

Atombausteine

Protonen p

($1,672 \cdot 10^{-24}$ g; 938 MeV; e^+)

Neutronen n

($1,675 \cdot 10^{-24}$ g; 939 MeV; 0)

Elektronen e^-

($9,11 \cdot 10^{-28}$ g; 0,511 MeV; e^-)

Nuklide

Isotope: $Z = N(p) = \text{const}$

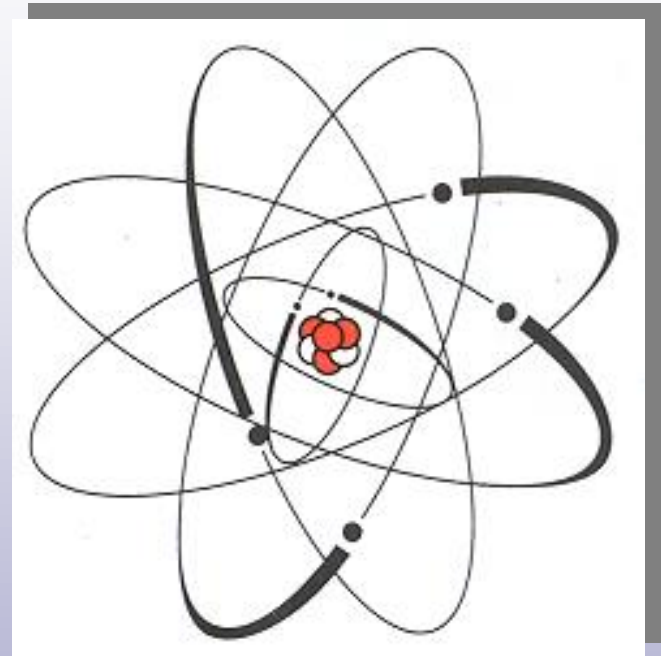
z.B. U-234, U-235, U-238

Isobare: $M = N(p+n) = \text{const}$

z.B. Ca-40, K-40, Ar-40

Isotone: $N = N(n) = \text{const}$

z.B. Fe-56, Mn-55, Cr-54



Insgesamt mehr als
2500 verschiedene Nuklide

Radioaktivität

natürliche Radioaktivität

($T_{1/2} > 10^9$ a)

künstliche Radioaktivität

($T_{1/2} < 10^9$ a)

Radioaktiver Zerfall

Alpha-Zerfall ($2p + 2n \rightarrow \alpha$)

U-238 ($4,5 \cdot 10^9$ a); Pu-239 (24400 a)

Beta⁻-Zerfall ($n \rightarrow p + e^- + \nu$)

K-40 ($1,3 \cdot 10^9$ a); I-131 (8,02 d)

Beta⁺-Zerfall ($p \rightarrow n + e^+ + \nu$)

O-15 (2,03 min); F-18 (110 min)

Isomerer Übergang

Tc-99m (6 h)

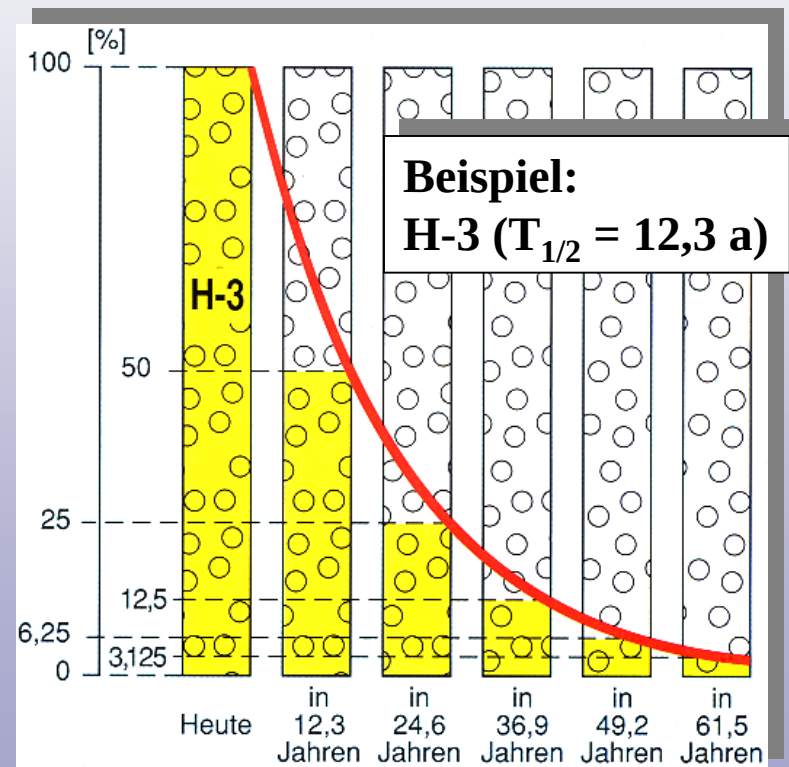
Zerfallsgesetz

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

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

λ Zerfallskonst.

