

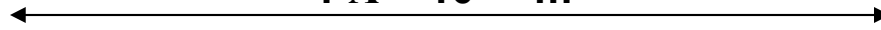
# Wie ein Gamma-Spektrum entsteht und wie man es auswertet

Heinz Surbeck

Nucfilm GmbH



$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$



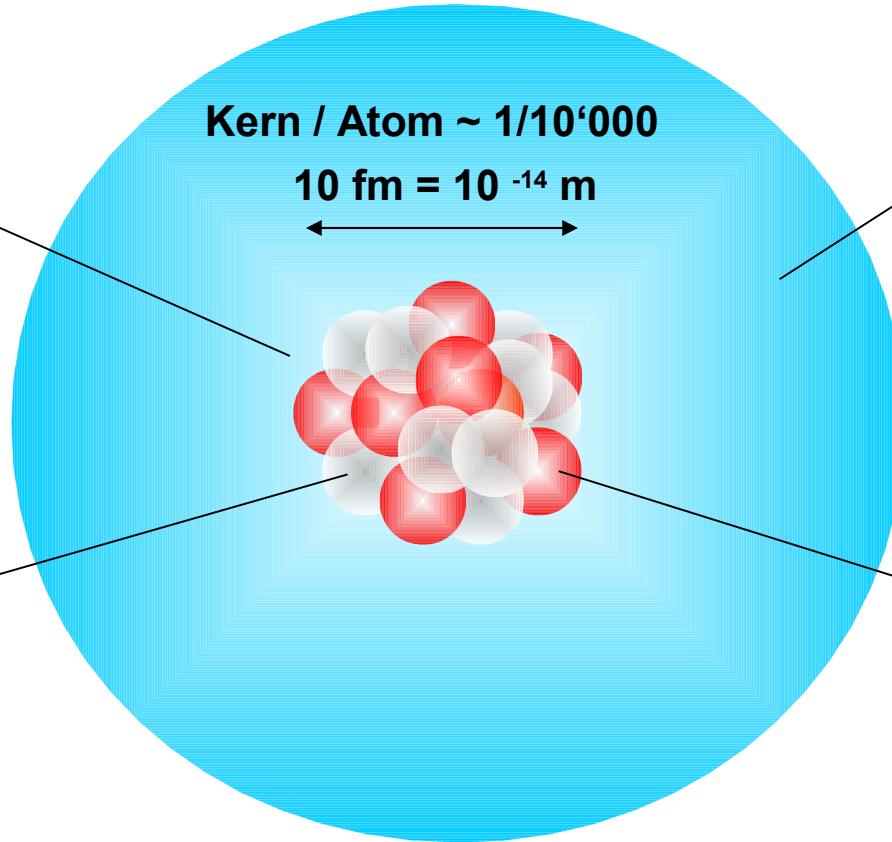
Elektronen, negative Ladung

Kern / Atom  $\sim 1/10^4000$

$10 \text{ fm} = 10^{-14} \text{ m}$



Kern



Protonen, positive Ladung

Neutronen, keine Ladung

Anzahl Elektronen = Anzahl Protonen (Kernladung)



Chemische Eigenschaften

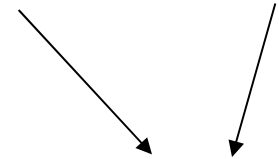


Neutrales Atom



Physikalische Eigenschaften, modifiziert durch Anzahl Neutronen, Name

**Masse** = Anzahl Protonen + Anzahl Neutronen



<sup>137</sup>**Cs** (weniger korrekt : **Cs-137**)

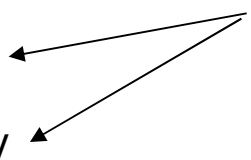
**Isotope** : gleiche Anzahl Protonen (p), aber unterschiedliche Anzahl Neutronen (n)

