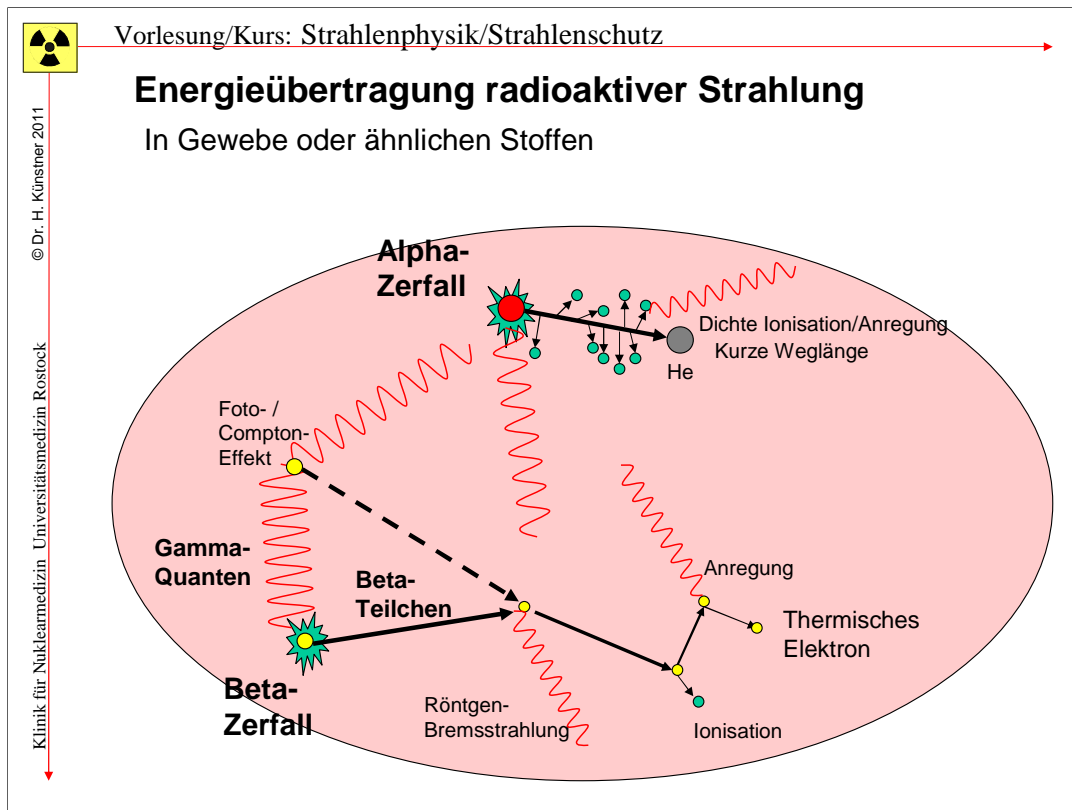
Die Wechselwirkung (WW) von Gamma-Strahlen mit den Hüllenelektronen führen zu einer Ionisation des Atoms, was in der Folge zu Veränderungen in den Molekülen führen kann. Daraus ergibt sich dann die biologische Wirkung der Strahlung.

Foto- und Comptoneffekt sind die WW, die in der Nuk die entscheidende Rolle spielen. Beide WW ionisieren ein Atom, was in der Folge zu einer biologischen Schädigung führen kann. Andererseits wird insbesondere der Fotoeffekt in den Detektoren für die Registrierung der Gammaquanten benötigt.

Der Paarbildungseffekt spielt in der Nuk keine Rolle, da Gammaquanten mit so hohen Energien nicht zum Einsatz kommen.

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.