$T_{1/2}$ Halbwertszeit



Photonen-Strahlung

Photoeffekt

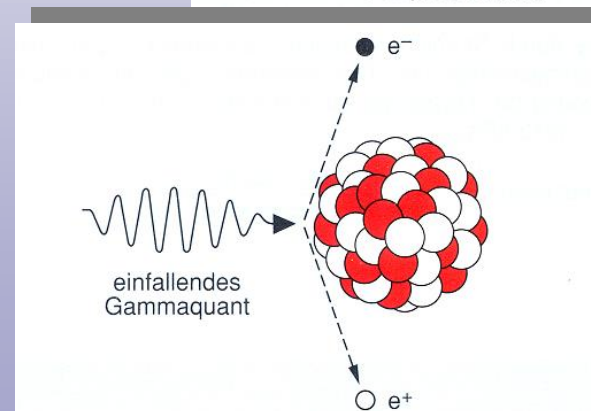
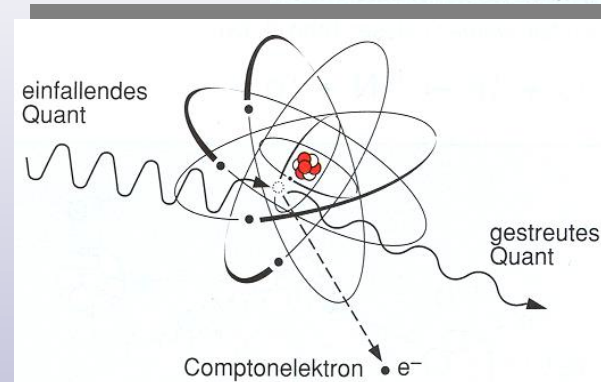
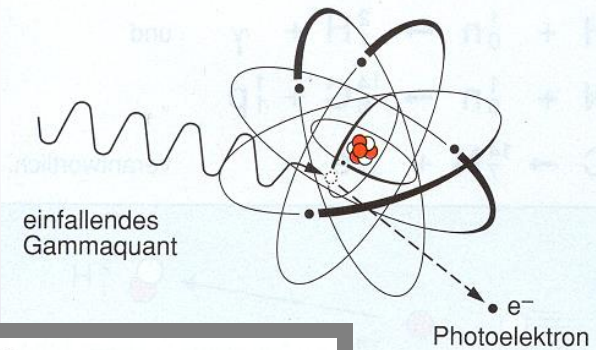
Vollabsorption des Photons
→ Photoelektron

Compton-Effekt

Streuung des Photons
→ Compton-Elektron

Paarbildungseffekt

Vollabsorption des Photons
→ Elektron + Positron



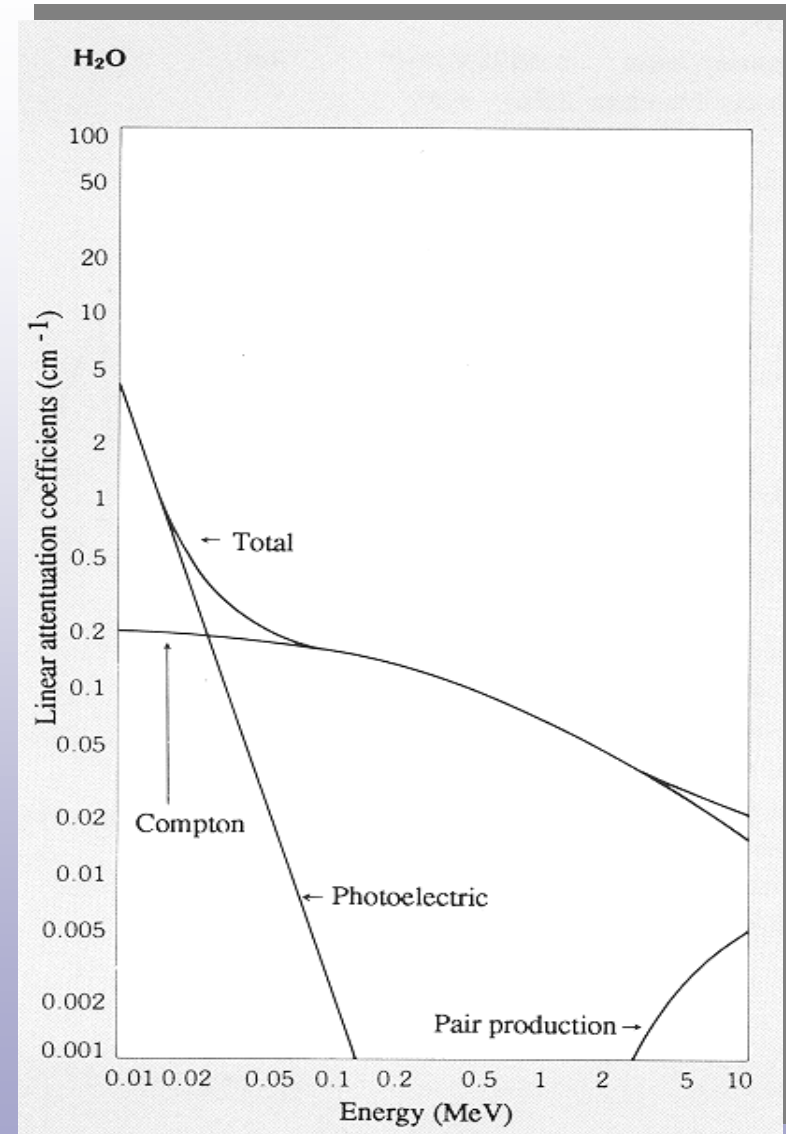
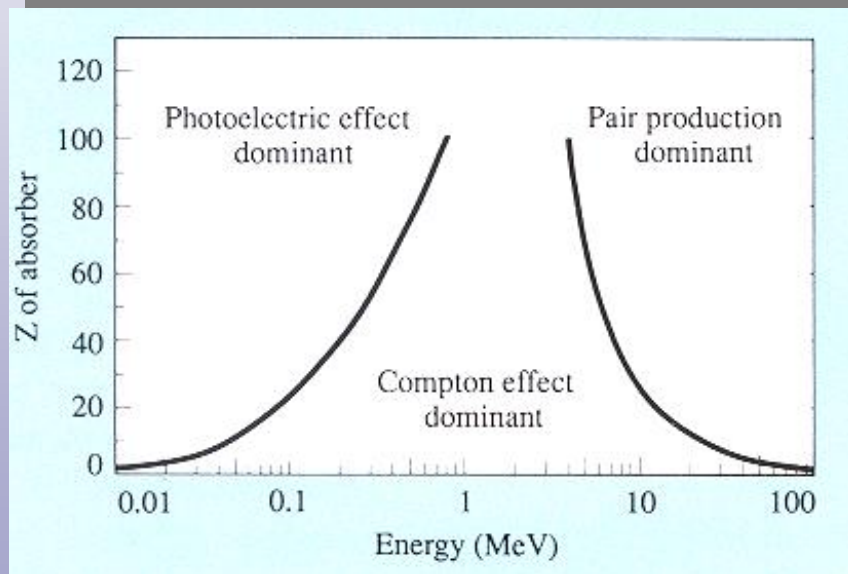
Photonen-Strahlung