**Radionuklid** oder **Radioisotop** : instabiler Kern

<sup>135</sup>Cs : 55 p, 80 n, stabil

<sup>134</sup>Cs : 55 p, 79 n, 2 y

<sup>137</sup>Cs : 55 p, 82 n, 30 y



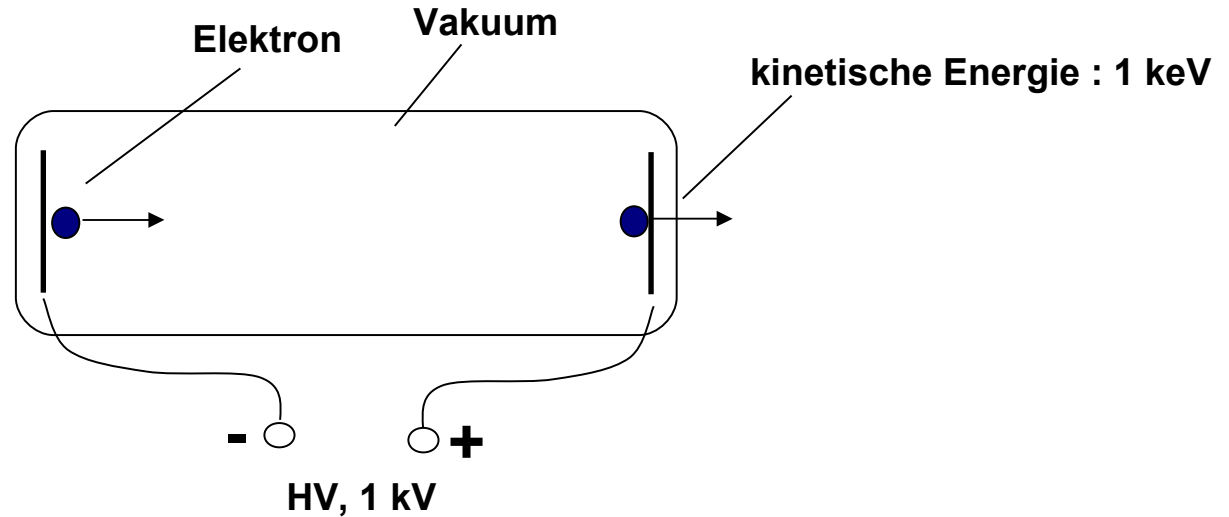
Halbwertszeit, Zeit in der die Hälfte der Nuklide zerfällt

**Aktivität** :

**1 Becquerel (Bq) = 1 Zerfall / s**

**1 Curie (Ci) = 3.7 · 10<sup>10</sup> Bq**

# Energie in eV (electron volt)



$$1 \text{ eV} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.6 \cdot 10^{-13} \text{ Joule}$$

