



---

# **Medizinphysik I**

## **Repetitorium**

**Dr. R. Mini**

## Medizinphysik I & II

**Bücher:**           **Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz**  
                          **H. Krieger**  
                          **B.G. Teubner Verlag, Stuttgart**  
                          **ISBN 3-519-33052-0 (1998)**

**Grundlagen der Strahlenphysik und des Strahlenschutzes**  
**H. Krieger**  
**Teuber Verlag, Stuttgart**  
**ISBN 3-519-00487-9**

**Dosimetrie ionisierender Strahlung**  
**H. Reich**  
**B.G. Teubner Verlag, Stuttgart**  
**ISBN 3-519-03067-5 (1990)**

**Zu beziehen bei: POLY-Buchhandlung,**  
**ETH-Hönggerberg 8093 Zürich**





AMS- Vorlesungs-Unterlagen - Microsoft Internet Explorer

Adresse [http://www.ams.unibe.ch/AMS-online/lehre/mat\\_eth1.htm](http://www.ams.unibe.ch/AMS-online/lehre/mat_eth1.htm)

**AMS Info** **FORSCHUNG ENTWICKLUNG** **LEHRE** **STRAHLEN-THERAPIE** **STRAHLEN-SCHUTZ** **Links AMS**

**ABTEILUNG FÜR MEDIZINISCHE STRAHLENPHYSIK INSELSPITAL BERN**

**VERANSTALTUNGEN**

**VORLESUNGEN**

**VORLESUNGS-UNTERLAGEN**  
 ETH MEDIZINPHYSIK I  
 ETH MEDIZINPHYSIK II  
 ZAHNMEDIZIN

## Vorlesungs-Unterlagen

### Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETHZ

Studiengang **Medizinische Physik I** (Powerpointvorträge > PDF) Dr. R. Mini

▶ 1a. Einführung	<a href="#">PDF 2.0 MB</a>
▶ 1b. Begriffe der Tumorthherapie	<a href="#">PDF 3.0 MB</a>
▶ 2a. Strahlungen	<a href="#">PDF 2.1 MB</a>
▶ 2b. Das Atom	<a href="#">PDF 2.5 MB</a>
▶ 3a. Photonen	<a href="#">PDF 2.9 MB</a>
▶ 4a. Photonenabsorption	<a href="#">PDF 2.7 MB</a>
▶ 5a. Elektronen	<a href="#">PDF 1.6 MB</a>
▶ 6a. Strahlendosimetrie	<a href="#">PDF 1.9 MB</a>
▶ 7a. Röntgenstrahlung	<a href="#">PDF 4.4 MB</a>
▶ 8a. Dosisabschätzung	<a href="#">PDF 8.6 MB</a>
▶ 9a. Perkutane Therapie	<a href="#">PDF 3.8 MB</a>
▶ 9b. Übungen zu perkutane Therapie	<a href="#">PDF 2.9 MB</a>
▶ 10a. Beschleuniger Photonen	<a href="#">PDF 4.4 MB</a>
▶ 10b. Übungen zu Beschleuniger Photonen	<a href="#">PDF 3.2 MB</a>
▶ 11a. Absolutdosimetrie Photonen	<a href="#">PDF 4.7 MB</a>
▶ 12a. Relativedosimetrie Photonen	<a href="#">PDF 3.5 MB</a>

Start | AMS- Vorlesungs-Unt... | blank - Microsoft Inte... | Microsoft PowerPoint ... | DE | 14:51



## Medizinphysik I

### Inhalt:

- Strahlenexpositionen im Alltag
- Grundlagen der Strahlenphysik
  - Strahlung
  - Atome
  - Wechselwirkungen
  - Absorptionsverhalten
- Grundbegriffe der Dosimetrie
- Prinzipien der Röntgentechnik
- Therapeutische Beschleunigeranlagen
  - Aufbau
  - Funktionsweise
- Radioaktive Quellen
  - Aufbau, Beschreibung
  - Erzeugung





# 1) Strahlenphysik I

## Strahlung

Unter Strahlung versteht man einen ungebundenen kontinuierlichen Energietransport durch Strahlungsquanten oder Teilchen.

## Strahlenwirkungen

Trifft ein Strahlungsfeld auf Materie, so kommt es zur Wechselwirkung (WW) zwischen Strahlungsfeld und bestrahlter Materie. Dies ist im Allgemeinen mit einem Übertrag von Strahlungsenergie auf die Materie (Absorber) verbunden.

Im Falle ionisierender Strahlung resultieren hieraus in der Materie angeregte und ionisierte Atome (primäre Strahlenwirkung)



## Einteilungen von Strahlungen

- Photonenstrahlungen
- Teilchenstrahlungen
- Ionisierende Strahlungen
- nicht ionisierende Strahlungen
- direkt ionisierende Strahlungen
- indirekt ionisierende Strahlungen







## 2) Photonen-Wechselwirkungen

## Wechselwirkung ionisierender Photonenstrahlungen mit Materie

Da Photonen keine elektrische Ladung tragen, ist die Wahrscheinlichkeit für eine Wechselwirkung mit Materie wesentlich kleiner als für geladene Teilchen. Die Photonenstrahlung kann deshalb sehr durchdringend sein (Strahlenschutz). Andererseits ermöglicht die Photonenstrahlung gerade wegen der geringen Schwächung die perkutane Bestrahlung von tiefliegenden Tumoren.



# Wechselwirkung ionisierender Photonenstrahlungen mit Materie

## Photonenwechselwirkungen mit Atomhüllen

- klassische Streuung
- Photoeffekt
- Comptoneffekt (inkohärente Streuung)

## Photonenwechselwirkung im el.mag. Feld von Atomkernen

- Paarbildung

## Photonenwechselwirkungen mit Atomkernen

- Kernphotoeffekt



## Schlussfolgerungen

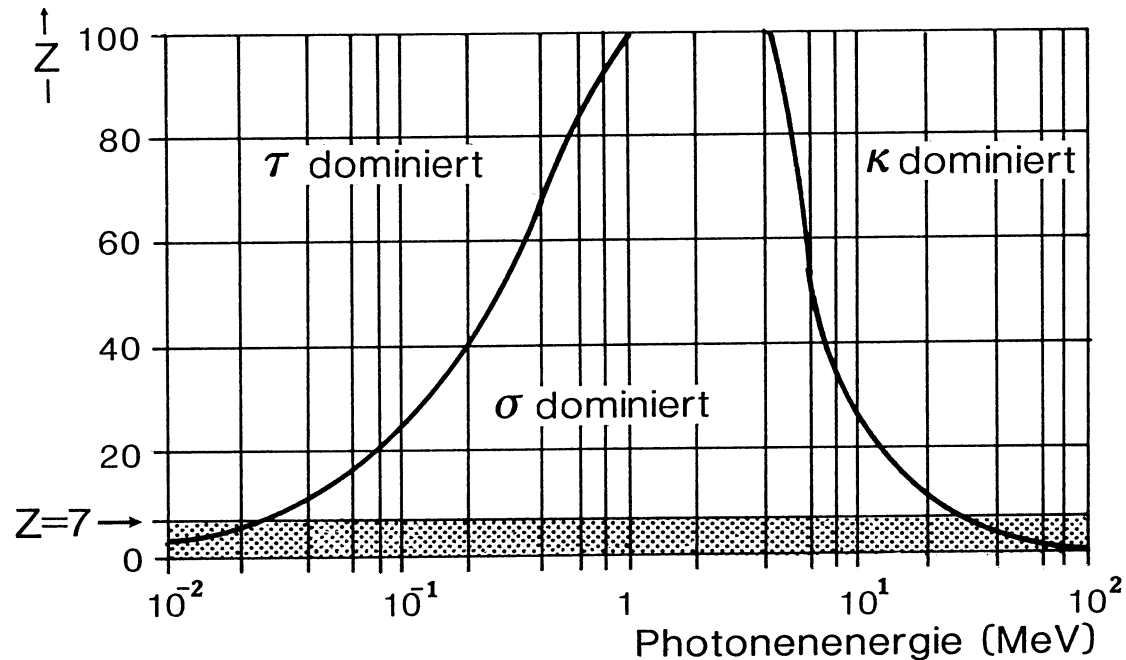


Fig. 4.12: Flächendiagramm der wichtigsten relativen Anteile der Photonen-Wechselwirkungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Photonenenergie und der Ordnungszahl des Absorbers (nach [Evans 1968]). Punktiert: Gewebe und Phantommaterialien. Die geschwungenen Linien zeigen die Bereiche von Ordnungszahl und Energie, in denen jeweils angrenzende Effekte (Photo- und Comptoneffekt bzw. Comptoneffekt und Paarbildung) gleich wahrscheinlich sind.