Reichweite in Gewebe (H_2O)

Tc-99m (141 keV): 6,2 cm

I-131 (364 keV): 8,0 cm

F-18 (511 keV): 9,1 cm



Gasgefüllte Detektoren

Ionisationskammern

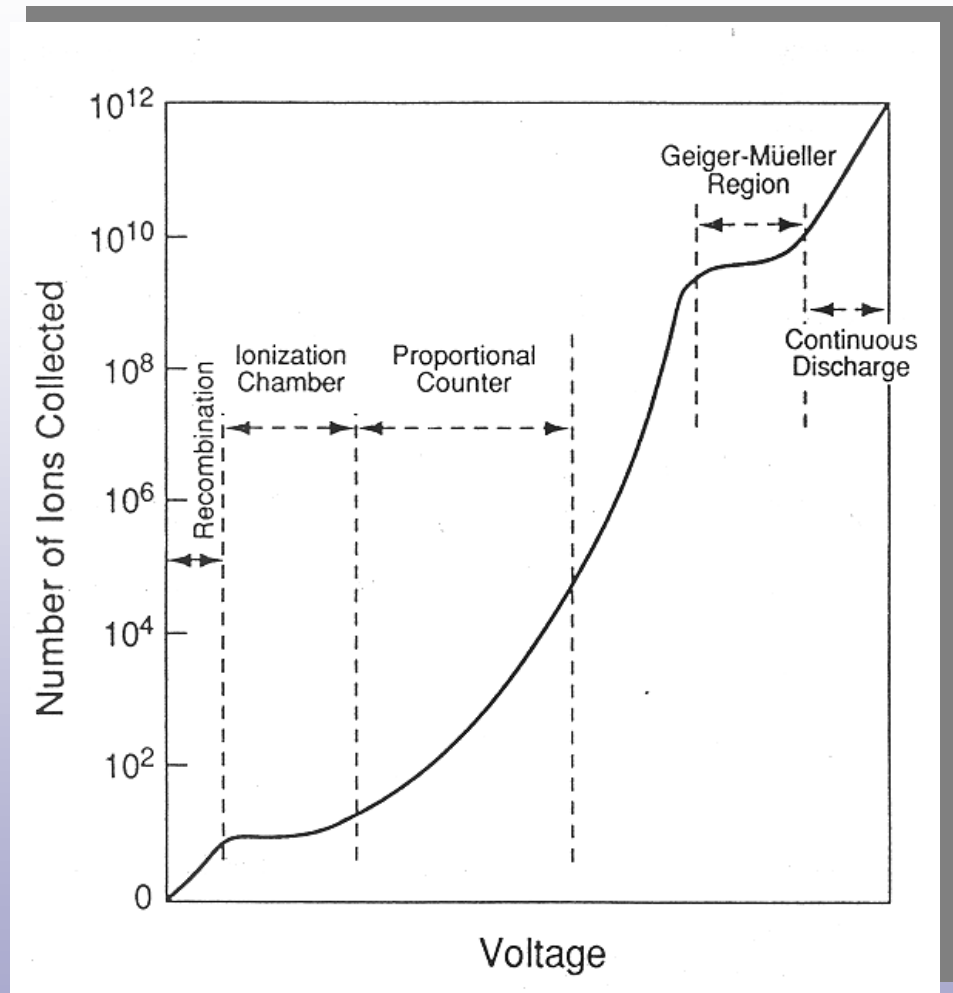
($U < 100 \text{ V}$)

Proportionalzähler

($100 \text{ V} < U < 400 \text{ V}$)

