

Einführung in den Strahlenschutz für Radioaktivitätspraktikanten



Universität Basel
Institut für Physik
Strahlenschutz
D. Sacker



Revision 3.1
Datum 8. April 2013

Einleitung:

Bereits unmittelbar nach der Entdeckung der ionisierenden Strahlen vor über hundert Jahren durch W. C. Röntgen (1845-1923) und H. A. Becquerel (1852-1908) und Mme. M. Curie (1867-1934) wurden deren weite Anwendungsmöglichkeiten erkannt. Es folgte eine Zeit, in der diese 'wundersamen' Strahlen ohne Schutzvorkehrungen nicht nur in der Forschung, Technik und Medizin, sondern auch zur Unterhaltung des staunenden Publikums eingesetzt wurden. Als allmählich erkannt wurde, dass diese Strahlen Früh- und Spätschäden verursachen, wurden von den Radiologen und später von der 'Internationalen Kommission für Strahlenschutz' (International Commission for Radiation Protection) **ICRP** immer strengere Richtlinien und Vorschriften für den Umgang mit ionisierender Strahlung erlassen.

In der Bundesverfassung befasst sich der **Artikel 118** mit dem Strahlenschutz. Darauf stützt sich das Strahlenschutzgesetz **StSG** und die Strahlenschutzverordnung **StSV**. Das Strahlenschutzgesetz und die Strahlenschutzverordnung sind online unter www.admin.ch abrufbar.

Ionisierende Strahlung allgemein:

Absorbierte Dosis (Energiedosis) D:

Eine Strahlenquelle sendet Energie aus. Trifft die Strahlung auf einen Absorber z.B. einen Tank mit destilliertem Wasser, so wird die Strahlung absorbiert und deren Energie wird vom Wasser aufgenommen und dieses damit erwärmt. Die Einheit der 'Absorbierten Dosis' ist das **Gray**. **1Gy** ist die Dosis, die bei der Übertragung der Energie **1 Joule** auf homogene Materie der Masse **1 kg** (z.B. Wasser) durch ionisierende Strahlung räumlich konstanter Energieflussdichte entsteht.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Grösse	Neue Einheit	Alte Einheit	Umrechnung
Absorbierte Dosis	Gray [Gy]	Rad [Rd]	1 Gy = 100 Rd

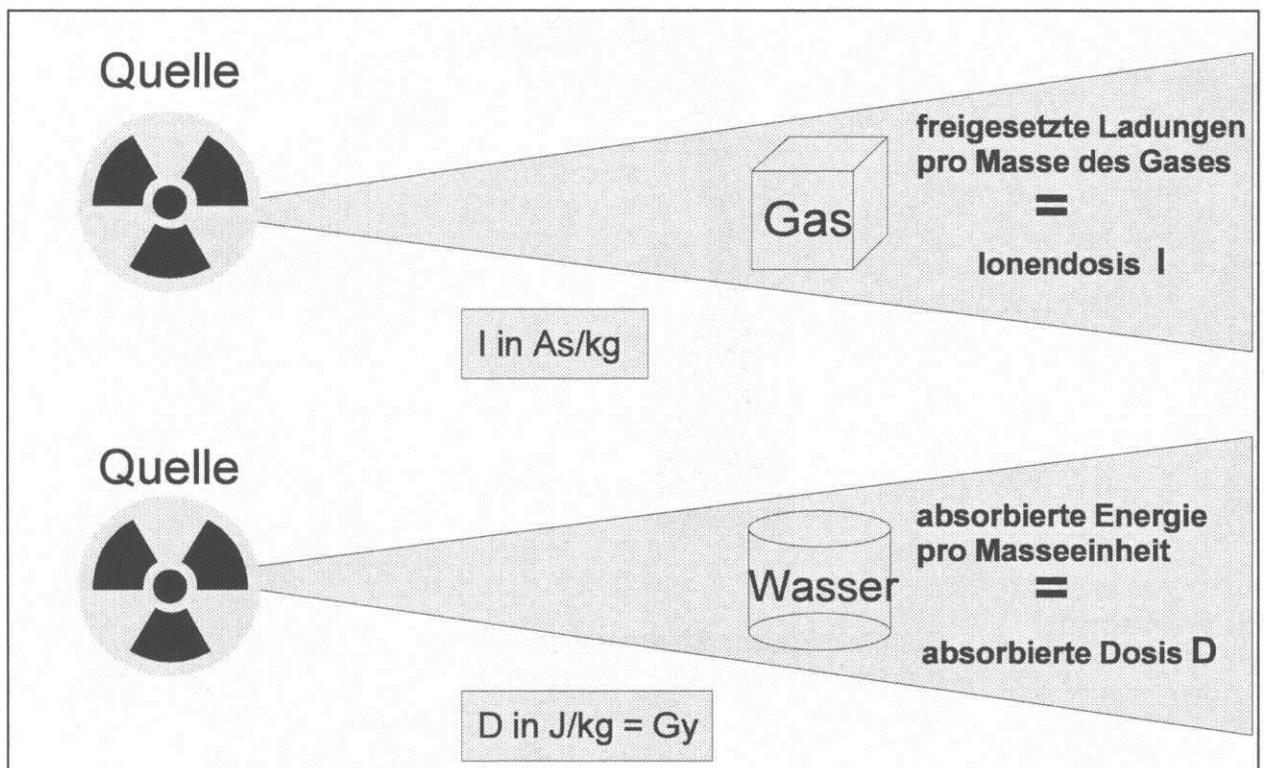
Neben der absorbierten Dosis kennt man auch die **absorbierte Dosisleistung D°** . Sie hat die Einheit *Watt pro Kilogramm* [W/kg] ; **1 W/kg = 1 Gy/s**. Eine gebräuchliche Einheit ist das **Gy/h**.



- Die Dosisleistung einer radioaktiven Quelle kann mit der Förderleistung einer Wasserquelle verglichen werden. Je länger man im Strahlenfeld mit einer bestimmten Dosisleistung steht, desto grösser ist die akkumulierte Dosis!

Die Dosisleistung ist die Dosis pro Zeiteinheit z.B. Stunden **h** oder Jahre **a**

$$D^\circ = \frac{D}{t}$$



Ionendosis:

Unter Ionendosis versteht man die erzeugte Ladung (Elektronen, Ionen) in einem Gasvolumen. Gemessen wird die durch Ionisation erzeugte Ladung in einem bestimmten Gasvolumen. Kennt man die Energie, die es braucht um ein Elektron vom Atom zu lösen, so

kann die Energie berechnet werden, welche in diesem Volumen deponiert wurde. Die Ionendosis wird in *Coulomb pro Kilogramm [C/kg]* (As/kg) angegeben.