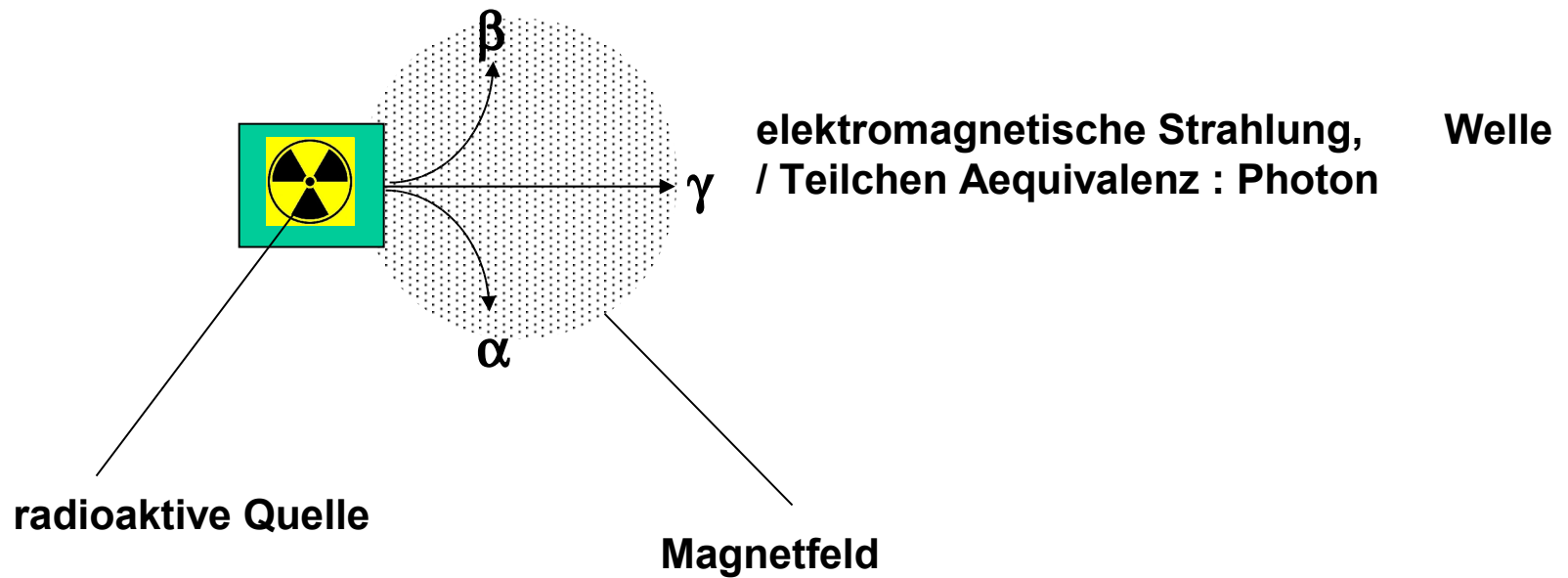
$$E = m \cdot c^2$$

$$\downarrow \leftarrow m = m_e \text{ (Elektronenmasse)}$$

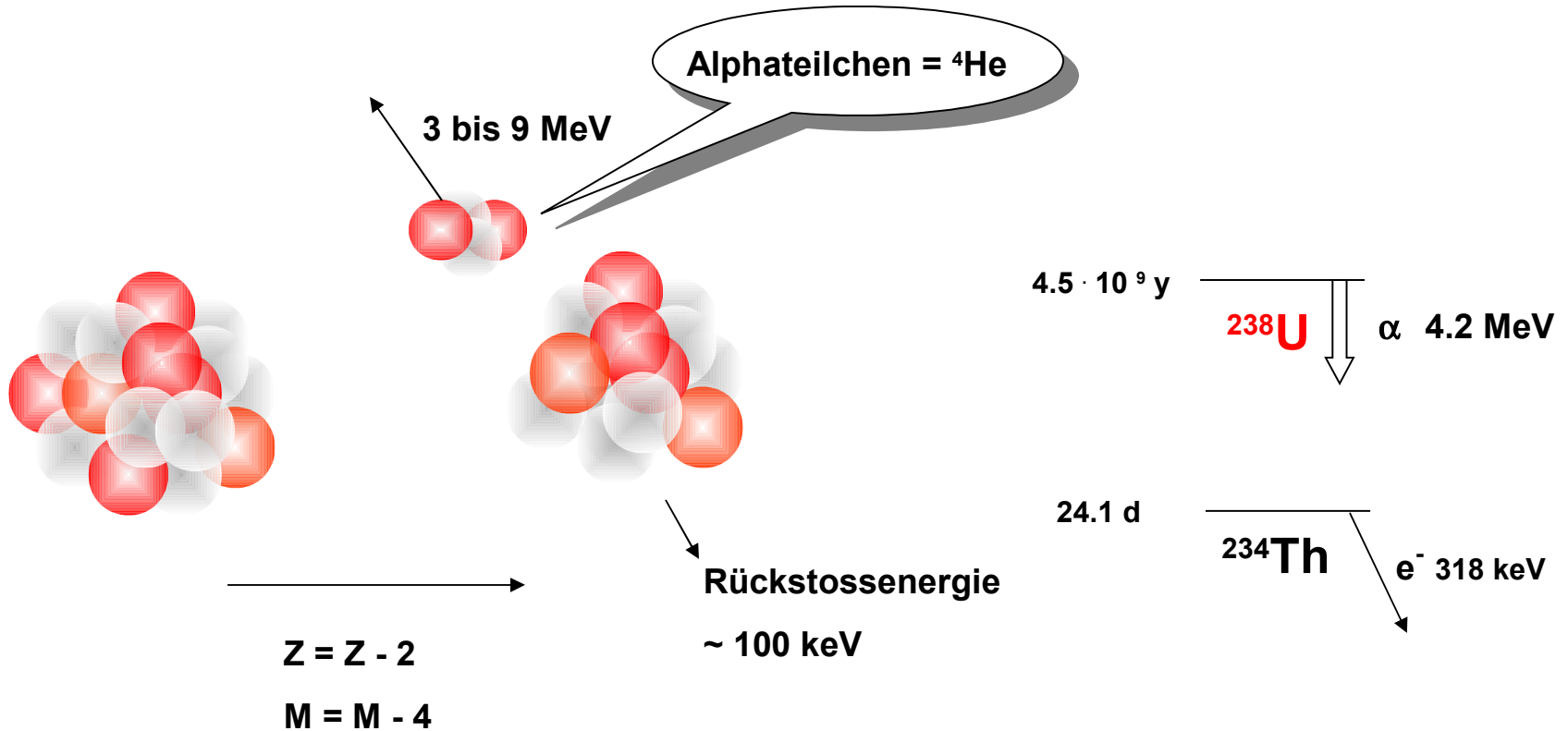
$$E = 511 \text{ keV}$$