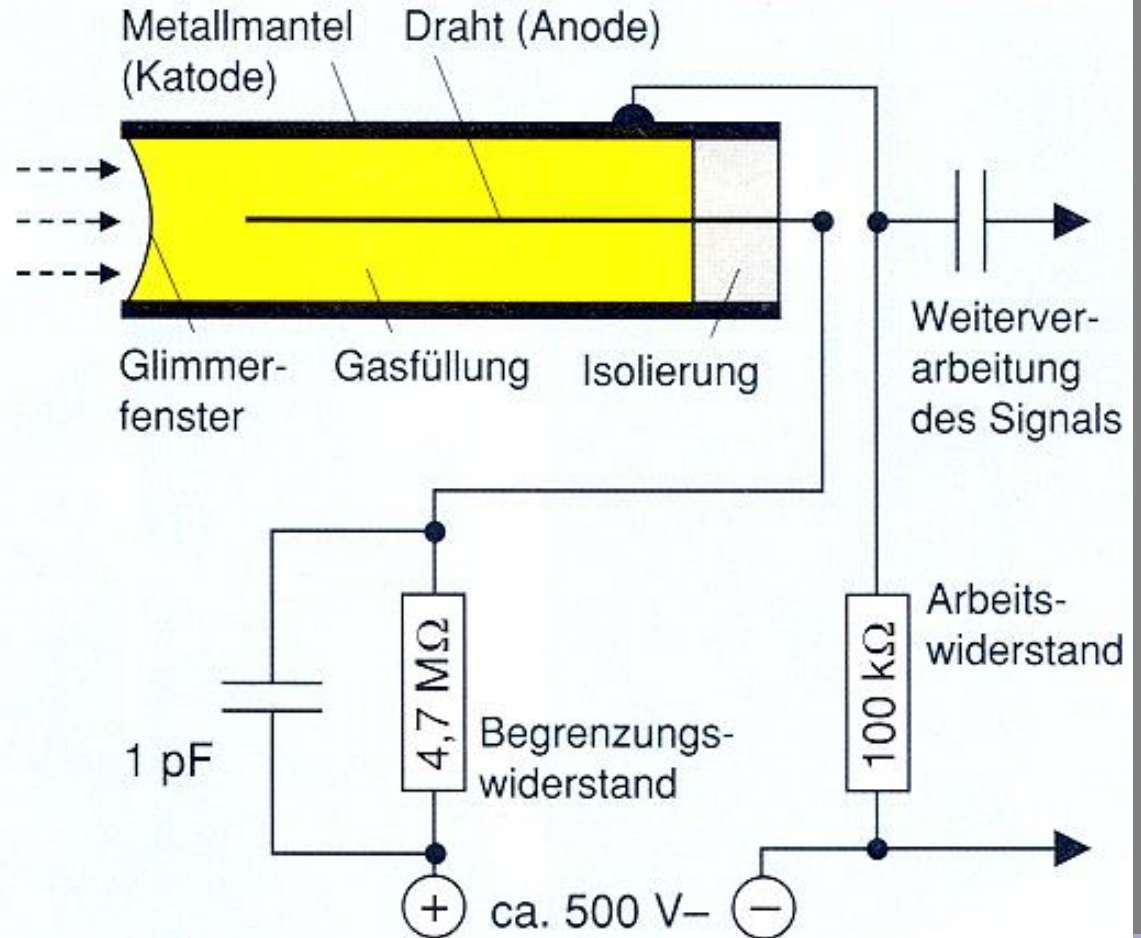
Geiger-Müller-Zähler

($U > 400 \text{ V}$)