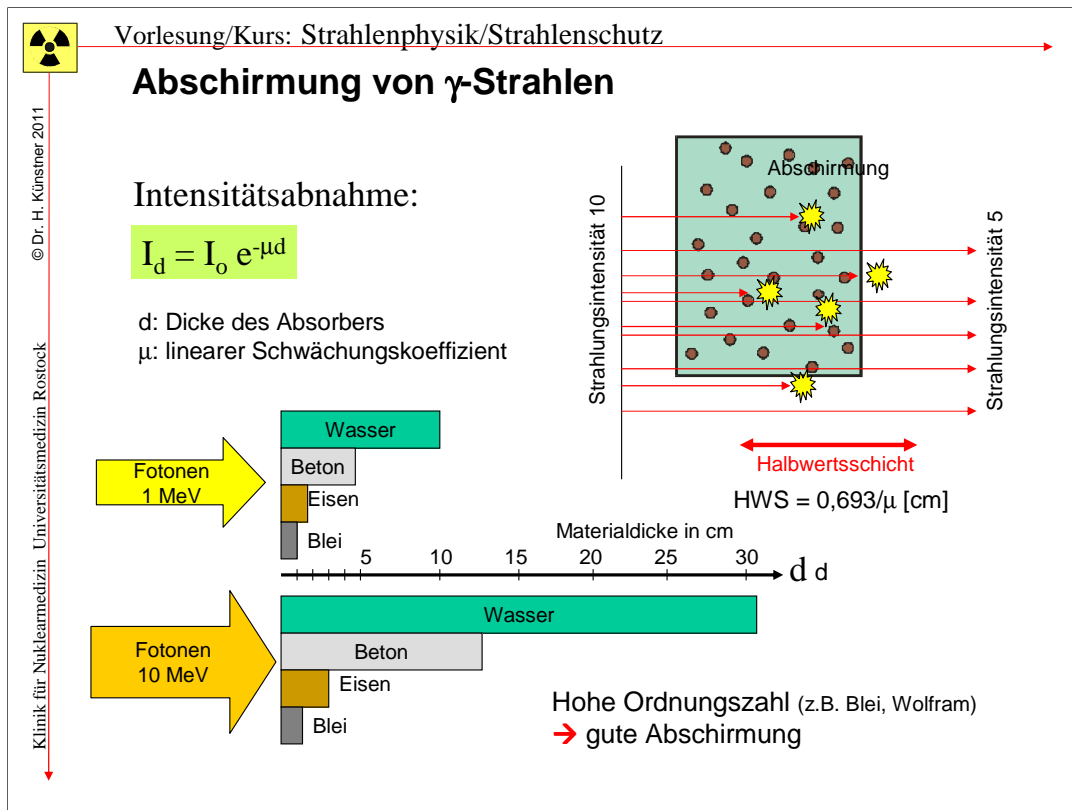
Da die Positronen Anti-Teilchen des Elektrons sind, können sie nicht lange in der für sie „feindlichen“ Umwelt existieren. Sie annihilieren (zerstrahlen) somit kurz nach ihrer Aussendung mit einem „normalen“ Elektron in zwei Gamma-Quanten von je 511 keV, die in genau entgegengesetzte Richtung auseinander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



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 (zerstrahlen) 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.



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.