# Radioaktiver Zerfall

## Historischer Grund für die Bezeichnungen

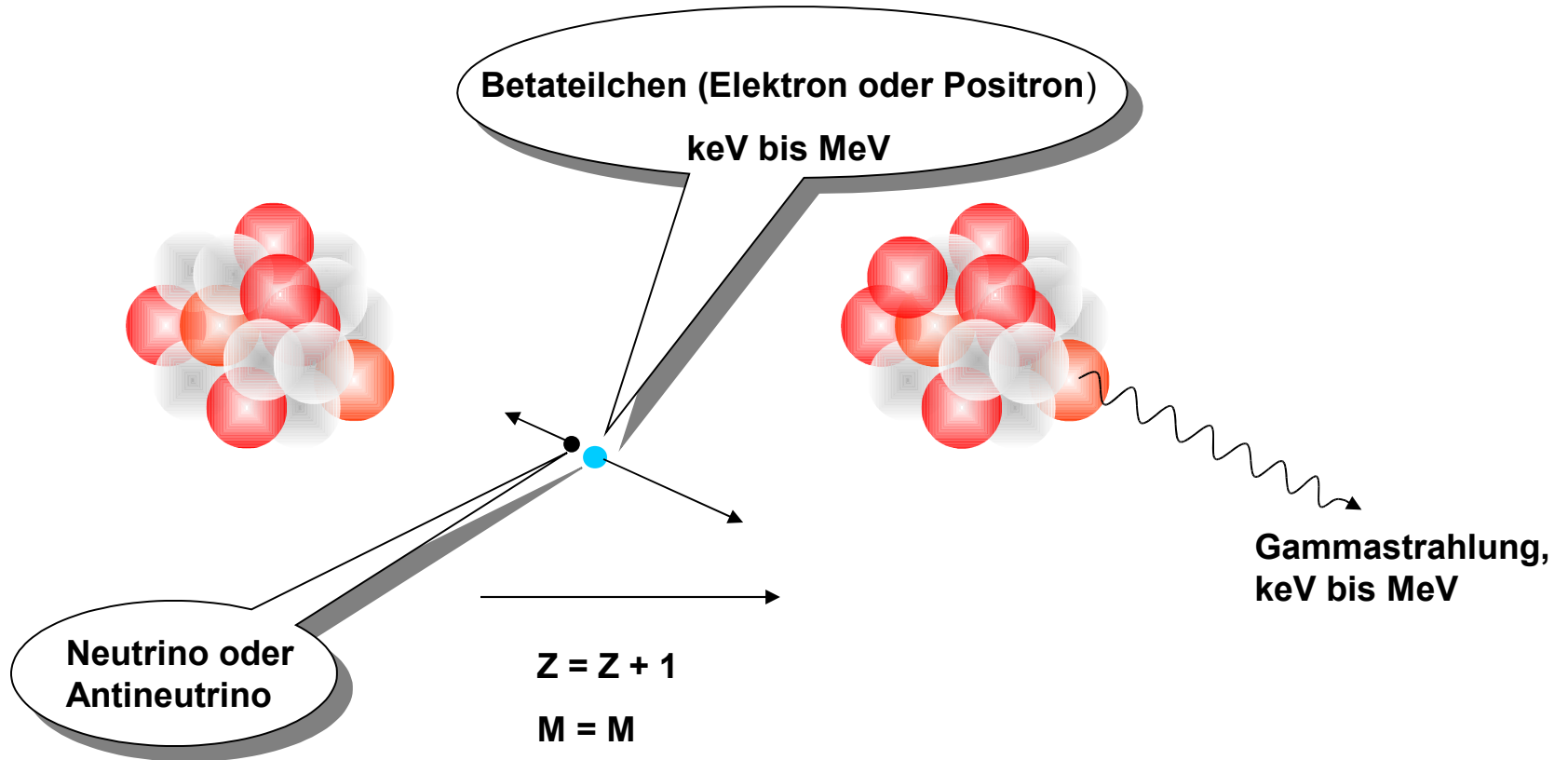


# Alpha-Zerfall

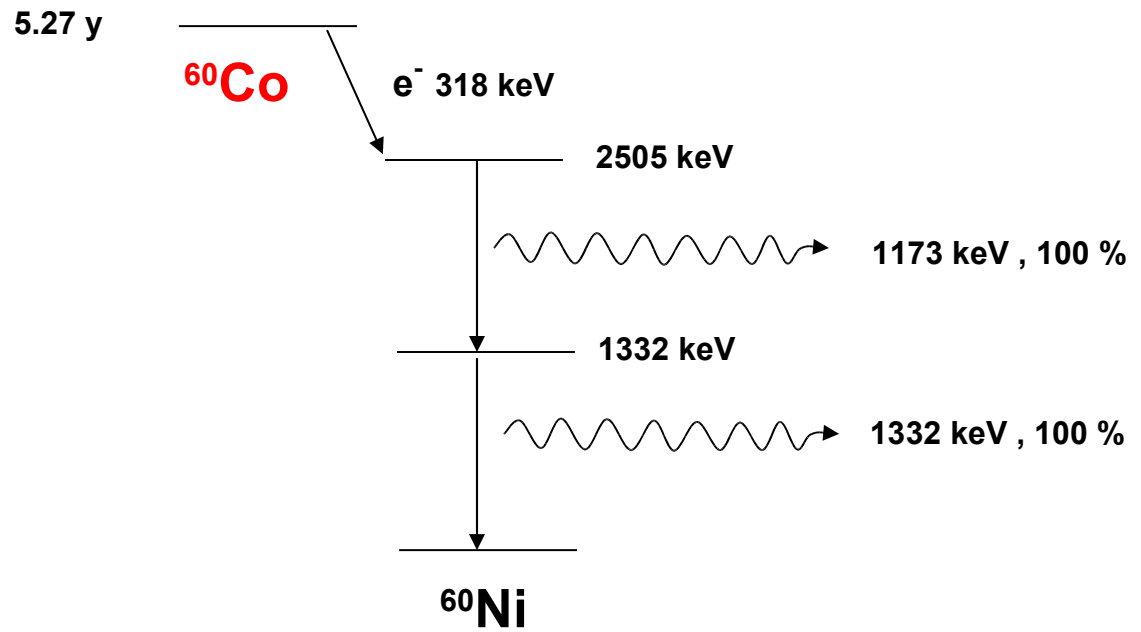


**Z = Kernladung = Anzahl Protonen**

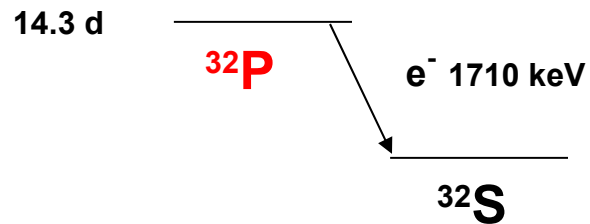