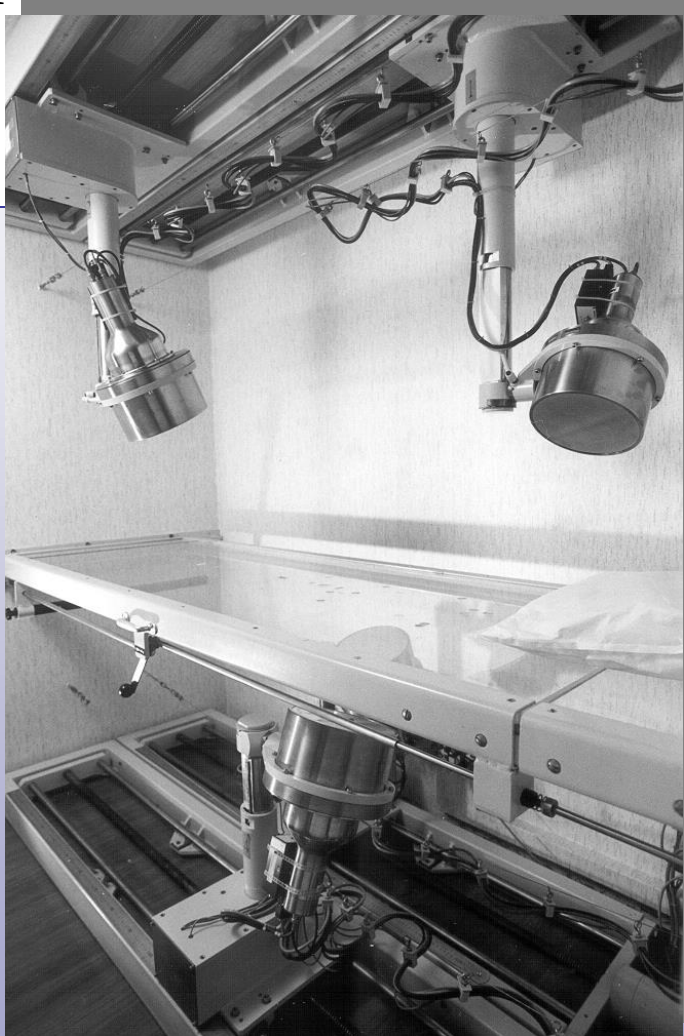


Gasgefüllte Detektoren

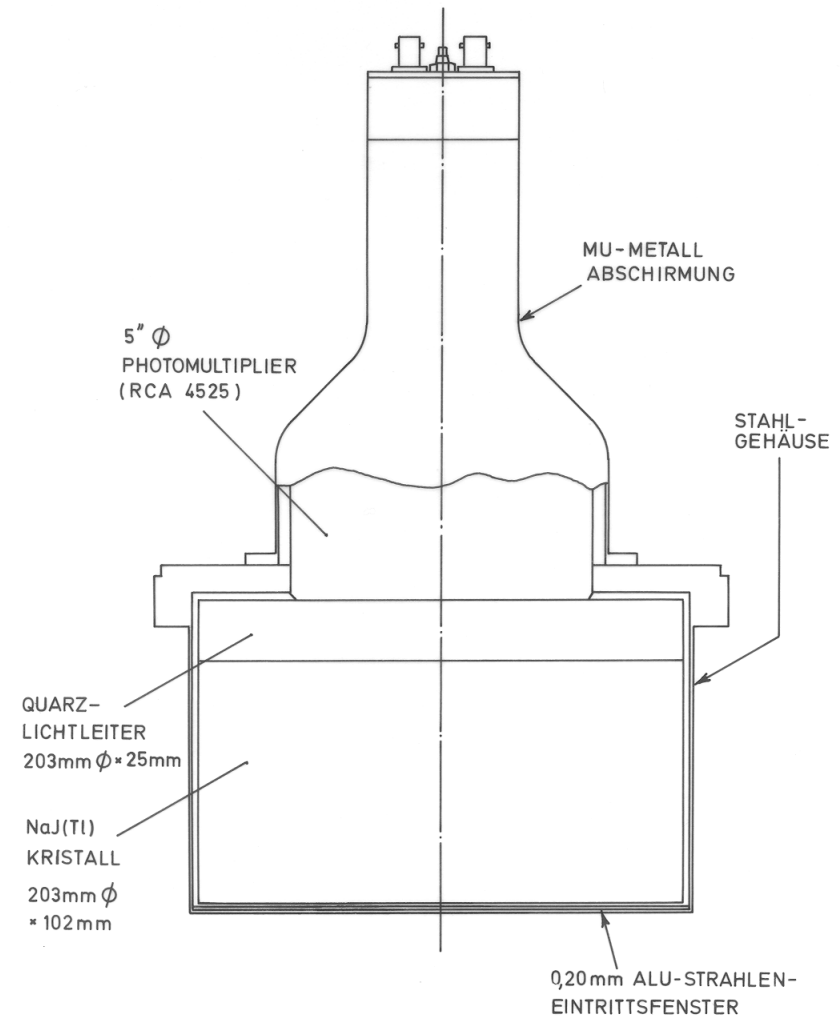
Geiger-Müller-Zähler ($U > 400 \text{ V}$)