Grösse	Neue Einheit	Alte Einheit	Umrechnung
Ionendosis	C/kg	Röntgen (R)	1 C/kg = 3876 R

Die Äquivalentdosis H

Die Äquivalentdosis bezieht sich im Gegensatz zur absorbierten Dosis D auf die **Auswirkungen** der ionisierenden Strahlung **auf den Menschen**. Da die verschiedenen Strahlenarten verschieden starke Schädigungen für den Menschen verursachen, wurde der **Wichtungsfaktor w_R** (radiation weighting factor) eingeführt. Die neue Einheit wird als Sievert [Sv] bezeichnet. Entsprechend lautet die Formel:

$$H = D * w_R$$

H = Äquivalentdosis in Sievert [Sv]

D = absorbierte Dosis in Gray [Gy]

Der w_R für die verschiedenen Strahlenarten ist:

Strahlenart	w_R
Röntgen	1
γ -Strahlung	1
β -Strahlung	1
α -Strahlung	20
Neutronen (E = 10 keV...100 keV und 2MeV...20MeV)	10

siehe Strahlenschutzverordnung Anhang 1

Grösse	Neue Einheit	Alte Einheit	Umrechnung
Äquivalentdosis	Sievert [Sv]	rem	1 Sv = 100 rem

Für die **Äquivalentdosisleistung** H° kennt man das Sievert pro Zeiteinheit, gebräuchlich ist das [$\mu\text{Sv/h}$] oder das [mSv/h].

Die effektive Dosis E

Wird nur ein einzelnes Organ ionisierender Strahlung ausgesetzt, so sind die Auswirkungen auf den ganzen Körper natürlich geringer, als wenn der ganze Körper dieser Strahlung ausgesetzt würde. Anhand des **Wichtungsfaktors** w_T (tissue weighting factor) für die einzelnen Organe trägt man diesem Umstand Rechnung. Das Produkt aus Äquivalentdosis und Wichtungsfaktor wird als **effektive Dosis E** bezeichnet. Die Summe aller organspezifischen Wichtungsfaktoren **ergibt 1**. Als Einheit steht weiterhin das **Sievert**. Die Formel lautet:

$$E = H * W_T = D * w_R * w_T$$

E = effektive Dosis in [**Sv**]

H = Äquivalentdosis in [**Sv**]

Wie schädlich ist ionisierende Strahlung für den Menschen?

Epidemiologische Studien haben ergeben, dass die Wahrscheinlichkeit an einem Krebs zu erkranken, wenn jemand eine totale Dosis von **1 Sievert** während Jahren akkumuliert hat, bei **4%** liegt. Da im Durchschnitt etwa 20-25% der Menschen an dieser Krankheit sterben, addieren sich diese 4% zum Durchschnittswert. Dazu ist zu sagen, dass 1 Sievert eine sehr hohe Dosis ist, für beruflich strahlenexponierte Personen gilt eine **maximale Dosis von 20 mSv/a**. Weiterhin gebietet die Strahlenschutzgesetzgebung, dass man die Exposition von Menschen soweit klein wie möglich hält (ALARA).

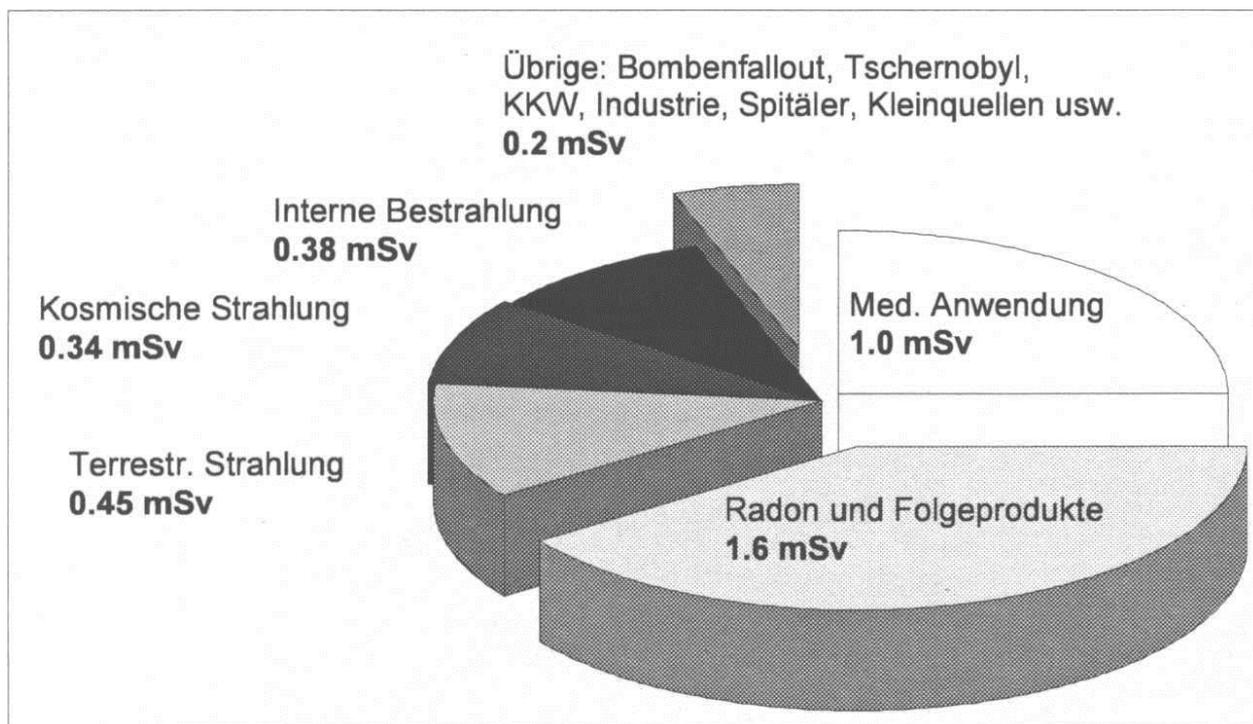
Was haben wir über ionisierende Strahlung gelernt?

- Als Maß für die Strahlung einer radioaktiven Quelle, die in einem Absorber gestoppt wird, kennen wir die **absorbierte Dosis D in der Einheit Gray (Gy)**.



- Da nicht alle Strahlenarten die gleiche Schädigung am menschlichen Gewebe verursachen, wurde die **Äquivalentdosis H in Sievert** eingeführt, welche die absorbierte Dosis mit einem Wichtungsfaktor w_R entsprechend ergänzt. Die Äquivalentdosis bezieht sich auf eine Ganzkörperbestrahlung.
- Um die Auswirkungen auf den ganzen Körper, wenn nur ein einzelnes Organ bestrahlt wurde, abzuleiten, wird anhand eines **Organwichtungsfaktors** w_T die **effektive Dosis E** bestimmt.
- Für β - und γ -Strahlen kann man **Gray und Sievert gleichsetzen**. Aber **Vorsicht, die Aussage der Einheiten ist unterschiedlich**.