# Beta-Zerfall



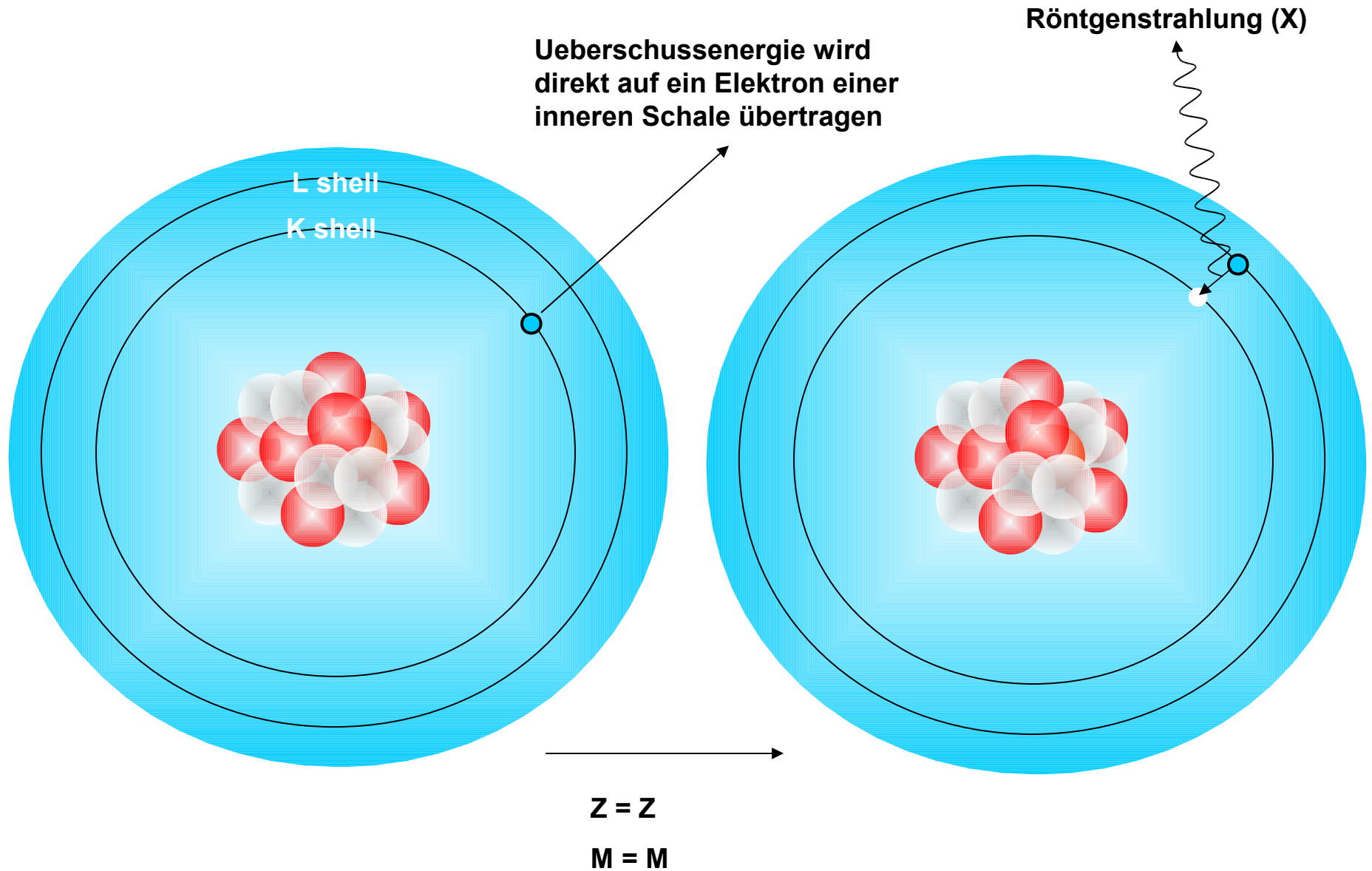
**Beta mit Gamma**



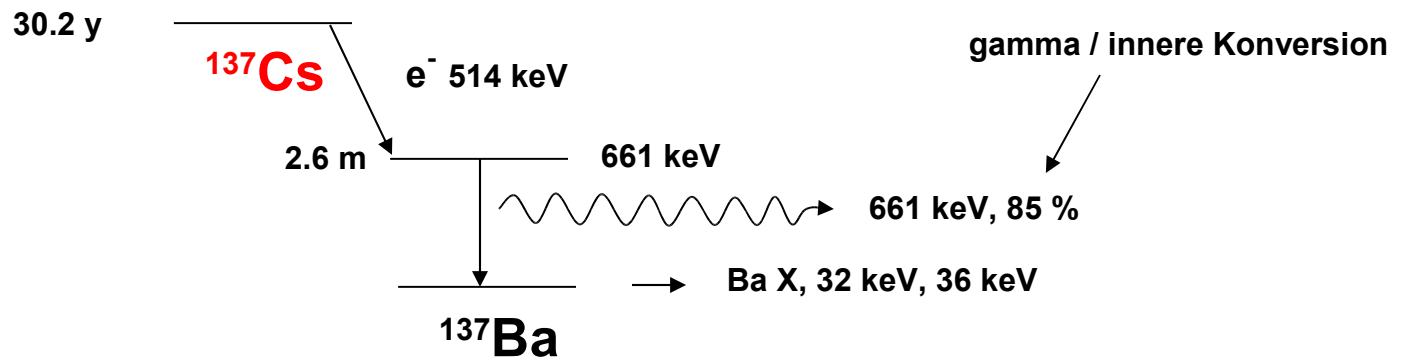
**nur Beta**



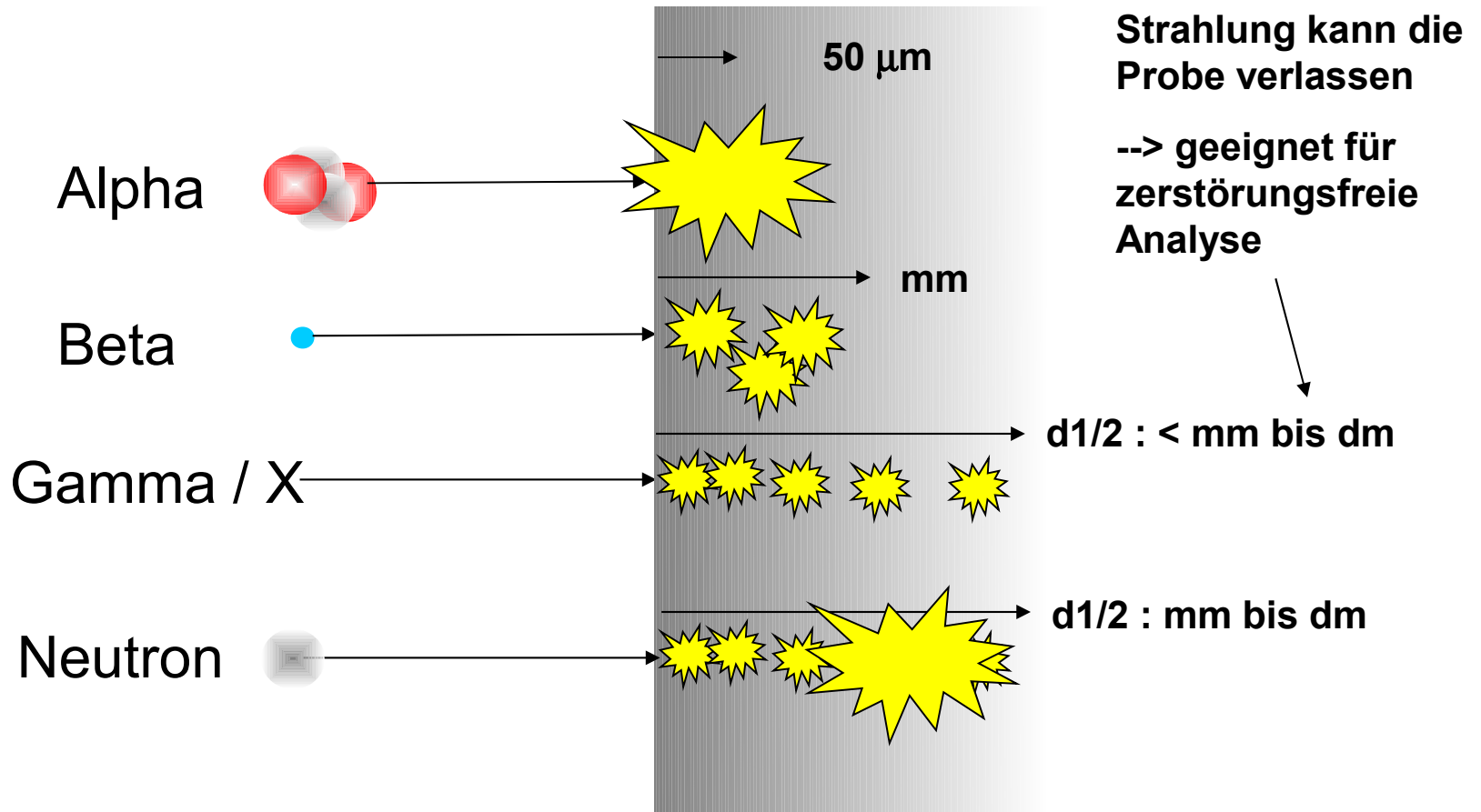