Ganzkörperzähler des FZK



Ganzkörperzähler des FZK NaI(Tl) Szintillationsdetektor



Ganzkörperzähler des FZK Impulsverarbeitung

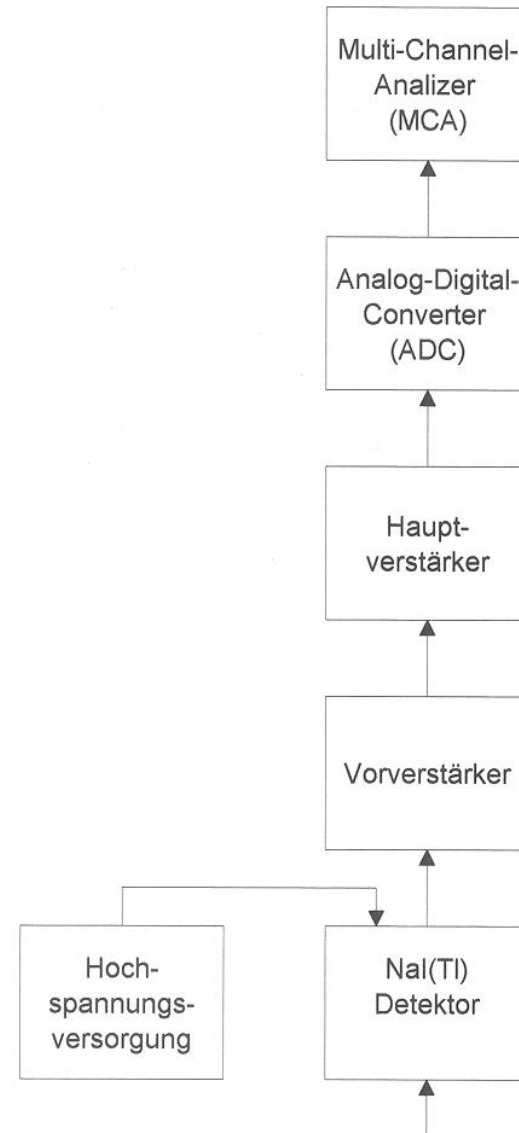
Hochspannungsversorgung
1 kV

Vorverstärker
Impedanzanpassung

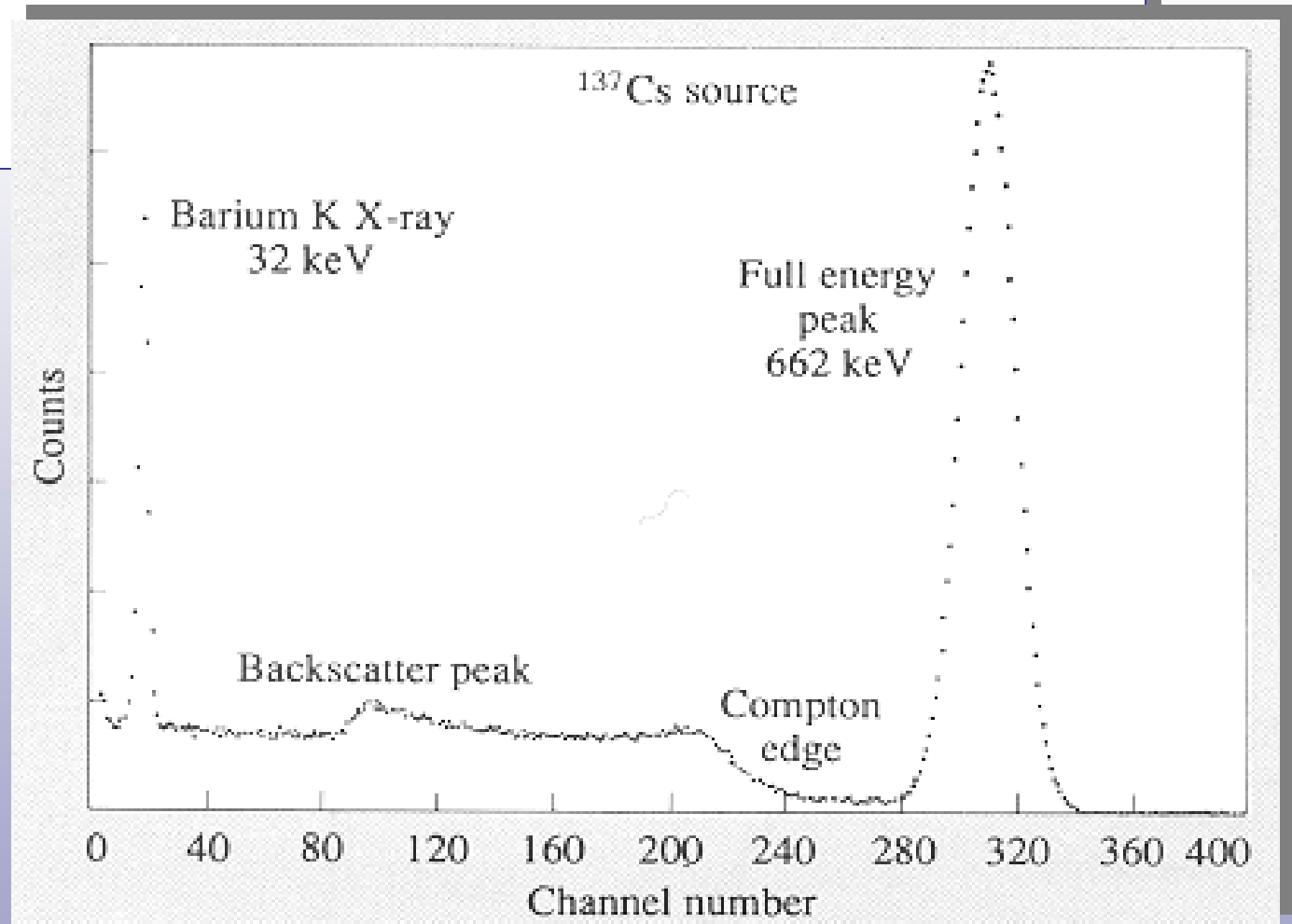
Hauptverstärker
Impulsformung/verstärkung

ADC
Impulsdigitalisierung

MCA
Spektrumserzeugung



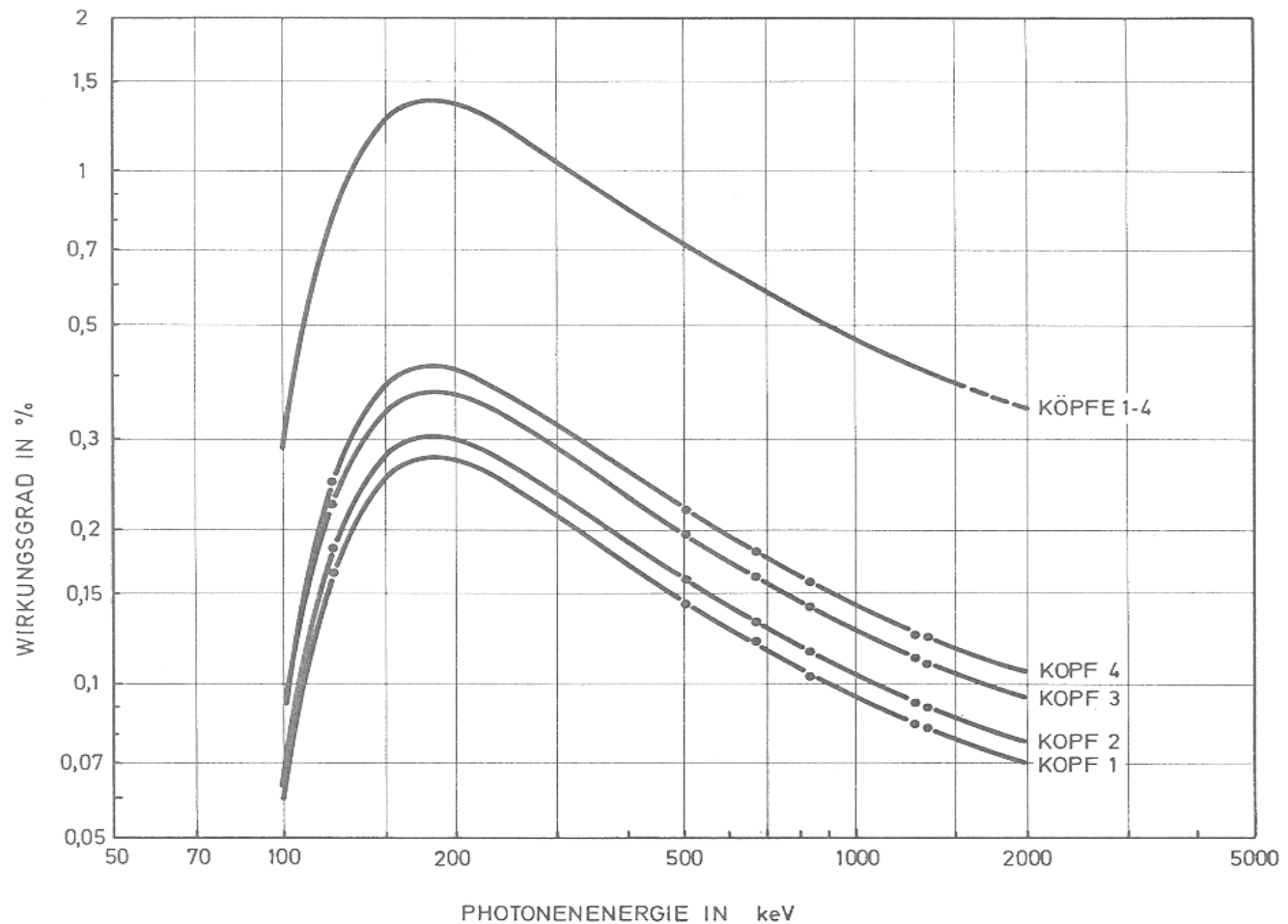
Ganzkörperzähler des FZK - Spektralkomponenten