# Schlussfolgerungen

Wechselwirkung	$f(Z,A)$	$f(E_\gamma)$	Sekundärstrahlungen
Photoeffekt	$Z^4/A$ bis $Z^5/A$	$1/E^3$ ( $E \ll 511 \text{ keV}$ ) $1/E$ ( $E \gg 511 \text{ keV}$ )	$e^-$ , Röntgenstrl., Auger-e
Comptoneffekt	$Z/A$	$1/E^{0.5}$ bis $1/E$	$\gamma$ , $e^-$
klass. Streuung	$Z^{2.5}/A$	$1/E^2$	$\gamma$
Paarbildung	$Z^2/A$	$\log E_\gamma$ ( $E_\gamma > 1022 \text{ keV}$ )	$e^-$ , $e^+$
Kernphotoeffekt	Riesenresonanz	$E_\gamma > E_{\text{schwelle}}$	n, p, (Spaltung), $\gamma$

Tab. 4.2: Näherungsweise Abhängigkeiten der Photonen-Wechselwirkungskoeffizienten von Photonenenergie, Ordnungszahl und Massenzahl des Absorbers.

## Photonen-Wechselwirkung

Die Schwächung eines Photonenstrahlenbündels kann durch Streuung oder Absorption der primären Photonen stattfinden.

Streuung findet bei niedrigen Photoenergien vor allem in Form klassischer Streuungen statt, bei höheren Energien wird bevorzugt über den Comptoneffekt gestreut.

Absorption von Photonenenergie wird durch den Photoeffekt und die Paarbildung verursacht. Die Schwelle für den Photoeffekt ist die Bindungsenergie der inneren Hüllenelektronen, für die Paarbildung das Massen-Energie-Äquivalent des Elektron-Positron-Paares (1022 keV).



## Photonen-Wechselwirkung

Für bestimmte Ordnungszahl- und Energiebereiche gibt es dominierende Wechselwirkungen. Für hohe Ordnungszahlen überwiegt bei niedrigen Energien der Photoeffekt, bei hohen Photonenenergien die Paarbildung. Bei Energien zwischen 1 bis 5 MeV dominiert bei allen Ordnungszahlen die Comptonwechselwirkung.

Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung sind also die in der medizinischen Radiologie und im Strahlenschutz wesentlichen Photonen-Wechselwirkungsprozesse.

Die grössten Beiträge zur Energiedosis in menschlichem Gewebe und damit zu den biologischen Strahlenwirkungen liefern die Compton-elektronen nach einem Comptoneffekt.





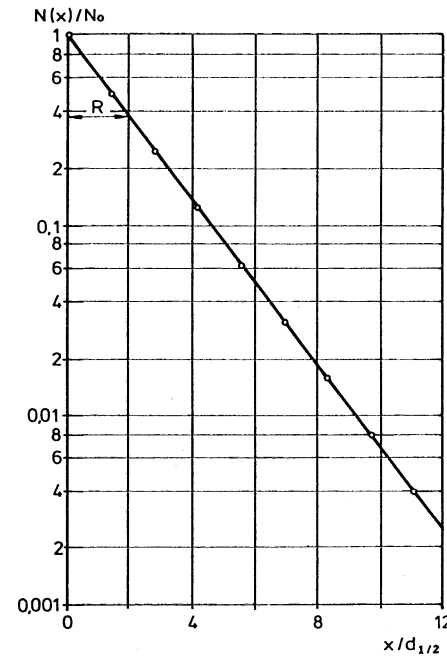
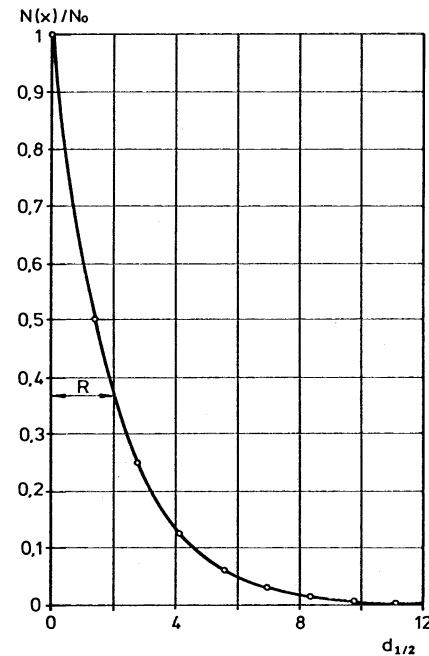
### 3) Photonen-Absorption



# Schwächung des schmale homogenen Photonenstrahles

$$dN = -\mu \cdot N \cdot dx$$

$$N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$



## Schwächung des Photonenstrahles

$$N(x) = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

- Halbwertschichtdicke  $d_{1/2}$

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

- Zehntelwertdicke  $d_{1/10}$

$$d_{1/10} = \frac{\ln 10}{\mu} \approx \frac{2.303}{\mu}$$

- mittlere freie Weglänge  $R$

$$R = \frac{\int_{x=0}^{\infty} x \cdot dN(x)}{\int_{x=0}^{\infty} dN(x)} = \frac{\int_{x=0}^{\infty} -x \cdot \mu \cdot N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \cdot dx}{\int_{x=0}^{\infty} -\mu \cdot N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x} \cdot dx} = \frac{1}{\mu}$$

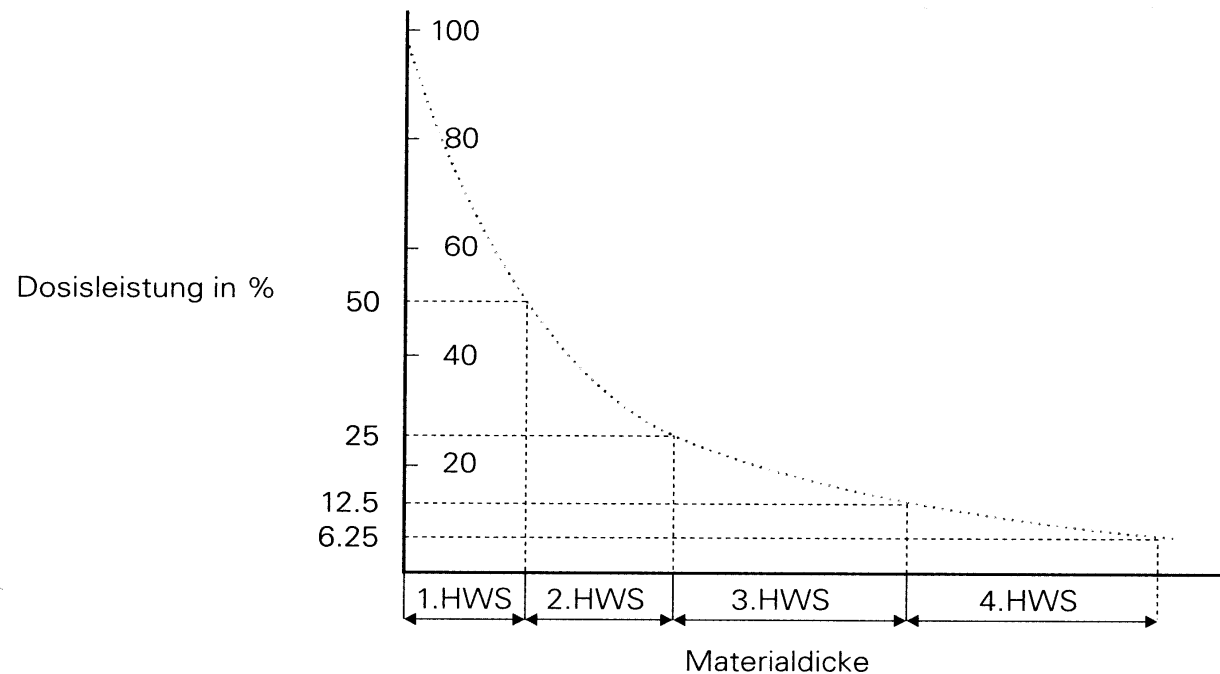


## Aufhärtung – Filterung des heterogenen Photonenstrahls

Wegen der grossen Werte der Schwächungskoeffizienten bei kleinen Photonenenergien werden beim Durchdringen der Materie vor allem die niederenergetischen Strahlungsanteile des Photonenspektrums herausgefiltert. Dadurch ändert sich die spektrale Zusammensetzung eines heterogenen Photonenspektrums mit der Tiefe im Absorber; das heisst, das Strahlenbündel wird „aufgehärtet“, die mittlere Energie und damit die Durchdringungsfähigkeit nimmt zu.