# Innere Konversion



# Innere Konversion

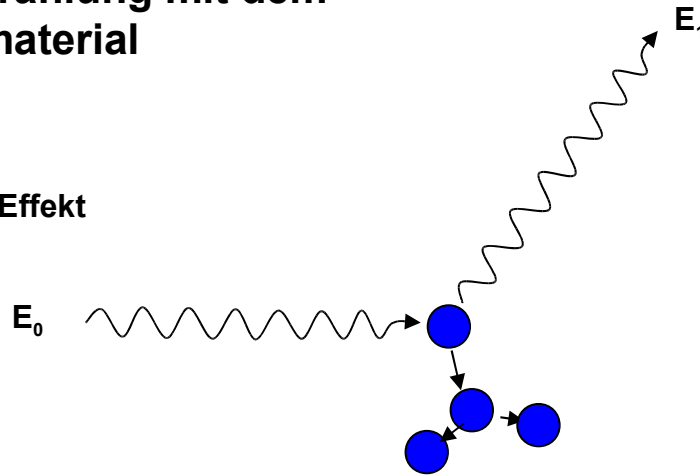


# Wechselwirkung mit Materie

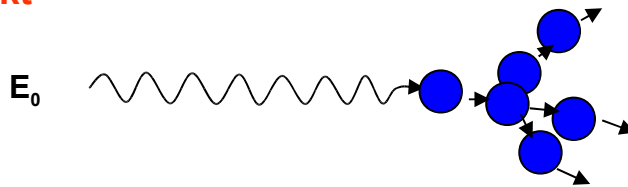


# Wechselwirkung der Gammastrahlung mit dem