Ganzkörperzähler des FZK - Kalibrierung



Ganzkörperzähler des FZK - Wirkungsgrad



Energiedosis

D	Energiedosis
E	in einem Volumenelement absorbierte Energie
m	Masse in dem betreffenden Volumenelement

$$D = \frac{E}{m}$$

$$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 6,24 \cdot 10^{12} \frac{\text{MeV}}{\text{kg}}$$

Strahlenwichtungsfaktor:

Maß für die Ionisierungsdichte (Linearer Energietransfer LET)

**LET < 3,5 MeV/mm
(< 1000 IP/Zelle)**

**LET > 175 MeV/mm
(> 50000 IP/Zelle)**

Strahlenart	Strahlenwichtungsfaktor w_R (ICRP 60)
Photonen	1
Elektronen und Positronen	1
Myonen	1
Neutronen	5.....20
Protonen	5
Alpha-Teilchen	20
Schwere Kerne	20

Äquivalentdosis H *Definition*

$$H = w_R \cdot D = w_R \cdot \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

 w_R Strahlenwichtungsfaktor*Einheit* Sievert (Sv)

$$\text{Sv} = w_R \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Gewebewichtungsfaktor w_T :

Relativ hohe Zellteilungsrate	Organ bzw. Gewebe	Gewebewichtungsfaktor w_T (ICRP 60)
	Gonaden	0,2
	Rotes Knochenmark, Lunge, Magen, Dickdarm,	0,12
	Schilddrüse, Brustdrüse, Speiseröhre, Leber, Blase	0,05
	Knochenoberfläche, Haut	0,01
	Übrige Organe	0,05
Relativ geringe Zellteilungsrate		$\sum_T w_T = 1$

Effektive Äquivalentdosis E *Definition*

$$E = w_T \cdot H = w_T \cdot w_R \cdot D$$

 w_T Gewebewichtungsfaktor*Einheit**Sievert (Sv)*

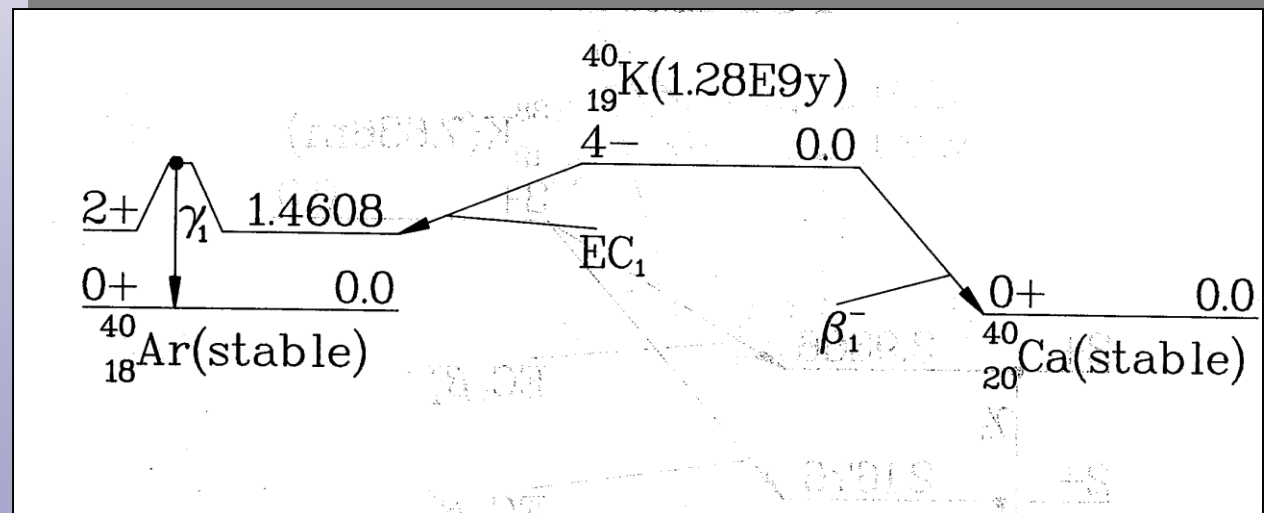
$$Sv(effektiv) = w_T \cdot w_R \frac{J}{kg}$$

Isotopenkomposition des natürlichen Kaliums:

K-39:	96,2581 %	(stabil)
K-40:	0,0117 %	(Beta-Strahler)
K-41:	6,7302 %	(stabil)

Zerfallsparameter von K-40:

Physikalische Halbwertszeit:	1,28 E09 a
Beta-Strahlung:	1,3 MeV (89,3 %)
Gamma-Strahlung:	1,46 MeV (10,7 %)



Spezifische Aktivität A_S des K-40:

N_A	Avogadro-Konstante
A	Atomgewicht des Isotops
p	Gewichtsanteil des Isotops
$T_{1/2}$	Physikalische Halbwertszeit des Isotops