## Schwächungskurven heterogener Photonenstrahlungen



Schwächungskurve für heterogene Röntgenstrahlen

## Homogenitätsgrad H

$$H = \frac{d_{1/2}^1}{d_{1/2}^2} \leq 1$$



# Energieumwandlung von Photonenstrahlung in Materie

Linearer Energieumwandlungskoeffizient  $\mu_{tr}$

$$\mu_{tr} = \frac{\overline{E}_{tr}}{E_{\gamma}} \cdot \mu$$

$E_{tr}$  : Energieübertrag durch WW

$$\mu_{tr} = t_{\tau} \cdot \tau + t_c \cdot \sigma_c + t_{paar} \cdot \kappa_{paar} + t_{tripl} \cdot \kappa_{tripl} + (t_{kp} \cdot \sigma_{kp})$$

$t_i$ : Transfer-Faktoren



## Transfer-Faktoren $t_i$

Photoeffekt

$$t_{\tau} = \frac{E_{\gamma} - E_b}{E_{\gamma}} = 1 - \frac{E_b}{E_{\gamma}}$$

Comptoneffekt

$$t_c = \frac{E_{\gamma} - E_b - E'_{\gamma m}}{E_{\gamma}}$$

Paarbildung

$$t_{\text{paar}} = \frac{E_{\gamma} - 2 \cdot 511 \text{keV}}{E_{\gamma}} = 1 - \frac{2 \cdot m_0 \cdot c^2}{E_{\gamma}}$$



## Lokale Energiedeposition

Die lokale Energieabsorption aus dem Photonenstrahlenbündel im Absorber wird fast ausschliesslich durch die in der Materie entstehenden geladenen Sekundärteilchen (Elektronen) vermittelt. Die entstehenden Sekundärphotonen (Bremsstrahlung) transportieren dagegen ihre Energie vom primären Wirkungsort weg.

$$\mu_{\text{en}} = \mu_{\text{tr}} \cdot (1 - G)$$

$\mu_{\text{en}}$  : Energieabsorptionskoeffizient

$G$  : Bremsstrahlungsausbeute







## 4) Elektronen-Wechselwirkungen

## Elektronenwechselwirkungen

- **Unelastische Stöße mit Atomhüllen (Anregung)**
- **Unelastische Stöße mit Hüllenelektronen (Ionisation)**
- **Unelastische Streuung an Atomkernen (Bremsstrahlungserzeugung)**

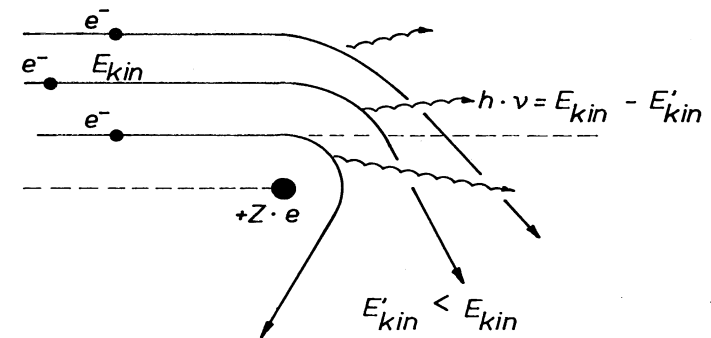


## Massenstossbremsvermögen $S_{\text{col}}$

$$\frac{S_{\text{col}}}{\rho} \propto \frac{Z}{A} \cdot \frac{m_e}{E} \quad \text{bzw.} \quad \frac{S_{\text{col}}}{\rho} \propto \frac{Z}{A} \cdot R$$

## Strahlungsbremsvermögen $S_{\text{rad}}$

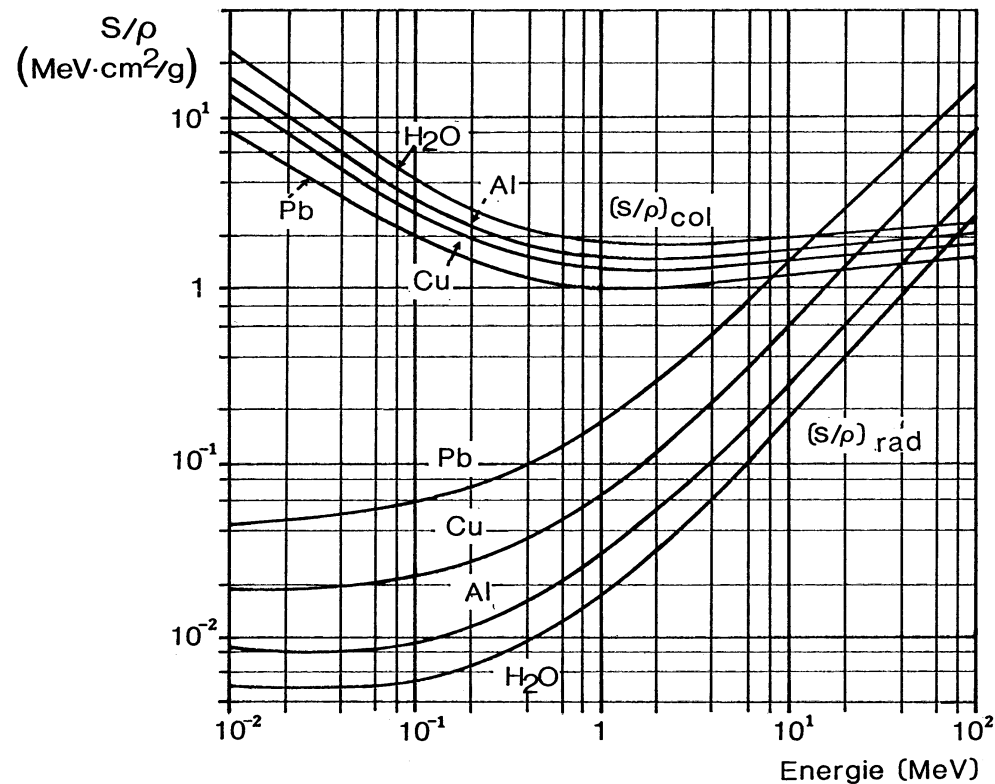
$$S_{\text{rad}} = \left( \frac{dE}{dx} \right)_{\text{rad}} \propto \rho \cdot \left( \frac{e}{m} \right)^2 \cdot Z^2 \cdot E$$



: Entstehung elektromagnetischer Strahlung bei der Strahlungsbremung von Elektronen im elektrischen Feld eines Atomkernes der Ladung  $Z \cdot e$ . Die Differenz der kinetischen Elektronenenergien vor und nach der Ablenkung wird in Form sogenannter Bremsstrahlung ( $h \cdot \nu$ ) emittiert. Der Energieverlust der Elektronen hängt vom Stoßparameter der einlaufenden Elektronen ab. Die wichtigste Anwendung dieser Art von Strahlungsbremung ist die Erzeugung von Bremsstrahlung in der Röntgenröhre.

# Totales Massenbremsvermögen

$$\left(\frac{S}{\rho}\right)_{\text{tot}} = \left(\frac{S}{\rho}\right)_{\text{col}} + \left(\frac{S}{\rho}\right)_{\text{rad}}$$

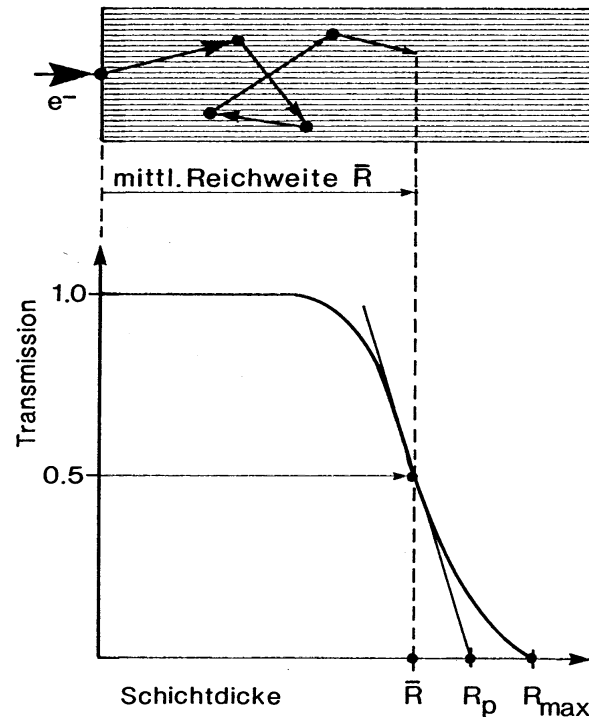




## 5) Elektronen-Absorption

# Bahnlänge L und Reichweite R von monoenergetischen Elektronen

$$L = \int_{x=0}^R dx = \int_{dE=0}^{E_0} (dE / dx)_{\text{tot}}^{-1} dE = \int_{dE=0}^{E_0} \frac{1}{S_{\text{tot}}} dE$$