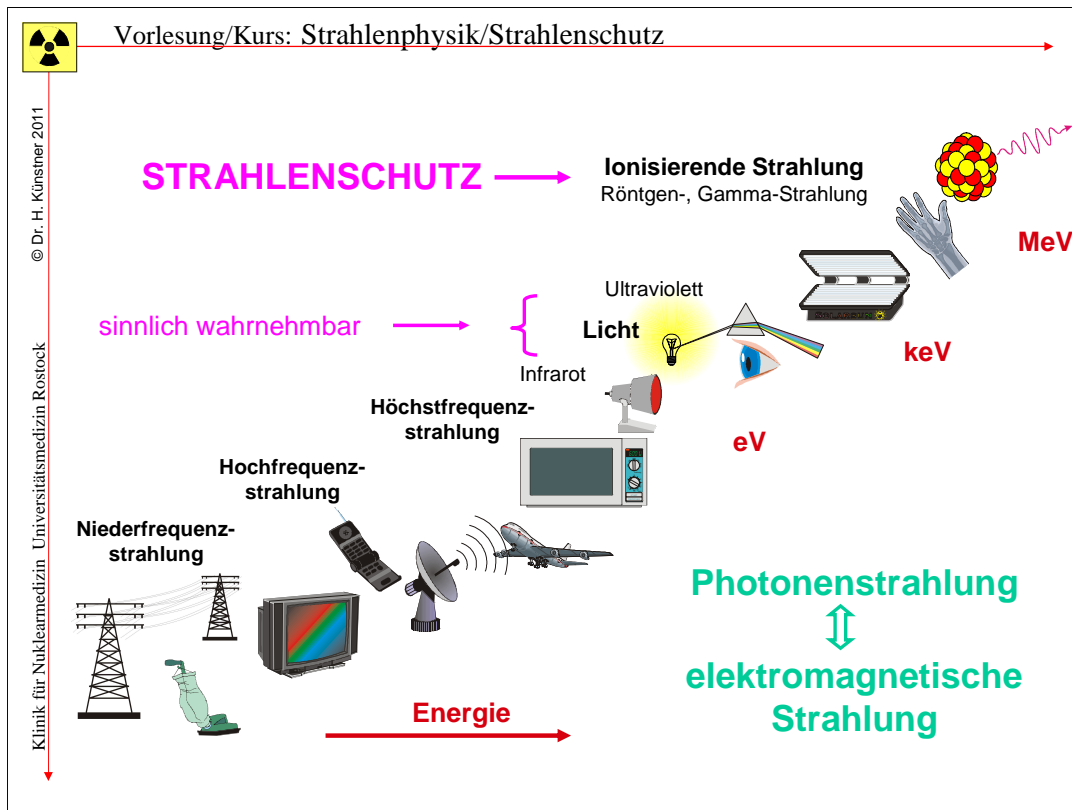
Die Schichtdicke, nach der die Intensität auf die Hälfte gefallen ist, wird in Analogie zum Zerfallsgesetz als Halbwertsschicht bezeichnet.



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 einem Körper verursacht wird.

Aus diesen Wechselwirkungen in lebendem Gewebe 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.