Was für Strahlendosen ist der Mensch in seiner Umgebung ausgesetzt?



Dieses Diagramm gibt einen Überblick über die mittlere Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung. Sie beträgt jährlich etwa **4 mSv**. Die Hauptanteile setzen sich wie folgt zusammen:

- Interne, kosmische und terrestrische Exposition, die durch rein natürliche Gegebenheiten zustande kommt.
- Die Radonbelastung, die zwar einen natürlichen Ursprung hat, aber durch zivilisatorische Gegebenheiten (Art der Häuserblocks) stark beeinflusst wird.
- Belastung, die erst mit der Nutzung der Radioaktivität und der ionisierenden Strahlung entsteht. Bei dieser Belastung ist die Dosis durch medizinische Diagnostik der wichtigste Anteil.

Das Radon:

Das Edelgas Radon-222 entsteht aus dem Zerfall von Uran-238 im Erdinnern über verschiedene Nuklide. Als Edelgas ist Radon chemisch nicht mehr gebunden und kann je nach Gasdurchlässigkeit des Gesteins und des Baugrundes in Keller und Wohnungen eindringen und sich dort anreichern. Über die Atemluft gelangt Radon in die Lunge. Die beim radioaktiven Zerfall emittierten α -Teilchen bestrahlen das Gewebe und können Krebs auslösen. (Rauchen stellt allerdings ein weit grösseres Risiko dar als Radon). Die Radonkonzentration kann Werte bis $10'000 \text{ Bq/m}^3$ erreichen. Der Mittelwert in Schweizer Wohnungen beträgt 60 Bq/m^3 . Der Grenzwert gemäss Strahlenschutzverordnung beträgt $1'000 \text{ Bq/m}^3$. Hohe Radonkonzentrationen findet man im Tessin, im Engadin und im Hochjura.

Die terrestrische Strahlung:

Im Erdgestein sind auch Uran und seine Tochternuklide enthalten. Im alpinen Gestein hat es mehr Uran als im Mittelland, so dass in den Alpen eine höhere terrestrische Strahlung zu verzeichnen ist.

Die kosmische Strahlung:

Von der Sonne und anderen Sternen trifft eine energiereiche Teilchenstrahlung (Protonen und Heliumkerne) auf die Lufthülle der Erde, wobei Atomkerne (Stickstoff und Sauerstoff) zertrümmert werden. Dabei entstehen neue Teilchen und Kerne, die weiterfliegen, bis ihre Energie an das Umgebende Medium abgegeben wurde. Am Erdboden ist nur die Strahlung zu beobachten, die durch vielfältige Sekundärprozesse entstanden ist. Die durch kosmische Bestrahlung verursachte Dosisleistung hängt von der Höhe über Meer ab. Sie beträgt bei interkontinentalen Flügen (ca. 10 km Höhe) im Mittel **5 $\mu\text{Sv/h}$** , mit Spitzenwerten bis **13 $\mu\text{Sv/h}$** . Das Flugpersonal wird im Mittel mit einer jährlichen, effektiven Dosis von **3 mSv** belastet.

Die Bestrahlung durch Inkorporation:

Das natürliche Radionuklid K-40 gelangt über die Nahrung in den Körper, wo es mit 3 bis 4,5 kBq (die K-40 Aktivität hängt von der Muskelmasse ab) den Hauptanteil der Dosis aus Inkorporation ausmacht. Die Isotope der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium, sowie die durch Wechselwirkung in der Atmosphäre entstehenden Isotope C-14 tragen dabei in geringerer Masse zur Dosis aus Inkorporation bei.

Die Bestrahlung durch künstliche Radioaktivität und ionisierende Strahlen:

Der Dosisbeitrag durch künstliche Radioaktivität und ionisierende Strahlen stammt zum kleinsten Teil aus der Inkorporation von Cs-137 und Sr-90 aus Kernwaffenversuchen und vom Reaktorunfall in Tschernobyl. Weitere Belastungsquellen stellen Krypton-85 aus Wiederaufbereitungsanlagen von Kernbrennstäben, Tritium aus Kernwaffenversuchen und der Leuchtfarbenindustrie, Jod-131 aus Spitälern, Argon-37 aus unterirdischen Kernwaffenversuchen und aus Kernkraftwerken. Vereinzelt Tessiner Wildpilze haben noch eine Tschernobyl-Aktivität von bis zu 5,5 Bq/g Frischgewicht.

Kleinquellen (Uhren mit Leuchtziffern) und das mit dem Rauchen aufgenommene Pb-210 und Po-210 verursachen einen grösseren Dosisbeitrag als die oben genannten friedlichen und militärischen Nutzungen. Aus der Anreicherung des Tabaks mit diesen Radionukliden resultiert für einen Raucher eine mittlere effektive Dosis von ca. 1,2 μSv pro Zigarette (Quelle: rauchstoppzentrum.ch).

Ein grosser Dosisanteil kommt durch **die medizinische Diagnostik und Therapie** zustande. Eine einzelne Lungenaufnahme verursacht im Mittel 0,2 mSv Lungendosis, was einer effektiven Dosis von ca. 24 μSv entspricht.

Unter der künstlichen Strahlenbelastung muss auch die Kollektivdosis der über 60'000 beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz aufgeführt werden. Im Mittel erhält eine beruflich strahlenexponierte Person 0,12 mSv pro Jahr (1998).



- Die natürliche Strahlung in der Schweiz liegt im Durchschnitt bei **0,1 $\mu\text{Sv/h}$** . Misst man nun mit einem Geiger-Müller Zählrohr einen Wert von $1,0 \mu\text{Sv/h}$, so kann man sagen, dass wir eine Strahlung haben die zehnmal über dem natürlichen Untergrund liegt.
- Unternehmen wir einen Überseeflug der fünf Stunden dauert, so akkumulieren wir $5 \text{ h} * 5 \mu\text{Sv/h} = 25 \mu\text{Sv}$. Wären wir zuhause geblieben, so hätten wir in dieser Zeit nur $5 \text{ h} * 0,1 \mu\text{Sv/h} = 0,5 \mu\text{Sv}$ akkumuliert.

Strahlenquellen

Aktivität radioaktiver Quellen

Man gibt die Aktivität einer radioaktiven Quelle in Becquerel (**Bq**) an. Die alte Einheit dafür ist das Curie (Ci) entsprechend $3.7\text{E}+10 \text{ Bq}$. Die Anzahl der in einer Sekunde zerfallenden radioaktiven Atome ist ein Mass für die Aktivität einer Strahlenquelle. $1 \text{ Bq} = 1$ **Kernzerfall pro Sekunde**.