## $\beta$ -Strahlungen : Energiespektrum

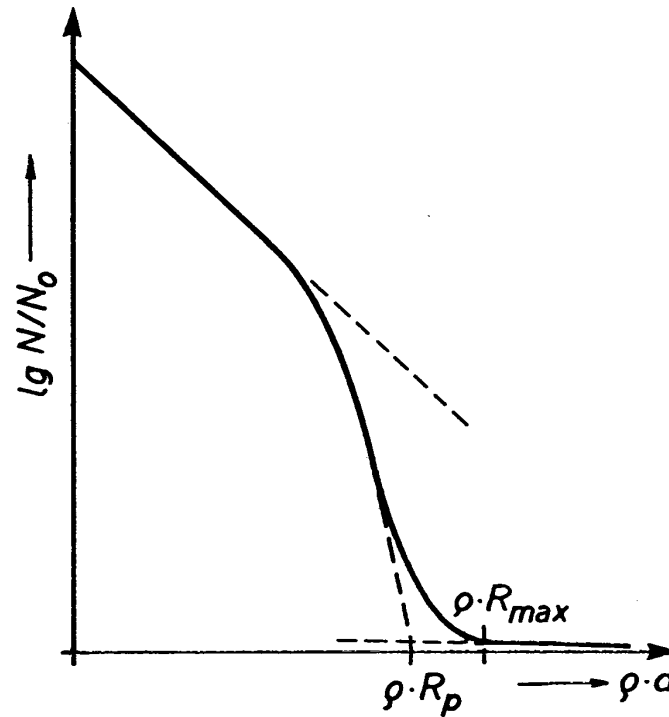
$$\bar{E}_{\beta} = \frac{\int_0^{E_{\max}} E \cdot N(E) \cdot dE}{\int_0^{E_{\max}} N(E) \cdot dE}$$

wobei

$$\bar{E}_{\beta} \approx \frac{1}{3} \cdot E_{\beta, \max}$$



## Transmission von Betastrahlen



Schematische Darstellung der Transmission





## 6) Strahlendosimetrie

## Messung der primären physikalischen Strahlenwirkung

### Anregung und Ionisation von Atomen



## Aufgaben der klinischen Dosimetrie

Zentrale Aufgabe der klinischen Dosimetrie ist die Messung der pro Massenelement im Patienten absorbierten Energie der applizierten Strahlung, der Energiedosis  $D$ . Diese ist ein Mass für die primäre Strahlenwirkung in Materie (Anregung und Ionisation der Atome) und bestimmt bei therapeutischen Dosen weitgehend die nach einer Strahlenexposition zu erwartende biologischen Wirkungen.

Die klinische Dosimetrie ist ein Teilbereich der angewandten Physik.



## Messung der primären Strahlenwirkung in beliebigen Medien

Indirekte Ermittlung der primären physikalischen Wirkung  
ionisierender Strahlungen

Anzahl Anregungen und Ionisationen  
pro Masse Medium

in beliebigen Medien anhand der

Energiedosis (Gy)



## Dosisgrößen der klinischen Dosimetrie

### Energiedosis D

$$D_{\text{med}} = \frac{dE_{\text{abs}}}{dm_{\text{med}}} = \frac{dE_{\text{abs}}}{\rho_{\text{med}} \cdot dV}$$

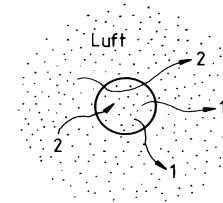
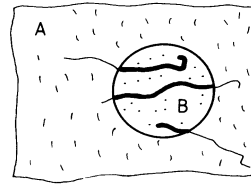
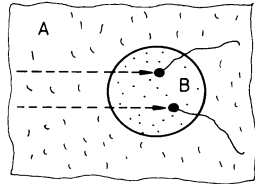
Die Energiedosis D ist der Erwartungswert der bei einer Strahlenexposition von einem Absorbermaterial lokal absorbierten Energie dE dividiert durch die Masse des bestrahlten Volumens  $dm = \rho \cdot dV$ .

Die SI-Einheit der Energiedosis D ist

$$[D] = \text{J/kg}, \text{ wobei } 1 \text{ J/kg} = 1 \text{ Gy}$$



## Dosimetrische Dosisgrössen



Kerma K

$$K = \frac{dE_{\text{tran}}}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE_{\text{tran}}}{dV}$$

Energiedosis D

$$D = \frac{dE_{\text{abs}}}{dm_a} = \frac{1}{\rho_a} \cdot \frac{dE_{\text{abs}}}{dV}$$

Ionendosis J

$$J = \frac{dQ}{dm_a} = \frac{1}{\rho_a} \cdot \frac{dQ}{dV}$$



## 7) Strahlenschutzdosimetrie

## Körperdosisgrößen $H_T$ und $E$

Die relative biologische Wirksamkeit RBW hängt ab:

- Expositionsintensität
- mikroskopische Ionisationsdichte
- Strahlenempfindlichkeit der Organe

Aus diesem Grunde reicht im Strahlenschutz die Erfassung der Energiedosis  $D$  nicht aus, um das Strahlenrisiko genügend genau Vorhersagen zu können.





## Linearer Energietransfer LET

Energie		Strahlentyp	LET <sub>100,D</sub>
1.2	MeV	<sup>60</sup> Co-Gammastrahlung	6.9
22	MeV	Röntgenstrahlung	6.0
2	MeV	Elektronen	6.1
5.3	MeV	α-Teilchen	63.0



## Organ-Äquivalentdosis $H_T$

Berücksichtigung der **mikroskopischen Ionisationsdichten**

Der Strahlungs-Wichtungsfaktor  $w_R$

$$H_T = w_R \cdot D_T$$



## Effektive Dosis E

Berücksichtigung der unterschiedlichen  
Strahlenempfindlichkeit der Gewebe T

Der relative Gewebe-Wichtungsfaktor  $w_T$

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

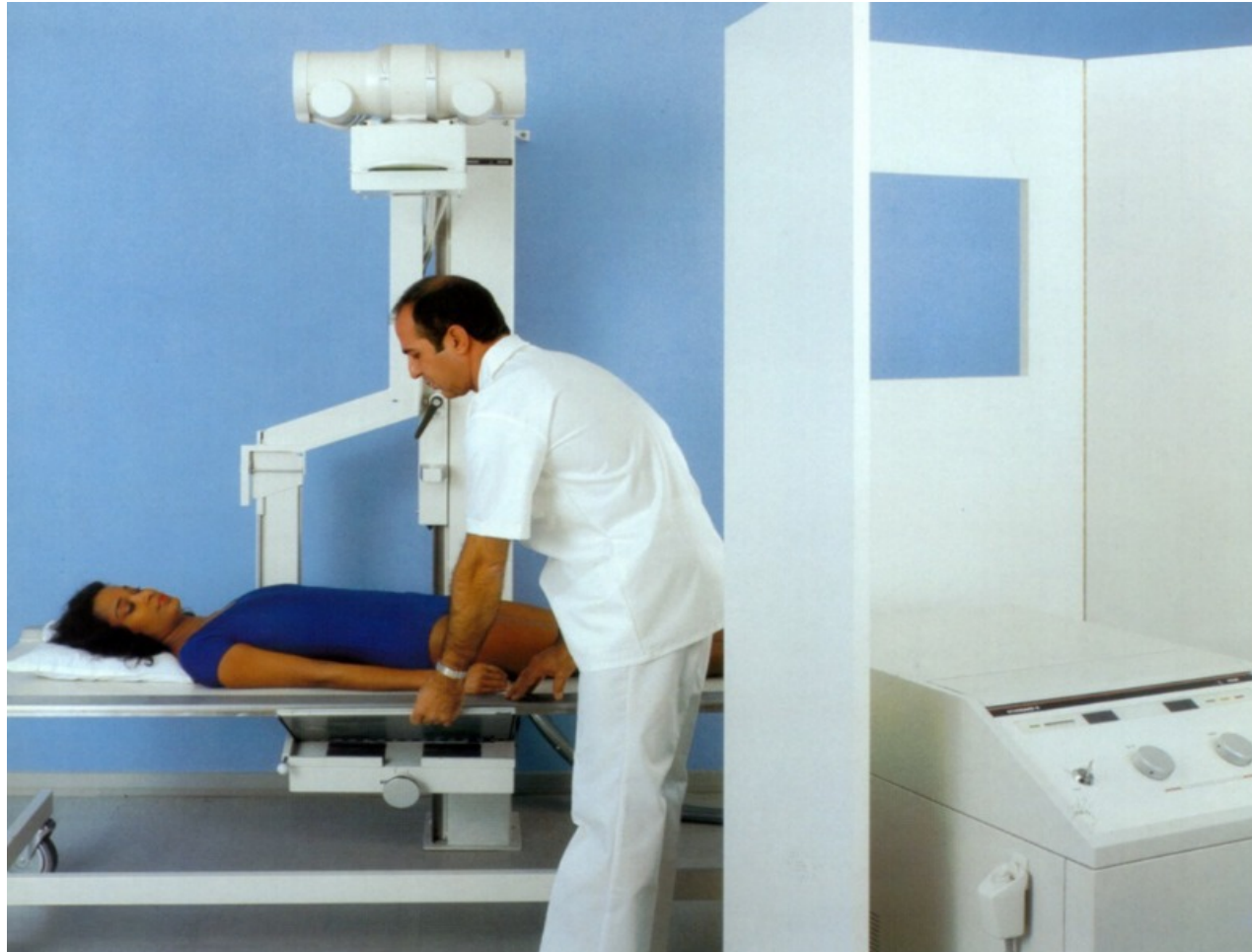
Die effektive Dosis E ist ein Mass für das integrale  
Gesamtrisiko einer Strahlenexposition am Menschen.