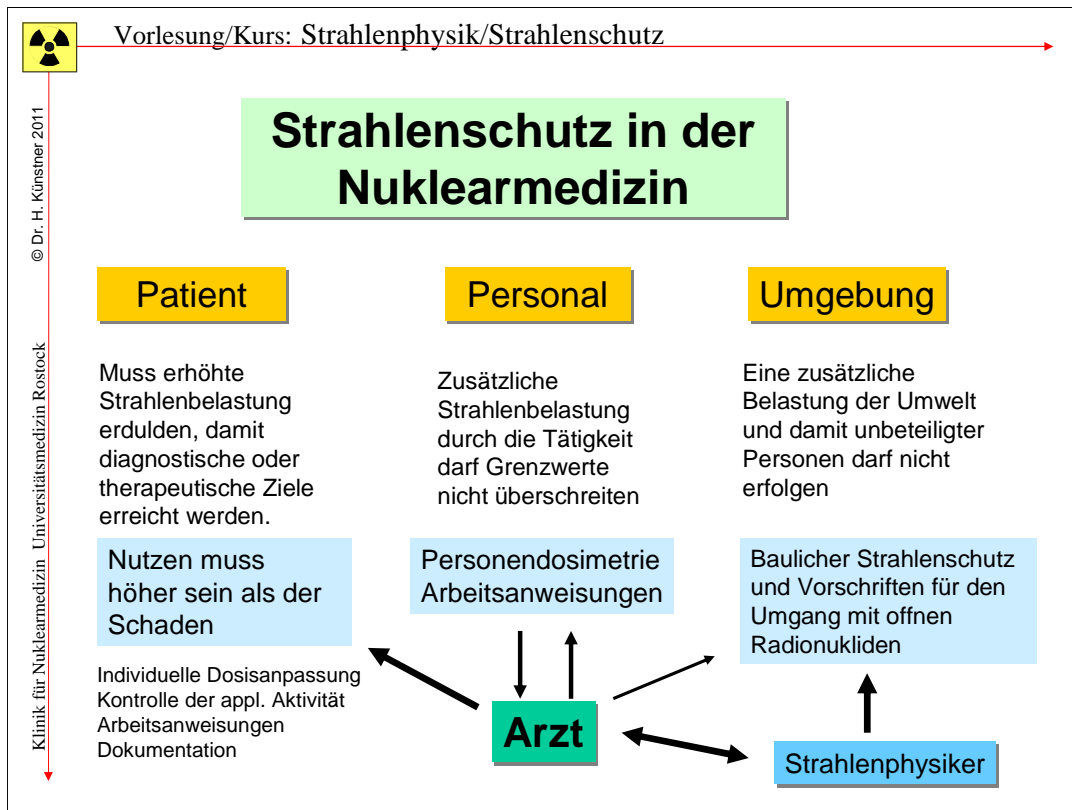


Elektromagnetische Strahlung umfasst einen weiten Energiebereich. Beginnend bei der Strahlung die von elektrischen Leitungen des Stromnetzes ausgehen, über das Fernsehen, die Mikrowelle bis zum sichtbaren und ultravioletten Licht. All diese Strahlungen haben keine ionisierende Wirkung, können aber wohlweislich für den lebenden Organismus schädigend sein (z.B. Katzentod in Mikrowelle, Sonnenbrand durch UV-Strahlung).

Der Strahlenschutz von dem wir in der Radiologie bzw. der Nuklearmedizin sprechen bezieht sich immer auf den Schutz vor ionisierender Strahlung, wie der Röntgen- oder radioaktive Strahlung. Deren Energie eines einzelnen Quants (kleinstes Energiepaket) reicht aus, um ein Atom zu ionisieren.

Aber auch die radioaktive Teilchenstrahlung (Alpha- und Beta-Strahlen) ionisiert die umgebenden Atome.

Da bei kleinen Dosen die Strahlenwirkung erst sehr viel später eintreten kann, ist es besonders wichtig den Strahlenschutz ernst zu nehmen.



Der Strahlenschutz in der Nuklearmedizin ist komplexer als in anderen Bereichen, aber nicht gefährlicher, wenn die Vorschriften und Arbeitsanweisungen gewissenhaft eingehalten werden.

Vorlesung/Kurs: Strahlenphysik/Strahlenschutz

Strahlenschutz

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

© Dr. H. Künster 2011
Klinik für Nuklearmedizin, Universitätsmedizin Rostock

Die 3 oben aufgeführten Grundregeln sollten von Jedem 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.

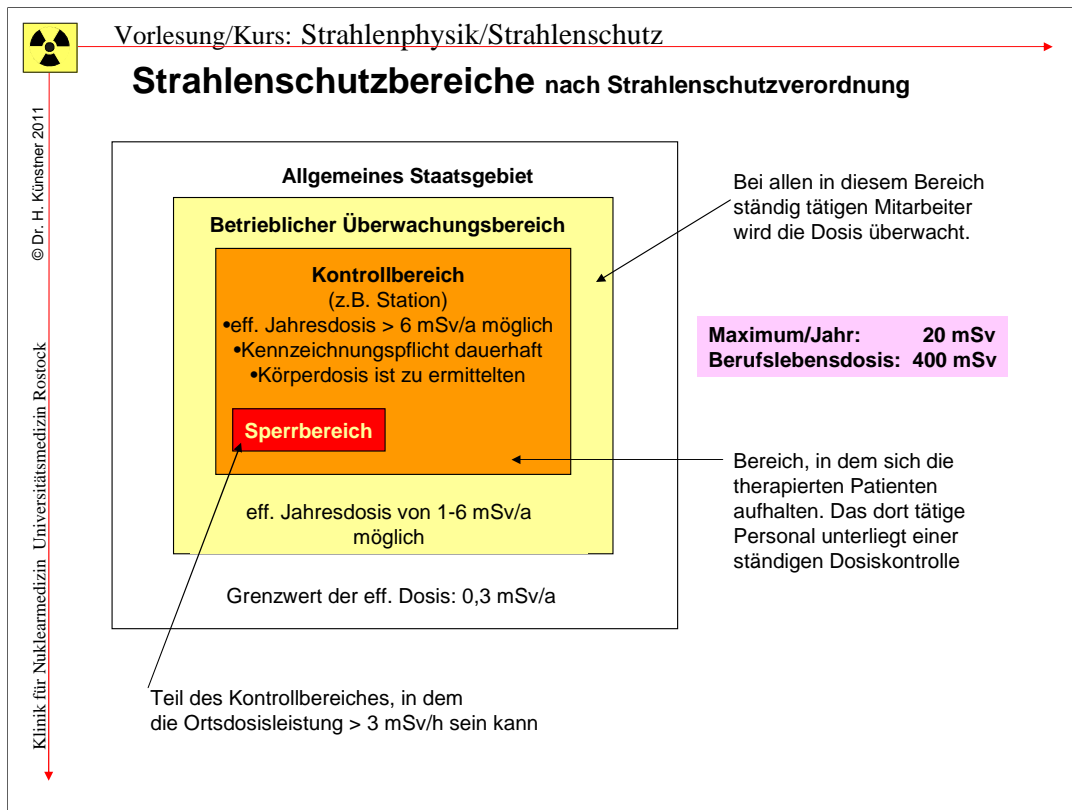
Natürlich gehören weitere Maßnahmen zum Strahlenschutz:

- Schutzkleidung (Kittel, Handschuhe) tragen
- regelmäßige Kontaminationskontrollen
- kontaminierte Reste in abgeschirmte Behälter
- ...



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.

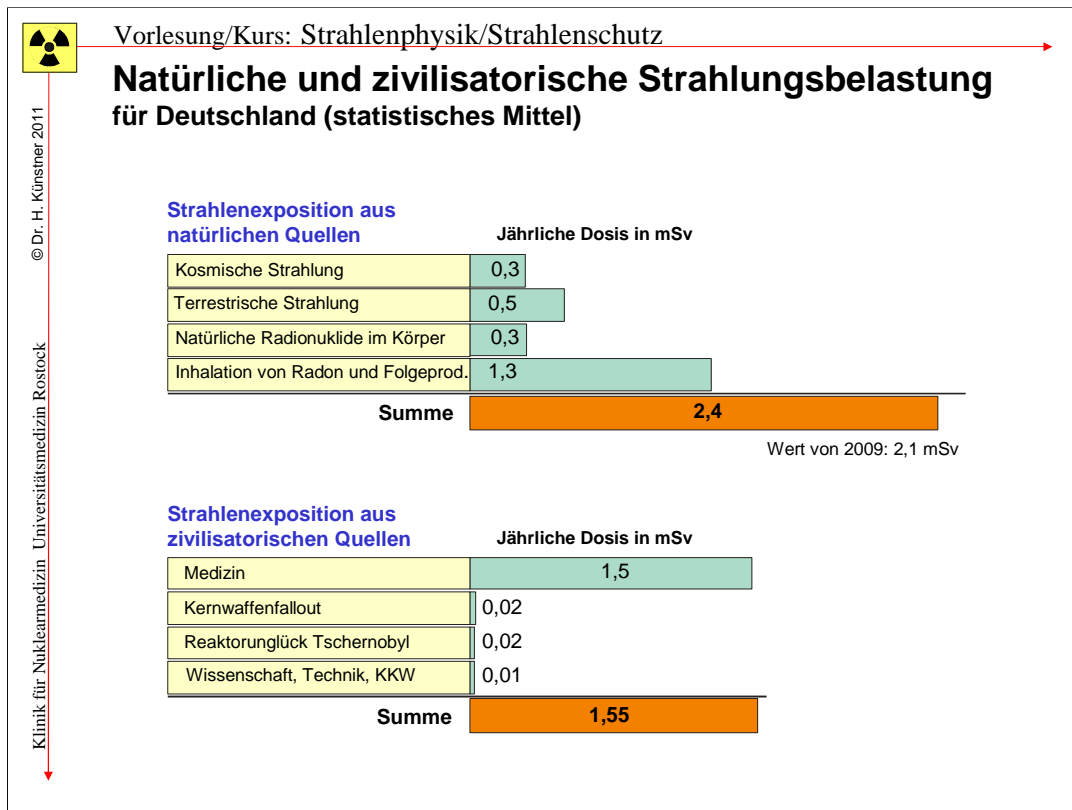


Beim Umgang mit ionisierender Strahlung (Röntgen, Strahlentherapie oder Radioaktivität in der Medizin) werden Strahlenschutzbereiche festgelegt, in denen die dort tätigen Personen unterschiedlichen Strahlenbelastungen ausgesetzt sein können.