Detektormaterial

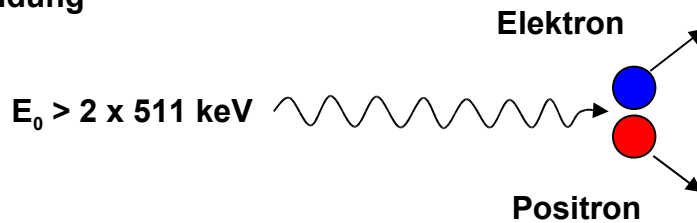
Compton-Effekt



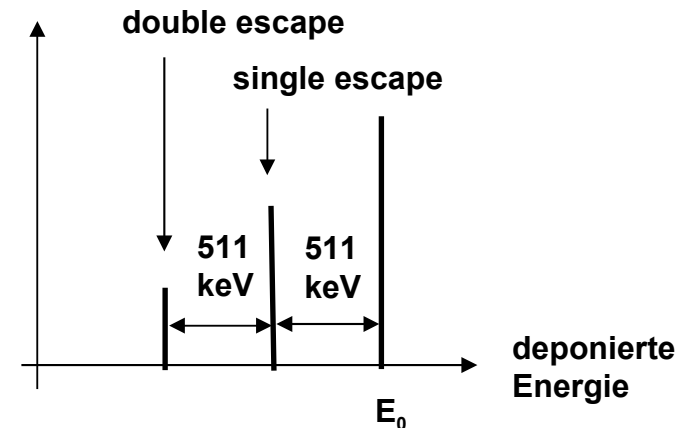
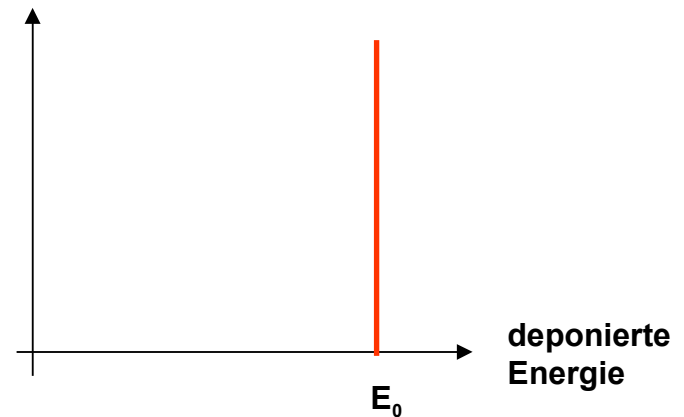
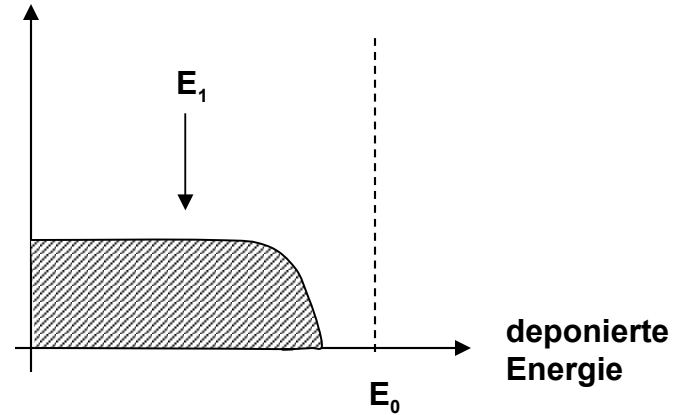
Photoeffekt