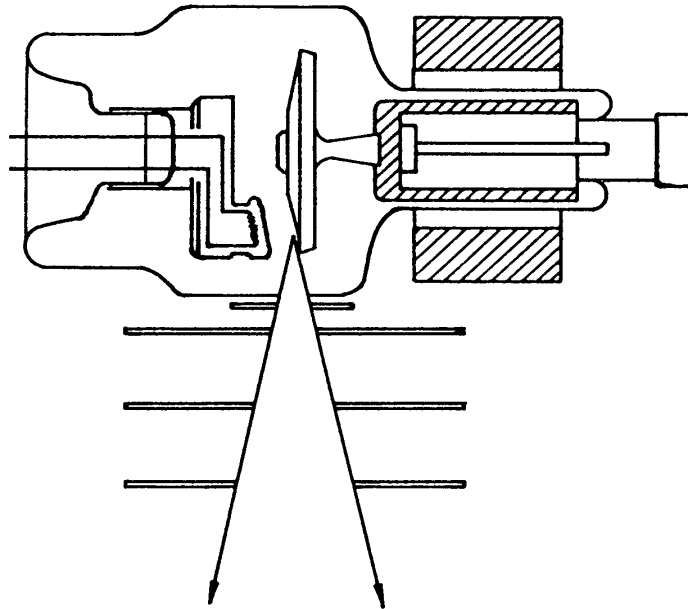


## 8) Strahlenerzeugung mit Röntgengeräten

## Aufbau einer Röntgenanlage



## Aufbau einer Röntgenröhre



Kathode  
Anode  
Primärfilter

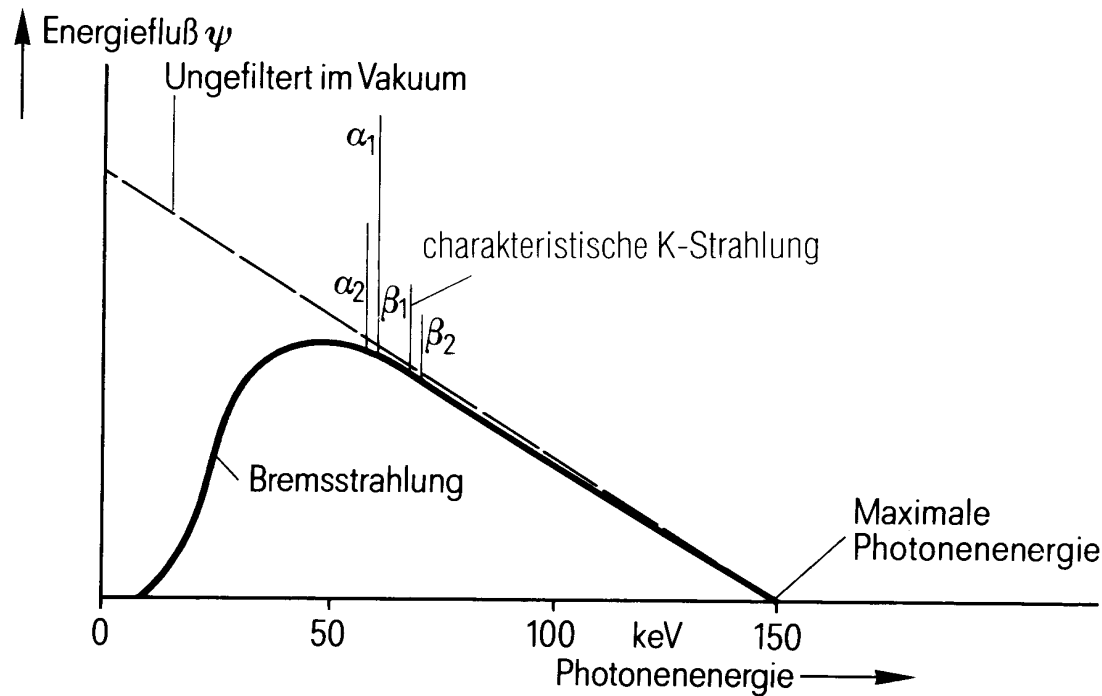
Kühlsystem  
Blendensystem  
Glasumhüllung

## Röntgenstrahlung

- **die kontinuierliche Röntgenbremsstrahlung**
- **und die diskrete charakteristische Röntgenstrahlung.**



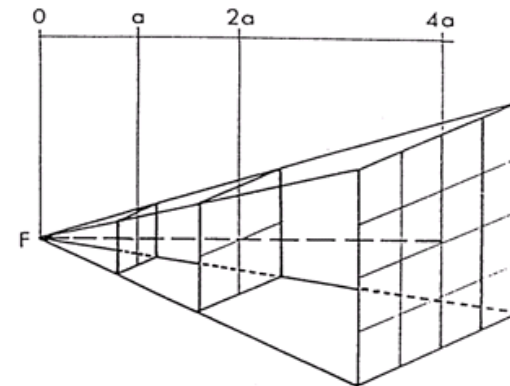
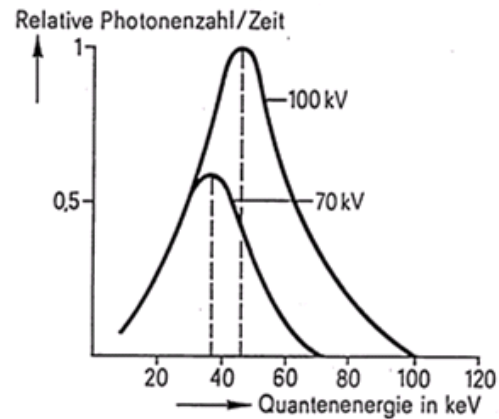
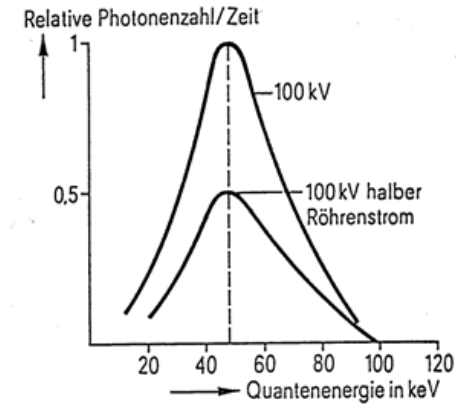
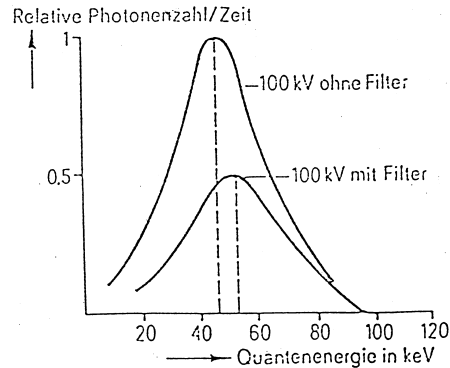
# Ungefiltertes und gefiltertes Röntgenspektrum



Energieverteilung der  
gefilterten Strahlung  
einer Wolframanode  
(schematisch);  
Bremsspektrum und die  
charakteristische  
K-Strahlung