Durch die Strahlenschutzverordnung wird festgelegt, dass für überwachte Personen in diesen Strahlenschutzbereichen eine zusätzliche effektive Ganzkörperdosen von 20 mSv pro Jahr maximal zulässig ist. Kontrollmaßnahmen (Filmdosimeter, regelmäßige Messungen und Verhaltensmaßregeln) sichern, dass dieser Grenzwert eingehalten wird.

Für Schwangere gelten gesonderte Regelungen. Sie dürfen während der Schwangerschaft nicht mehr als 1 mSv abbekommen. Um dies zu kontrollieren, müssen sie mit elektronischen Dosimetern ausgestattet werden, wenn sie im Überwachungs- oder Kontrollbereichen eingesetzt werden. In Sperrbereichen dürfen Schwangere grundsätzlich nicht arbeiten.

Die üblichen Strahlenbelastungen in der Klinik für Nuklearmedizin liegen im Bereich von 2-3 mSv/a für Ärzte, MTRA und Schwestern.

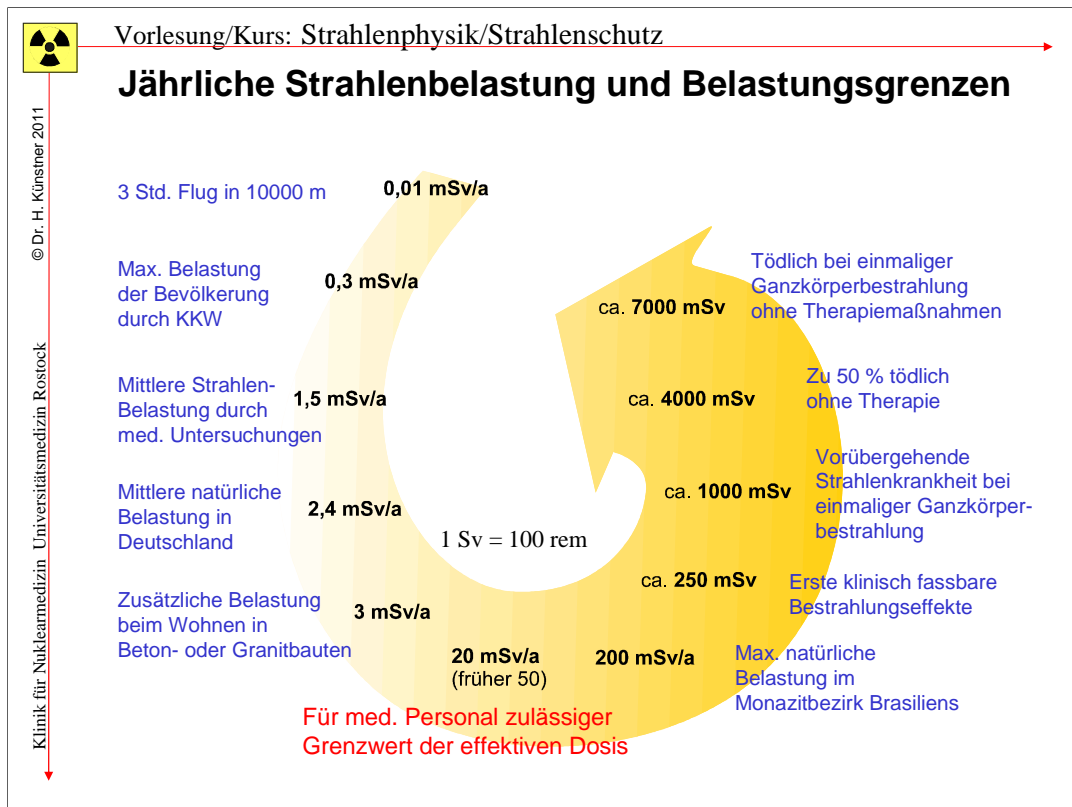


Die obere Grafik zeigt die Hauptanteile der natürlichen Strahlung, der alle Menschen (statistisches Mittel für Deutschland) ausgesetzt sind, die ihre Ursachen zum einen in der kosmischen Strahlung (Sonne) und zum anderen in den noch vorhandenen langlebigen radioaktiven Isotopen aus der Erdentstehung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

Der Wert für die mittlere natürliche Strahlenbelastung in Deutschland wurde mittlerweile auf 2,1 mSv/a korrigiert.