Grösse	Neue Einheit	Alte Einheit	Umrechnung
Aktivität	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	$1 \text{ Bq} = 27\text{pCi}$ $1 \text{ Ci} = 37\text{GBq}$

Strahlenenergie

Damit Strahlung eine Wirkung erzeugen kann, muss sie über Energie verfügen. Die Energie einer Strahlung wird in Elektronenvolt (**eV**) angegeben. Ein Elektronenvolt ist die Energie, die der kinetischen Energie eines Teilchens mit der Ladung $1 e$ (Elementarladung) entspricht, wenn es im Vakuum eine Beschleunigungsspannung von 1 Volt durchläuft.

α -Strahlung:

Was ist α -Strahlung?

α -Strahlung ist eine **Teilchenstrahlung**, auch **korpuskulare Strahlung** genannt. α -Teilchen sind aus zerfallenden Kernen emittierte Heliumkerne. Entlang des zurückgelegten Weges in Luft tritt Ionisation auf und die kinetische Energie der α -Teilchen wird abgebaut. Ihre Reichweite ist in Luft auf **wenige cm** beschränkt. Da die aus einem Kern emittierten α -Teilchen eine einheitliche Energie besitzen, endet ihre Reichweite abrupt.

Wie kann man α -Strahlung abschirmen?

α -Strahlung kann je nach Energie schon durch dünnste Folien z.B. **Papier** abgeschirmt werden, die Hornschicht der Haut können α -Teilchen nicht durchdringen. Daher sind sie über die direkte Einstrahlung für den Menschen ungefährlich. Bei **Ingestion und Inhalation** sind sie allerdings sehr **gefährlich**, weil die Energiedeposition der Strahlung an lebenden Zellen abgegeben wird.

Strahlung	Reichweite	Abschirmung
α -Teilchen	bis 5 cm	Papier, Karton

β -Strahlung:

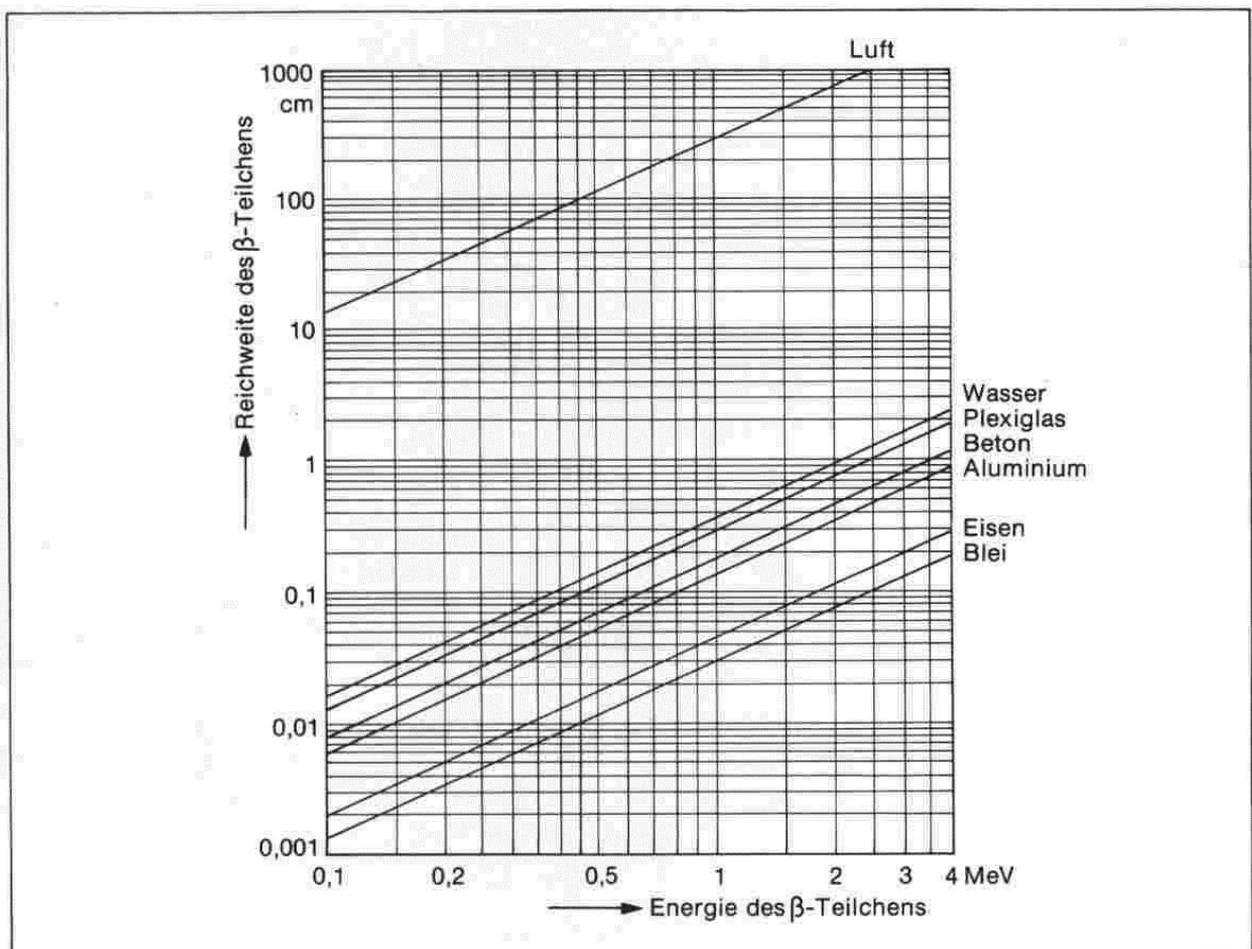
Was ist β -Strahlung?

β -Strahlung ist wie die α -Strahlung eine **Teilchenstrahlung** oder auch **korpuskulare Strahlung** genannt. β -Teilchen sind aus zerfallenden Kernen emittierte Elektronen. Entlang des zurückgelegten Weges in Luft tritt Ionisation auf und die kinetische Energie der β -Teilchen wird abgebaut. Ihre Reichweite ist daher endlich. Da die Energie der β -Teilchen ein kontinuierliches Spektrum aufweist, ist die Abnahme der Strahlenintensität als Funktion des Abstands zur Quelle ebenfalls kontinuierlich. Das quadratische Abstandsgesetz gilt bei β -Strahlung nicht! Die Reichweite der β -Strahlung kann je nach Energie bis **8 Meter** weit sein.

Wie kann man β -Strahlung abschirmen?