## Veränderung des Röntgenspektrums



## Schätzformel zur Berechnung der Expositionsdosis J

$$J = G \cdot \frac{U^2}{FHA^2} \cdot t \cdot I$$

<b>J</b>	<b>:</b>	<b>Nutzstrahlendosis</b>	<b>(mR)</b>
<b>G</b>	<b>:</b>	<b>Gerätekonstante</b>	<b>-</b>
<b>U</b>	<b>:</b>	<b>Röhrenspannung</b>	<b>(kV)</b>
<b>FHA</b>	<b>:</b>	<b>Fokus-Haut-Abstand</b>	<b>(m)</b>
<b>t · I</b>	<b>:</b>	<b>mAs-Produkt</b>	<b>(mAs)</b>





## 9) Bestrahlungsgeräte der Strahlentherapie

## Bestrahlungsanlagen für die perkutane Strahlentherapie

### Teilchen-Beschleuniger

- Röntgengeräte
- Linearbeschleuniger (LINAC)
- Kreisbeschleuniger  
(Betatron, Mikrotron)
- Neutronen-Anlagen
- Protonen-Anlagen
- Anlagen für schwere Ionen  
(Zyklotron)

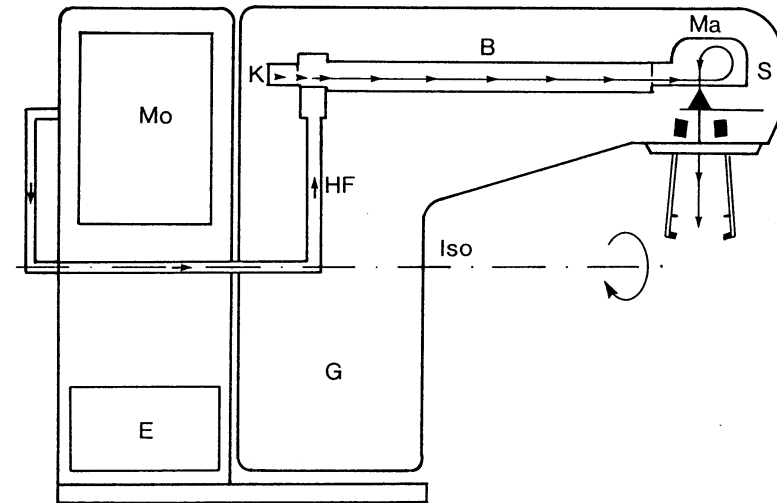
### Radioaktive Quellen

- Co-60- und Cs-137-Geräte



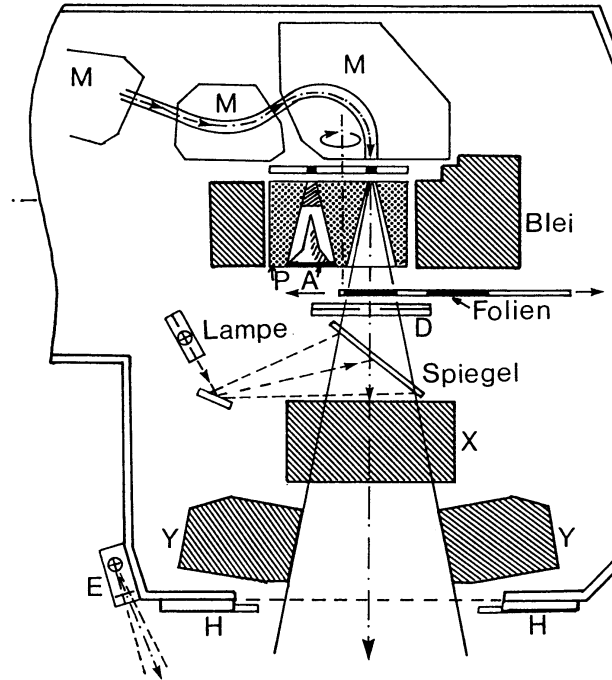
# Medizinphysik I: Repetitorium

## Elektronen-Linearbeschleuniger



Prinzipieller Aufbau von Elektronenlinearbeschleunigern. Mo: Modulator, E: Energieversorgung, HF: Hochfrequenz, K: Elektronenkanone, B: Beschleunigungsrohr, Ma: Ulenkmagnet, S: Strahlerkopf, Iso: Isozentrumsachse (Drehachse der Bestrahlungsanlage), G: Gantry (Beschleunigerarm).

## Strahlführung im Strahlerkopf



Typischer Strahlerkopf eines modernen medizinischen Elektronen-Linearbeschleunigers. (M: Slalom-Magnete für die Strahlumlenkung, D: Doppeldosismonitor, P: Primärkollimator, A: Photonenauflagekörper mit vorgeschaltetem Beamhardener und Elektronenfänger, Folien: Ausgleichsfolien für Elektronen, E: Entfernungsmesser, H: Halter für Tubusse und Filter, X,Y: Kollimatorblenden, Lampe und Spiegel: Lichtvisier).

## Strahlerkopf

Eigenschaften des internen Elektronenstrahls

Nadelstrahl mit wenigen mm Durchmesser, in Richtung des Beschleunigerrohres (meistens horizontal) unbekannter energetischer und räumlicher Struktur (Energiespektrum, Winkelverteilung)

Aufgabe

Umwandlung des internen Elektronenstrahls in ein homogenes Bestrahlungsfeld mit bestimmter Intensität sowie vorgegebener Richtung, Form und Eindringtiefe



## Strahlerkopf

### Aufbereitung des Elektronenstrahlenbündels

- **Bündelung, Fokussierung und Ablenkung,**
- **Primärkollimation,**
- **Homogenisierung,**
- **Strahlüberwachung (Lage und Symmetrie),**
- **Dosisüberwachung und Dosisleistungsregelung,**
- **Kollimierung (Feldformung).**





## Radioaktive Quellen in der Medizin



## Beschreibung einer radioaktiven Quelle

- Isotop
  - Zerfallsschema
  - Halbwertszeit
- Aktivität
- Bauart



## Radionuklide

Zur Zeit sind 2685 Nuklide von 112 Elementen bekannt. 297 (ca. 10%) sind natürlicher Herkunft, von denen sind die meisten, insgesamt 268 stabil. Viele der künstlich durch Kernreaktionen erzeugten Nuklide sind instabil.



## Kernumwandlungsprozesse

Kernumwandlungsprozesse werden nach den dabei emittierten Teilchen oder nach der Art der Umwandlung bezeichnet:

- Alpha-Zerfall
- Beta-Zerfall
- Gamma-Zerfall
  
- Elektronen-Einfang
  
- Innere Konversion



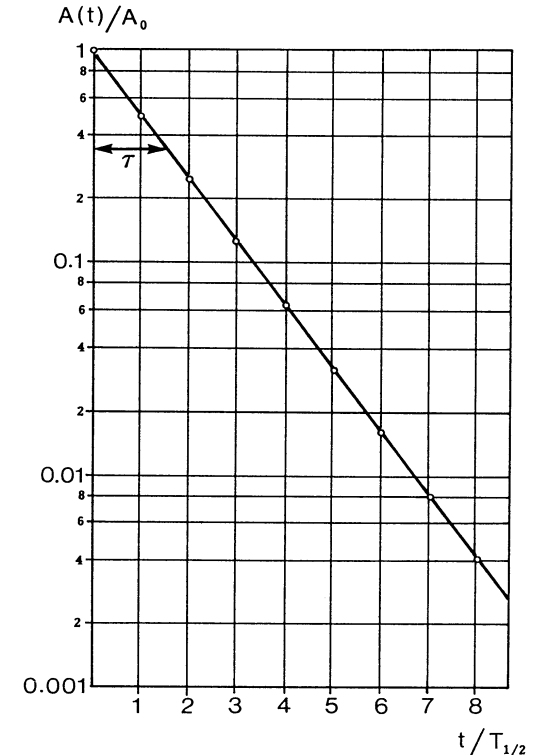
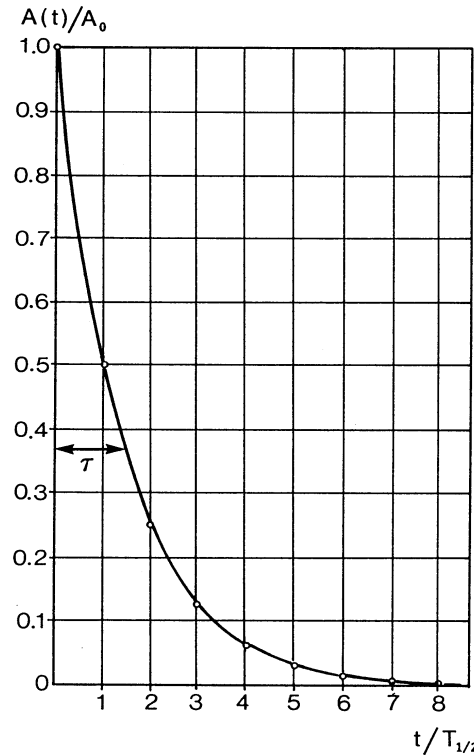
## Zerfallsgesetz

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N$$

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$



Darstellung des exponentiellen Zeitgesetzes für den radioaktiven Zerfall als Funktion der Zeit in Einheiten der Halbwertszeit (nach Gl. 3.55). Links: doppeltlineare Darstellung, rechts: halblogarithmische Darstellung. Beide Kurven sind universell für beliebige Nuklide verwendbar, da die Zeiten in Einheiten der Halbwertszeit aufgetragen sind. Aktivitäten für Zwischenzeiten können grafisch interpoliert werden.