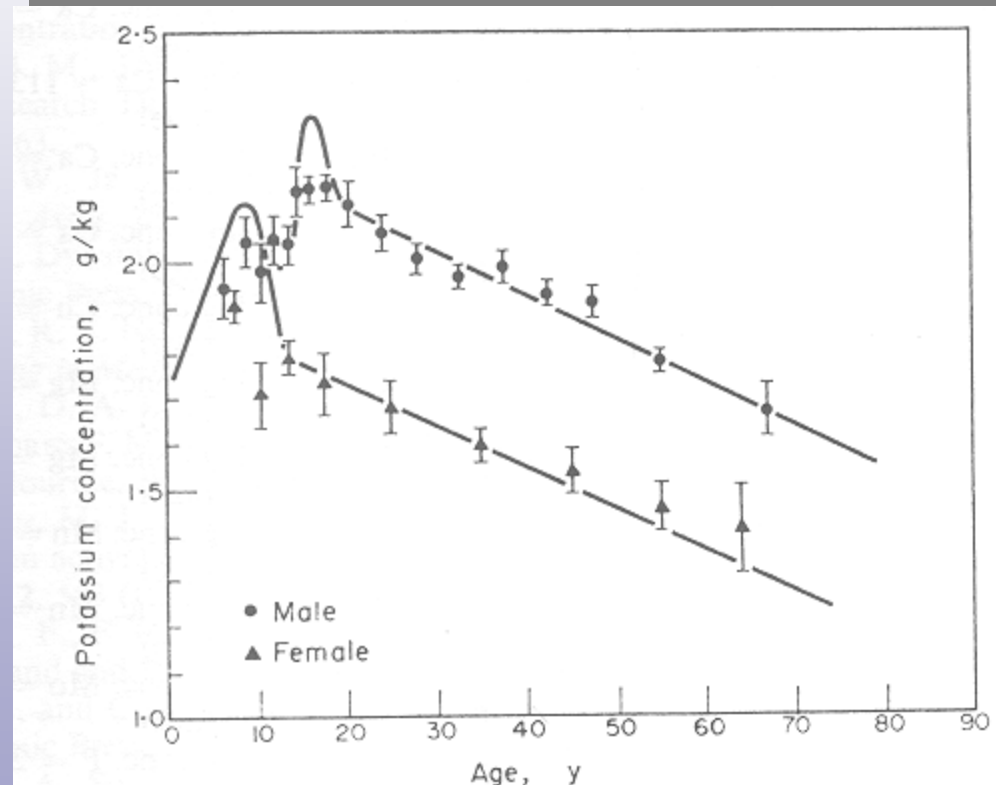
$$A_S = \frac{N_A}{A} \cdot p \cdot \frac{\ln(2)}{T_{1/2}}$$

$$A_S = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ Atome / Mol}}{40 \text{ g / Mol}} \cdot 1,17 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{0,693 \text{ Zerfälle / Atom}}{1,28 \cdot 10^9 \text{ a} \cdot 3,15 \cdot 10^7 \text{ s / a}}$$

$$A_S = 30,3 \frac{\text{Zerfälle}}{\text{g} \cdot \text{s}} = 30,3 \frac{\text{Bq}}{\text{g}}$$

Spezifische K-40-Körperaktivität

Mann (25 Jahre):	2,1 g K pro kg	d.h.	64 Bq K-40 pro kg
Frau (25 Jahre):	1,7 g K pro kg	d.h.	52 Bq K-40 pro kg



Effektive Äquivalentdosis H_{eff} aufgrund der K-40-Körperaktivität:

w_T	Gewebewichtungsfaktor ($w_T = 1$; homogene Ganzkörperexposition)
w_R	Strahlenwichtungsfaktor ($w_R = 1$; Beta-Strahlung)
A/m	spezifische K-40-Körperaktivität ($A/m = 64 \text{ Bq/kg}$ beim Mann)
E_β	Beta-Energie ($E_\beta = 1,3 \text{ MeV}$)
p_β	Emissionswahrscheinlichkeit der Beta-Strahlung ($p_\beta = 0,893$)
t	Expositionszeit

$$H_{\text{eff}} = w_T \cdot w_R \cdot D = w_T \cdot w_R \cdot \frac{E}{m} = w_T \cdot w_R \cdot \frac{A}{m} \cdot E_\beta \cdot p_\beta \cdot t$$

$$H_{\text{eff}} = 1 \cdot 1 \cdot 64 \frac{\text{Zerfälle}}{\text{kg} \cdot \text{s}} \cdot 1,3 \frac{\text{MeV}}{\text{Zerfall}} \cdot 0,893 \cdot 3,15 \cdot 10^7 \frac{\text{s}}{\text{a}}$$

$$H_{\text{eff}} = 2,34 \cdot 10^9 \frac{\text{MeV}}{\text{kg} \cdot \text{a}} = 0,38 \text{ mSv/a}$$

Biokinetik

Zeitliches und räumliches Verhalten von bestimmten Stoffen im Körper

Beispiele:

Pharmakokinetik

Biokinetik von Spurenelementen

Biokinetik von radioaktiven Stoffen

Biokinetische Modelle

Mathematische Simulierung des Verhaltens von Stoffen im Körper (Stoffwechselverhalten)

- Berechnung der Retention der Stoffe in bestimmten Organen, Geweben oder sonstigen Substanzen des Körpers (Retentionsfunktion)
- Berechnung der Ausscheidung der Stoffe aus dem Körper (Ausscheidungsfunktion)

Vorhersage der Wirkung von bestimmten Stoffen im Körper

- Pharmakologische Wirkung von Pharmazeutika
- Radiologische Wirkung von radioaktiven Substanzen

Diagnostik von bestimmten Stoffen im Körper

- Bestimmung der Stoffmenge in bestimmten Organen und Geweben durch Direktmessung
- Bestimmung der Stoffmenge in bestimmten Organen und Geweben über die Ausscheidung