Man kann die β -Strahlung mit **1 cm Glas oder Plexiglas** oder **5 mm Aluminium** vollständig abschirmen. Die Hornschicht der Haut können energiereiche β -Teilchen mühelos durchdringen und die darunterliegende **Keimschicht der Haut schädigen**. Deshalb können bei einer hohen β -Dosis **Hautverbrennungen** auftreten. Tief in den Körper eindringen können β -Teilchen aber nicht und deshalb können sie auch keine direkten Organschäden verursachen.

Anhand der nachfolgenden Tabelle kann die **maximale Reichweite** von β -Teilchen als Funktion der Energie abgelesen werden.



Als Abschirmmaterial für β -Strahlen eignen sich Elemente mit einer **niedrigen Ordnungszahl** z.B. Plexiglas mit $Z=6$. Dies weil bei höheren Aktivitäten und einem Absorber mit hoher Ordnungszahl eine nennenswerte Bremsstrahlungsdosisleistung entstehen würde. (Röntgenstrahlung).

Strahlung	Reichweite	Abschirmung
β -Teilchen	bis 8 Meter	0,5 cm Aluminium, 1 cm Plexiglas

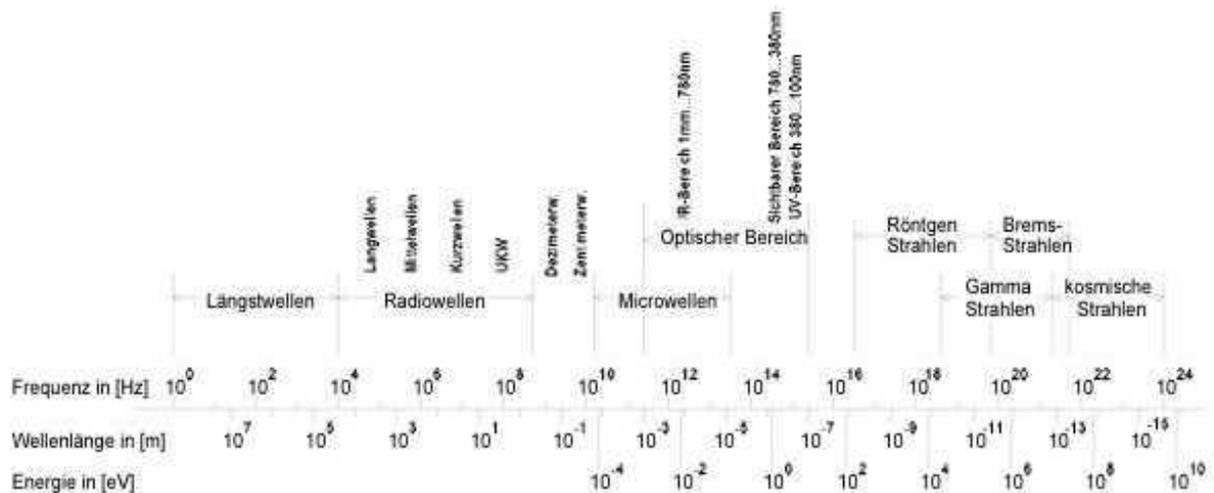
Will man nur eine Teilabschwächung der β -Strahlung erreichen, so kann man mit Hilfe des Flächengewichts und der Dichte des Absorbers die Abschwächung.

Photonenstrahlung und γ -Strahlung:

Was ist Photonenstrahlung?

Photonenstrahlung ist eine **Wellenstrahlung**. Sie hat damit eine **elektromagnetische Energie**. Ihre Wellenlänge reicht von 10^7 Metern bis 10^{-15} Meter. Die Energie der Photonenstrahlung ist von ihrer Wellenlänge abhängig. Das sichtbare Licht ist nur ein kleiner Bereich in diesem weiten Spektrum. Die Wellenlänge des sichtbaren Lichts bewegt sich zwischen 780 bis

380 nm. Die Energie liegt in diesem Bereich bei etwa 1 eV. Die Photonenstrahlung richtet sich nach dem **quadratischen Abstandsgesetz**.



Was ist γ -Strahlung?

γ -Strahlung ist ein Teilbereich der **Photonenstrahlung** mit kurzer Wellenlänge und somit hoher Energie. γ -Strahlung hat eine **Wellenlänge von 10^{-10} bis 10^{-13} m** was einer Energie von **10 keV bis 10 MeV** entspricht.

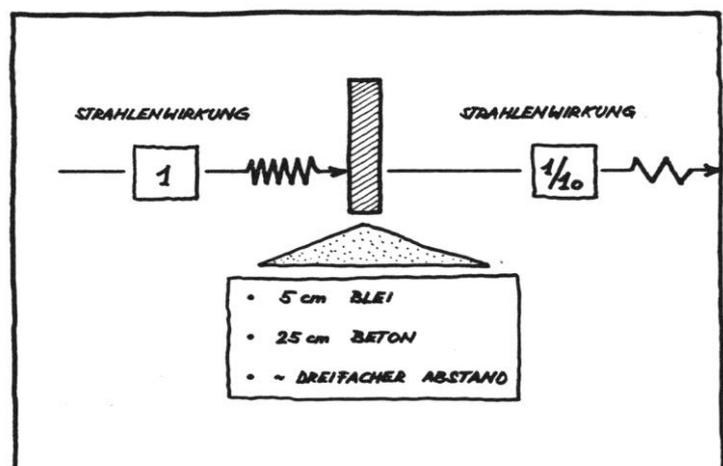
γ -Strahlung ist durchdringend. Sie kann tief in den Körper eindringen und Organe schädigen. Die γ -Strahlung ist hauptverantwortlich für die externe Strahlenbelastung.

Wie schirmt man γ -Strahlung ab?

γ -Strahlung kann man nicht vollständig abschirmen sondern nur abschwächen. Im Gegensatz zur β -Strahlung verwendet man zur Abschwächung der γ -Strahlung ein Element mit einer möglichst hohen Ordnungszahl z.B. **Blei** mit einem $Z=82$, so dass im Absorber durch den Comptoneffekt möglichst wenig Streustrahlung entsteht. γ -Teilchen reichen in Luft praktisch unendlich weit.

Was ist die Halb- oder Zehntelwertabschwächung?

Da man die γ -Strahlung nur abschwächen kann, hat man den Begriff Zehntelwertabschwächung **ZWS** oder Halbwertabschwächung **HWS** eingeführt.



Zehntelwertschicht:

Was ist das quadratische Abstandsgesetz?

Die Photonenstrahlung wird mit zunehmendem Abstand zur Quelle schwächer, und dies gemäss dem quadratischen Abstandsgesetz. (doppelter Abstand = 1/4 der Intensität, dreifacher Abstand = 1/9 der Intensität.

$$D2^\circ = D1^\circ * \left(\frac{r1}{r2}\right)^2 \quad r2 = r1 * \sqrt{\frac{D1^\circ}{D2^\circ}}$$

D1° = Dosisleistung in Abstand **r1** zur Quelle

D2° = Dosisleistung in Abstand **r2** zur Quelle

Was wählt man für einen Absorber?