## Erzeugung radioaktiver Strahlenquellen für die Medizin

- chemische Isolation von spezifischen Radionukliden aus **Spaltprodukten** nach Kernspaltung schwerer Elemente
- künstliche **Aktivierung** natürlicher stabiler Elemente durch **Neutronenbeschuss** (Neutroneneinfang)
- künstliche Induzierung von **Kernumwandlungen** durch Beschuss mit beschleunigten **elektrisch geladenen Teilchen** (Protonen,  $\alpha$ ..)

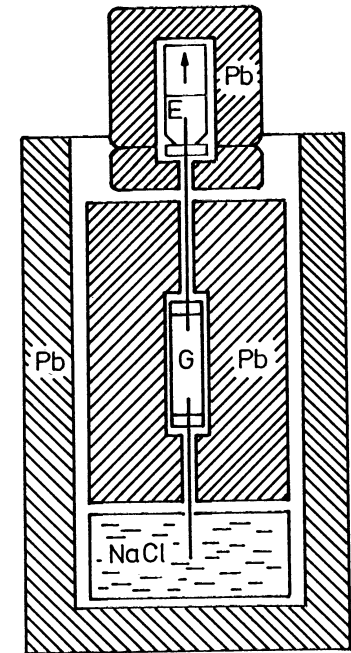


## Erzeugung radioaktiver Strahlenquellen für die Medizin

### Radionuklidgenerator: Tc-99m

Das wichtigste Radionuklid für die diagnostische Nuklearmedizin ist Tc-99m. Dessen Herstellung geschieht mit einem Radionuklid-generator.

- Dieser besteht aus einer Trägermatrix mit radioaktivem Spaltmolybdän in Form von Aluminium-Molybdat.
- Bei dessen Zerfall löst sich das entstandene Tc-99m durch Rückstoss aus der Trägermatrix und ist frei beweglich.
- Dieses wird mit einer physiologischen Kochsalzlösung aus dem Generator ausgewaschen



Schematischer Aufbau eines kommerziellen Technetiumgenerators. G: Generatorsäule mit  $^{99}\text{Mo}$ , NaCl: Elutionsmittel (NaCl-Lösung), E: Eluat aus NaCl mit  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , Pb: Bleiabschirmungen.

## Offene radioaktive Strahlenquellen

Strahlenquellen, die radioaktive Stoffe enthalten und die sich ausbreiten und Kontamination verursachen können

nehmen am Stoffwechsel teil

## Geschlossene radioaktive Strahlenquellen

Strahlenquellen, die radioaktive Stoffe enthalten, und deren Bauart unter üblicher Beanspruchung ein Austreten radioaktiver Stoffe vollständig verhindert und so die Möglichkeit einer Kontamination ausschliesst. Die Quellenkapselung soll für die vorgesehene Anwendung den Anforderungen der ISO-Normen genügen und entsprechend klassifiziert sein.