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 10-20 mSv an effektiver Dosis.

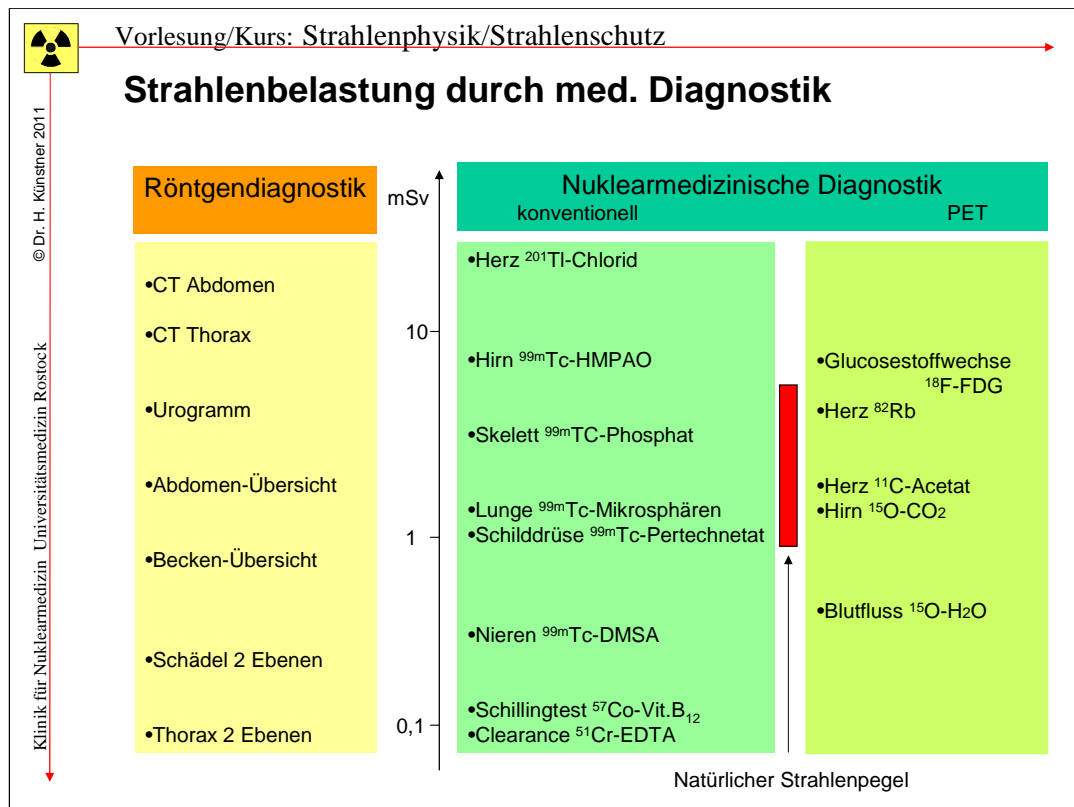


Die Abbildung zeigt auf der linken Seite verschiedene natürliche und zivilisatorische Belastungen für die Bevölkerung in Deutschland (statistische Mittelwerte), sowie den Grenzwert für das medizinische Personal unten.

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). Dort wird die Bevölkerung im Mittel mit 8-10 mSv/a belastet.

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.



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.

In modernen Kombi-Geräten (SPECT/CT und PET/CT) kann die Strahlenbelastung für den Patienten sowohl bei der Nuk-Untersuchung als auch bei der CT-Untersuchung teilweise durch modernere Verfahren stark reduziert werden. Dies betrifft vor allem das CT, da oft nur ein LowDose-CT in bestimmten Körperregionen nötig ist und somit kein volles diagnostisches CT über den gesamten Körper gefahren werden muss.