Die Dicke des Absorbers welche zur entsprechenden Abschwächung führt hängt von der Energie der γ -Strahlung ab. Hier eine Tabelle der Zehntelwertschichten (**ZWS**) und der Halbwertschichten (**HWS**) als Funktion der Energie der wichtigsten Absorbermaterialien.

Energie MeV	Wasser		Normalbeton		Eisen		Blei		Uran	
	HWS (cm)	ZWS (cm)								
0,1	21	30	4,7	8,2	0,8	2,1	0,1	0,3	0,03	0,07
0,2	27	45	7,6	14,6	1,3	3,4	0,2	0,55	0,05	0,10
0,3	28	51	9,9	19,7	1,8	4,5	0,3	0,9	0,08	0,26
0,4	28	54	11,3	23,7	2,3	5,4	0,4	1,3	0,15	0,50
0,5	28	57	12,3	25,8	2,6	6,2	0,5	1,6	0,22	0,75
0,6	27	57	12,4	26,8	2,8	6,8	0,7	2,1	0,30	1,0
0,8	27	60	12,6	28,4	3,2	7,8	1,0	3,05	0,52	1,6
1,0	28	62	12,9	29,9	3,4	8,5	1,3	3,8	0,67	2,0
1,5	28	70	13,6	34,0	3,8	10,0	1,7	5,1	0,90	2,7
2,0	30	78	14,1	37,6	4,0	11,0	2,0	5,9	1,1	3,3
3,0	34	88	15,3	43,4	4,4	12,2	2,1	6,5	1,2	3,6
4,0	35	97	16,4	47,5	4,2	12,5	2,0	6,4	1,2	3,5
6,0	39	115	18,8	51,6	4,1	12,7	1,6	5,5	1,0	3,1
8,0	41	124	18,8	52,8	4,0	12,6	1,5	4,9	0,85	2,8
10,0	41	131	18,8	54,0	3,8	12,0	1,35	4,2	0,8	2,6

Wie berechnet sich die Dosisleistung nach der Installation einer Abschirmung?

Hat man einen vorgegebenen Absorber, so kann man die Dosisleistung mit Abschirmung wie folgt berechnen:

$$D^\circ(d) = \frac{D^\circ(0)}{\frac{d}{10^{\text{ZWS}}}}$$

$D^\circ(0)$ = Dosisleistung ohne Abschirmung [$\mu\text{Sv/h}$]

$D^\circ(d)$ = Dosisleistung mit Abschirmung [$\mu\text{Sv/h}$]

d = Absorberdicke [**cm**]

ZWS = Zehntelwert-Schichtdicke [**cm**]

Wie berechnet sich die Absorberdicke?

Die Absorberdicke für eine gewünschte Reduktion der Dosisleistung lässt wie folgt berechnen:

$$d = \log\left(\frac{D^\circ(0)}{D^\circ(d)}\right) * \text{ZWS}$$

Strahlung	Reichweite	Abschirmung
γ -Teilchen (Photonen)	unendlich	Material mit hoher Ordnungszahl z.B. Blei

Was haben wir über die Strahlenquellen gelernt?

- Die **Aktivität** einer Strahlenquelle hängt von der Anzahl der in einer Sekunde zerfallenden radioaktiven Kerne ab. Man gibt die Aktivität einer radioaktiven Quelle in Becquerel (Bq) an.



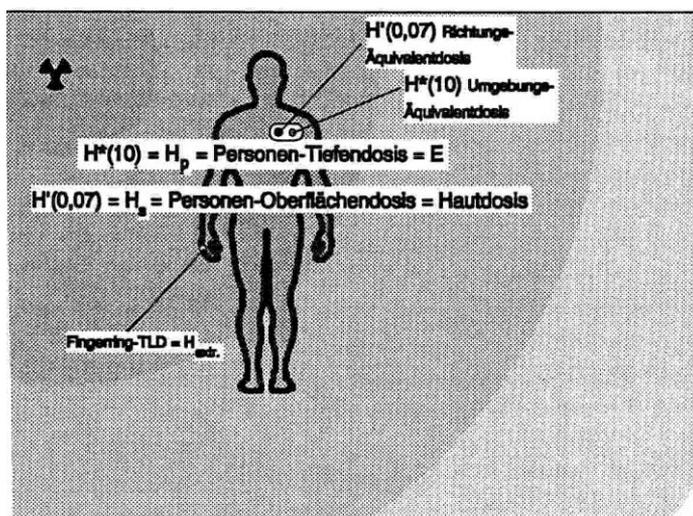
- Die **Energie** einer radioaktiven Quelle wird in *Elektronenvolt* [eV] angegeben. Ein Elektronenvolt ist die Energie, die der kinetischen Energie eines Teilchens mit der Ladung $1e$ (Elementarladung) entspricht, wenn es im Vakuum eine Beschleunigungsspannung von 1 Volt durchläuft.
- α -Teilchen** reichen in Luft nur einige cm weit. Abschirmen kann man sie mit Papier. Als direkt einstrahlende Quelle sind sie für den Menschen ungefährlich, infolge Inkorporation hingegen sind sie wegen ihrer hohen Energie und der Entfaltung auf lebende Zellen des Körpers sehr wohl gefährlich.
- β -Teilchen** reichen in Luft einige Meter weit. Abschirmen kann man sie mit Alu oder Plexiglas. Als direkt einstrahlende Quelle sind sie vor allem für die Haut gefährlich, insbesondere in kurzer Distanz zur Quelle.
- γ -Teilchen** reichen in Luft praktisch unendlich weit. Ihre Reichweite ist durch das quadratische Abstandsgesetz gegeben. Man kann sie nicht abschirmen sondern nur

abschwächen. Dazu verwendet man am besten Blei. Sie ist durchdringend und kann die Organe schädigen.

Dosimetrische Überwachung

Im Radioaktivitätspraktikum ist es **Vorschrift**, unsere **roten Hausdosimeter** zu tragen. Die Dosimeter enthalten zwei **TLD's** (Thermolumineszenz-Dosimeter). Dabei handelt es sich um kleine Lithium Fluorid Kristalle. Es wird je ein Kristall für **β -Strahlen** und einer für **γ -Strahlen** eingesetzt. Der Kristall für β -Strahlung befindet sich hinter einer 0,07mm dicken PVC-Schicht, welche die Haut simuliert. Der Kristall für γ -Strahlen befindet sich hinter einer Aluminiumschicht welche die 10mm dicke gewebeäquivalente Schicht simuliert, so dass bei den gemessenen Dosen auf die Haut bez. effektive Dosis geschlossen werden kann. Man nimmt an, dass der Mensch mit seinem ganzen Körper in einem homogenen Strahlenfeld steht.