nehmen am Stoffwechsel nicht teil; oft nur Gamma-Strahler

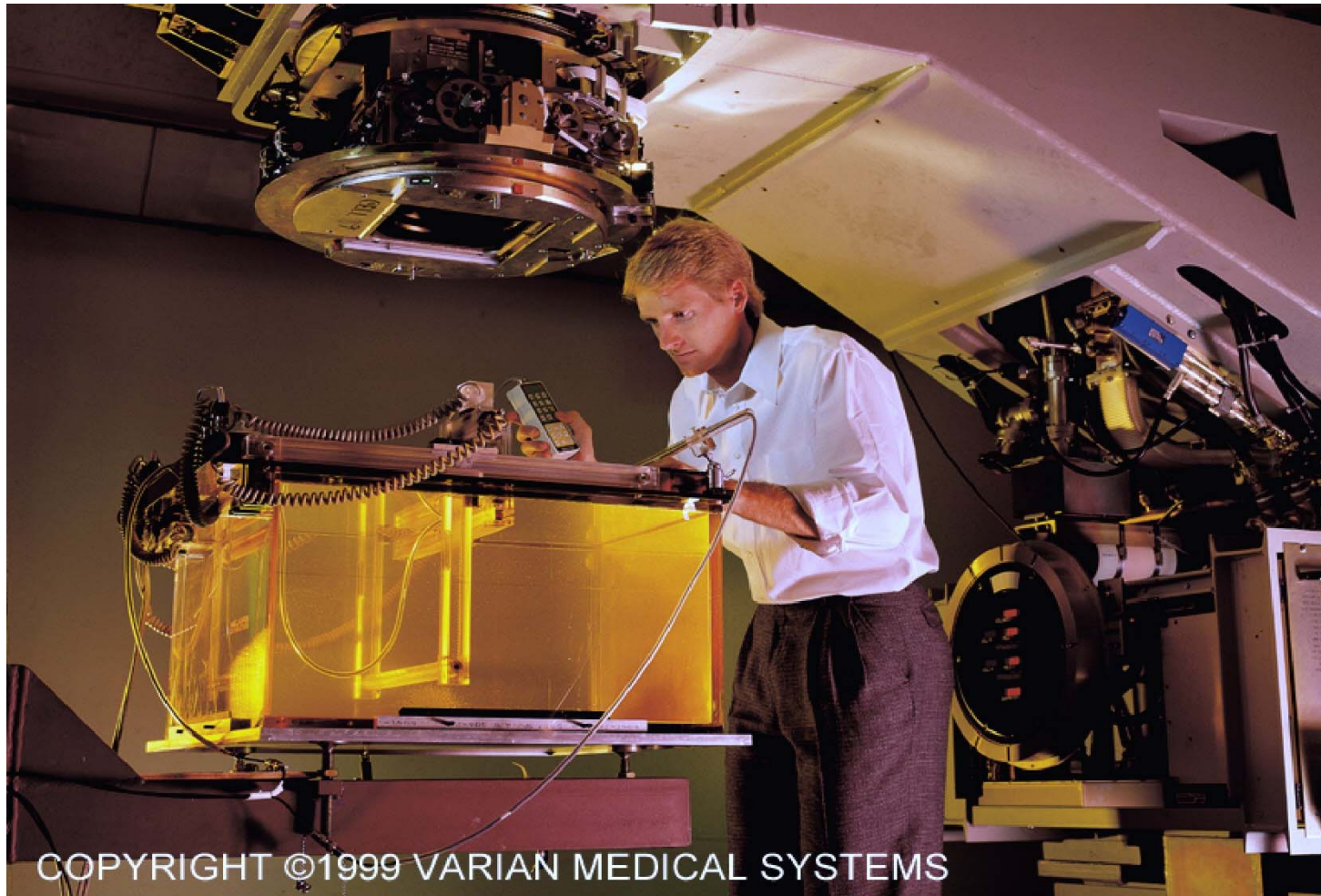




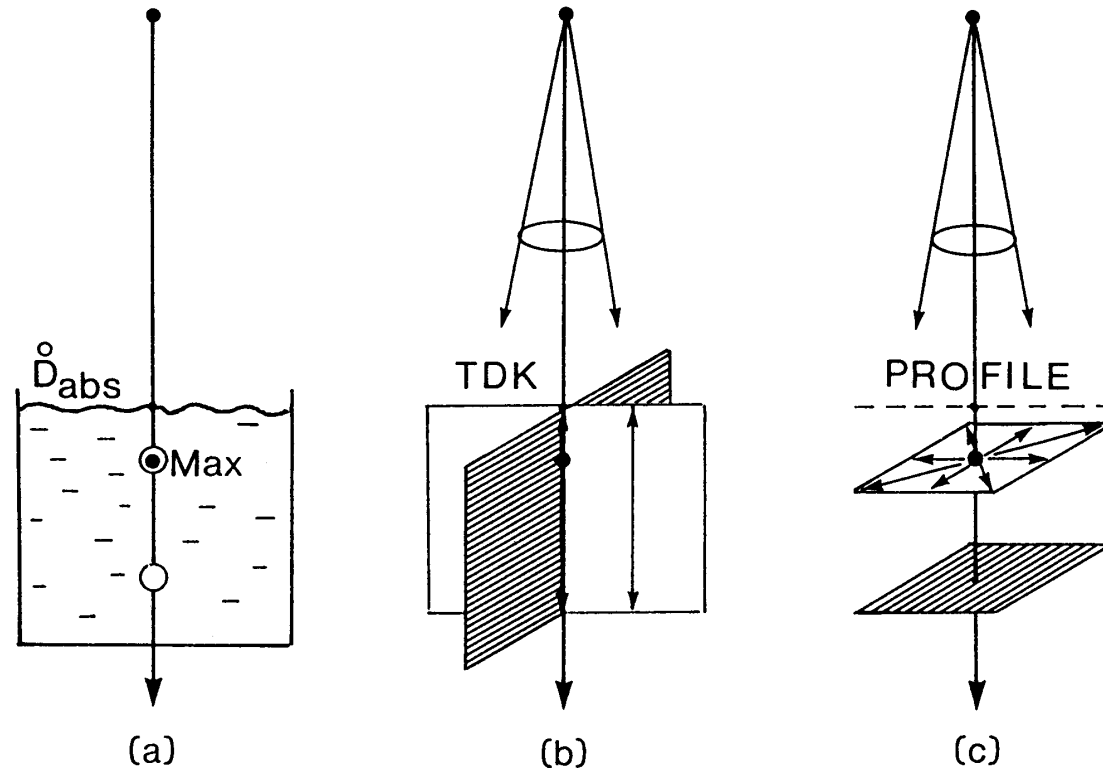


## 10) Dosisverteilung perkutaner Photonenstrahlung

## Wasserbad



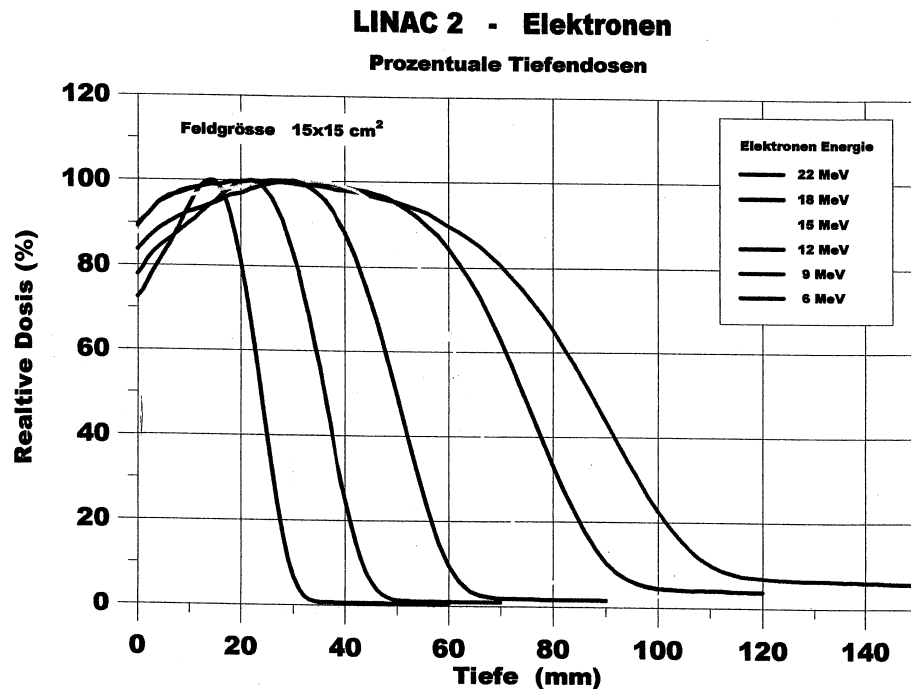
## Basisdosimetrie



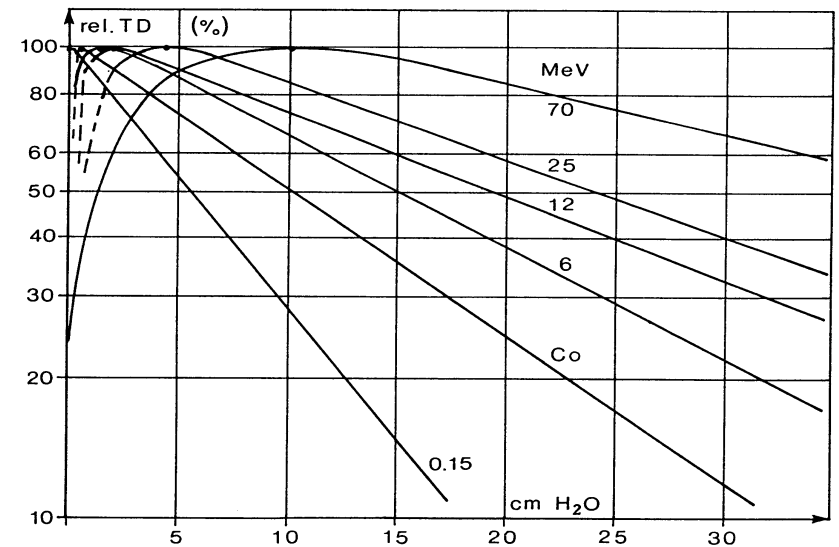
Darstellung dreidimensionaler perkutaner Photonen-Dosisverteilungen durch (a): absolute Dosisleistung an Referenzpunkten (z. B. im Dosismaximum Max oder einer DIN-Referenztiefe: offener Kreis), (b): Tiefendosiskurven (TDK), (c): Dosisquerprofile in verschiedenen Phantomtiefen (z. B. x- und y-Profile).

## Tiefendosisvergleich

### Elektronenstrahlungen

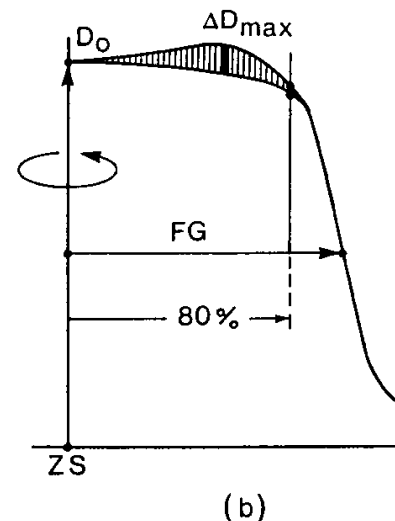
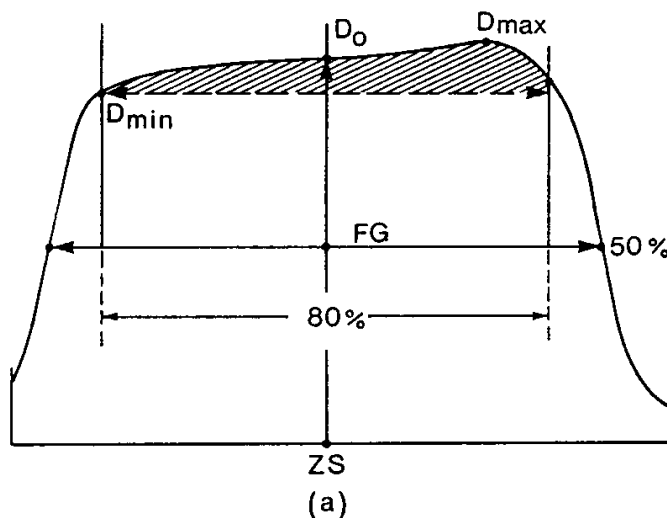


### Photonenstrahlung



Relative Tiefendosiskurven in Wasser für verschiedene Photonenenergien (schematisch, normiert auf das jeweilige Dosismaximum, rel. TD: relativer Tiefendosisverlauf, Energien an den Kurven in MeV, Co: <sup>60</sup>Co-Strahlung, die Ordinate ist logarithmisch gestaucht).

# Bestimmung der Feldsymmetrie und der Feldhomogenität



Definition von Feldhomogenität und Symmetrie an Querprofilen. (a): Dosiswerte und verwendeter Profilbereich zur Bestimmung der Homogenität (nach Gl. 4.17 und 4.18). (b): Verfahren zur Bestimmung der Symmetrie an übereinander gezeichneten Profilhälften

ZS: Zentralstrahl mit Dosisleistung  $D_0$ ,

$$S = \Delta D_{\max} / D_0$$

$$H = (D_{\max} - D_{\min}) / D_0$$





**Vielen Dank für Ihr Interesse an der Medizinphysik**



**Fortsetzung im Sommersemester in der Vorlesung  
„Medizinphysik II“**