Daher wird die effektive Dosis mit der Tiefendosis H_p gleichgesetzt.



Die Auswertung der TLD's erfolgt mit einem hauseigenen Gerät. In den Kristallen fallen die durch Strahlungsenergie angeregten Elektronen nicht sofort wieder ins Valenzband zurück sondern werden im verbotenen Band gefangen gehalten (trapped electrons). Erst durch Erhitzen auf Temperaturen von 200 bis 400°C kehren sie, unter Aussendung von Licht wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück. Die Lichtmenge ist proportional zur Dosis mit der die Kristalle bestrahlt worden

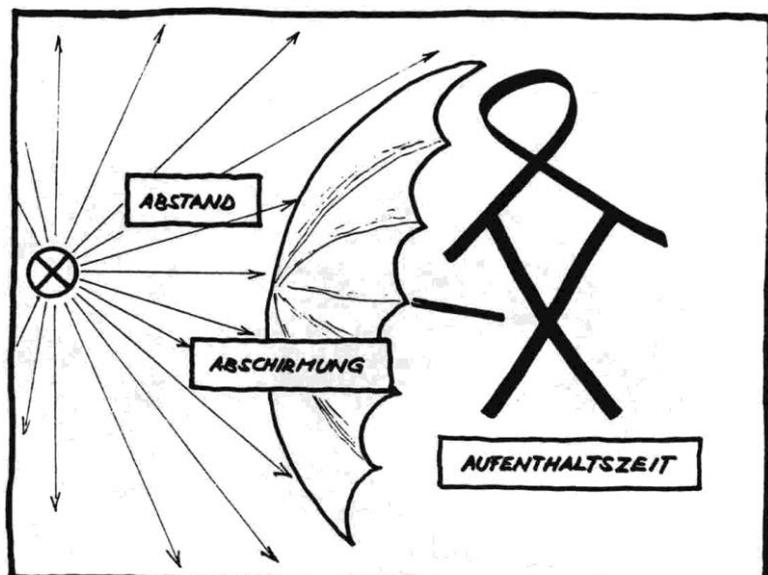
sind. Die Lichtblitze werden mit einem Photoszintillator gezählt. Die **Nachweisgrenze** liegt bei etwa **0.01 mSv**.

Die 4-A-Regel des Strahlenschutzes

Arbeitet man mit radioaktiven Quellen, so gelten grundsätzlich die Regeln des Strahlenschutzes:

Abstand, Abschirmung und Aufenthaltszeit

Arbeitet man mit offenen Quellen, so gilt **zusätzlich** wegen der Inkorporationsgefahr noch die Regel **Atemschutz**. Deshalb immer unter einem Abzug arbeiten!



Berechnung verschiedener Dosen und Dosisleistungen

Die **Strahlenschutzverordnung (StSV)** hat in ihrem **Anhang 3** eine Tabelle mit *Daten für den operationellen Strahlenschutz*. Sie enthält alle relevanten Radionuklide und in den Kolonnen finden sich Angaben zur Berechnung verschiedener Grössen.



- Die Kolonne **h10** erlaubt die Berechnung von Dosen und Dosisleistungen in einem definierten Abstand zu einer **bekanntem γ -Quelle** mit bekannter Aktivität.
- Die Kolonne **h0,07** erlaubt die Berechnung von Dosen und Dosisleistungen im Abstand von 10cm zu einer **bekanntem β -Quelle** mit bekannter Aktivität.
- Die Kolonne **hc0,07** erlaubt die Berechnung von **Kontaminationen** mit einer bekannten **offenen Strahlenquelle** (Pulver oder Flüssigkeit die verschüttet wurde).

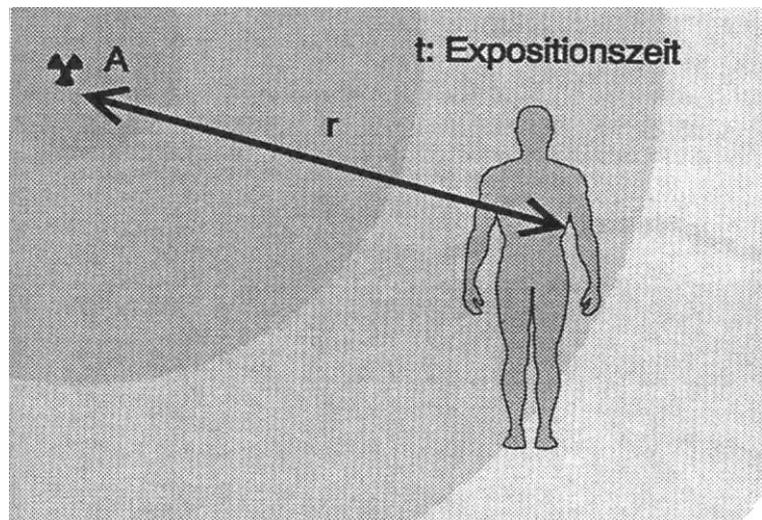
Es gibt noch weitere Kolonnen zur Berechnung von Freigrenzen, Bewilligungsgrenzen und Richtwerte, die wir in diesem Kurs nicht behandeln werden. Es sind Grössen für den Umgang mit offenen radioaktiven Quellen im Strahlenlabor, die in der Forschung oder Produktion Verwendung finden.

Wie berechnet sich die Dosis aus γ -Strahlung einer bekannten Quelle?

Röntgen und γ -Strahlen dringen tief ins Gewebe ein, deshalb wird die Dosis in **10 mm** Tiefe bestimmt. γ -Strahlung richtet sich nach dem quadratischen Abstandsgesetz.

$$H_p^{\circ} = A * h_{10} * \left(\frac{1\text{m}}{r}\right)^2$$

$$H_p = A * t * h_{10} * \left(\frac{1\text{m}}{r}\right)^2$$



- H_p°** = Äquivalentdosisleistung **H penetrating** in [mSv/h]
 H_p = Äquivalentdosis **H penetrating** in [mSv]
A = Aktivität in [GBq]
t = Zeit in Stunden [h]
h10 = Tiefendosis in [(mSv/h)/GBq] (Strahlenschutzverordnung Anhang 3)
r = Abstand von der Strahlenquelle in **Meter [m]**

Bsp:

Eine **Co-60** Quelle hat eine Aktivität von **5 MBq** und man hält sich **zwei Stunden** lang in einem Abstand von **0,5 Meter** auf. Wie gross ist die Äquivalentdosis **Hp**?

$$H_p = 0,005 \text{ GBq} * 2 \text{ h} * 0,366 \text{ mSv/h} * \left(\frac{1 \text{ m}}{0,5 \text{ m}} \right)^2 = \underline{0,0146 \text{ mSv}}$$

Berechnung der Aktivität aus einer gemessenen Dosis oder Dosisleistung:

Will man die Aktivität aus einer Dosis oder Dosisleistung berechnen, so formt man die Formel für H_p um:

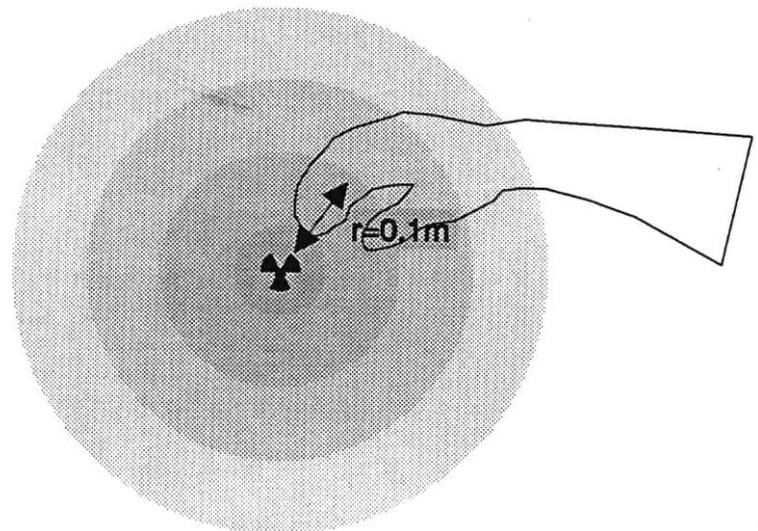
$$A = \frac{H_p}{t} * \frac{1}{h_{10}} * \left(\frac{r}{1 \text{ m}} \right)^2 = H_p^\circ * \frac{1}{h_{10}} * \left(\frac{r}{1 \text{ m}} \right)^2$$

Wie berechnet ich die Dosis aus der β -Strahlung einer bekannten Quelle?

Die β -Strahlen durchdringen die Haut kaum, die Dosisleistung wird deshalb in **0,07 mm** Gewebetiefe angenommen (unter der Hornschicht der Haut). Entsprechend nennt man diese Dosis **Oberflächendosis** oder **Hautdosis**.

$$H_s^\circ = A * h_{0,07}$$

$$H_p = a * t * h_{0,07}$$



H_s° = Äquivalentdosisleistung H surface in [mSv/h]

H_s = Äquivalentdosis H surface in [mSv]

A = Aktivität in [GBq]

t = Zeit [h] in Stunden

$h_{0,07}$ = Oberflächendosis in [(mSv/h)/GBq] (Strahlenschutzverordnung Anhang 3)

β -Strahlung breitet sich **nicht** nach dem quadratischen Abstandsgesetz aus, folglich ist der Abstand in der Formel nicht enthalten. Der Abstand wird in der Formel mit **10 cm** angenommen.

Bei Quellen, die β und γ -Strahlen aussenden, überwiegt in kurzen Entfernungen der Dosisanteil aus der β -Strahlung, der Anteil aus γ -Strahlung ist um bis zu zwei Größenordnungen kleiner.

Bsp:

Jemand hält sich eine halbe Stunde lang in der Nähe (10 cm) einer C-14 Quelle auf, welche eine Aktivität von 100 MBq hat. Wie hoch fällt die Hautdosis aus?

$$H_s = A * t * h_{0,07} = 0,1 \text{ GBq} * 0,5 \text{ h} * 200 \text{ (mSv/h)/GBq} = \underline{10 \text{ mSv}}$$

Anderer Abstand als 10 cm:

Ist der Abstand aber **nicht 10 cm**, so kann man eine Korrektur vornehmen, die jedoch nicht sehr präzise ist.

$$H_s = A * t * h_{0,07} * \left(\frac{0,1\text{m}}{r} \right)^2$$

r = Abstand in Meter [m]

Die Berechnung erfolgt nur bis zur maximalen Reichweite der nuklidspezifischen β -Strahlung.

Kontamination

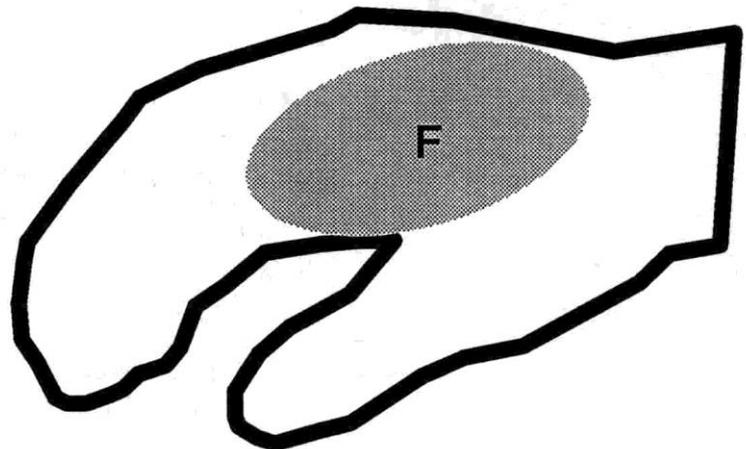
Wird mit offenen Strahlenquellen (Pulver oder Flüssigkeiten) hantiert, so besteht die Gefahr, dass sich radioaktive Stoffe unkontrolliert ausbreiten. Dabei spricht man von Kontamination.

α - und weiche β -Strahlen, die nicht **0,07mm** in die Haut eindringen, verursachen keine **Hs-Dosis**, sie sind aber dennoch nicht völlig harmlos (Inkorporationsgefahr).

Die Aktivität **A** pro Fläche **F** wird Oberflächenkontamination A/F genannt. Sie verursacht in der **0,07mm** darunterliegenden Hautschicht eine Äquivalentdosis von:

$$H_s^o = \frac{A}{F} * h_{C0,07}$$

$$H_s = \frac{A}{F} * t * h_{C0,07}$$



- Hs°** = Kontaminations-Äquivalentdosisleistung in [**mSv/h**]
Hs = Kontaminations-Äquivalentdosis in [**mSv**]
A = Aktivität in [**kBq**]
F = Fläche in [**cm²**]
t = Zeit in Stunden [**h**]
hc0,07 = Kontaminationsfaktor in [**mSv/h / kBq/cm²**] (StSV Anhang 3)

Bsp:

Jemand trägt auf der Handfläche eine Kontamination von 1 MBq P-32 während 2 Stunden mit sich. Wie hoch ist die resultierende Äquivalentdosis?

(Eine Handfläche hat eine Fläche von ca. 100 cm²)

$$H_s = \frac{A}{F} * t * hc_{0,07} = H_s = \frac{1000kBq}{100cm^2} * 2h * 1,6 \frac{mSv/h}{kBq/cm^2} = \underline{32 mSv}$$