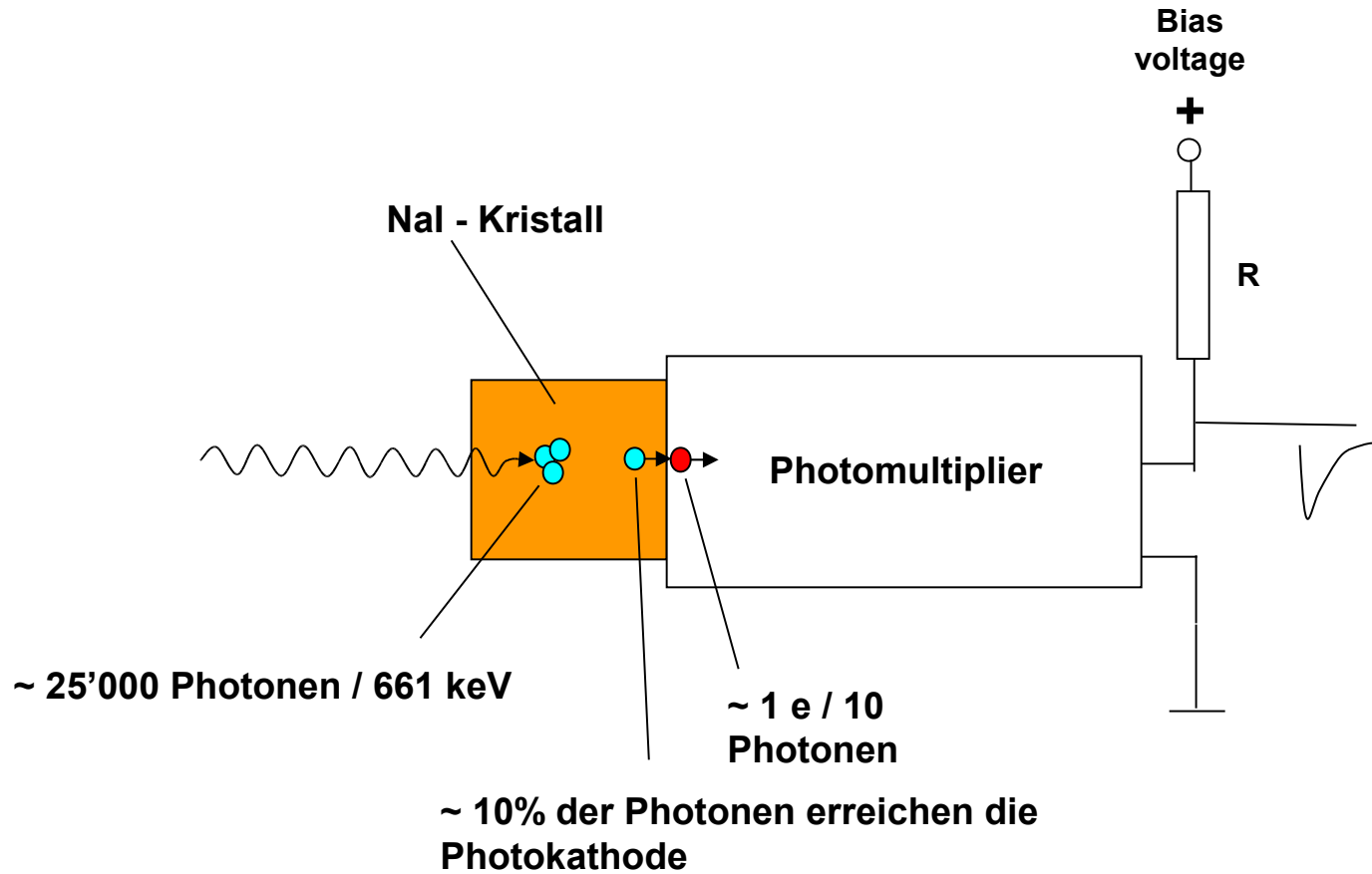
Paarbildung



rel. Häufigkeit



# NaI-Detektor



**Wunschliste für das Detektormaterial :**

1) Elektronen lassen sich direkt sammeln, ohne Umweg über Szintillation und Photomultiplier

—————> Halbleiter

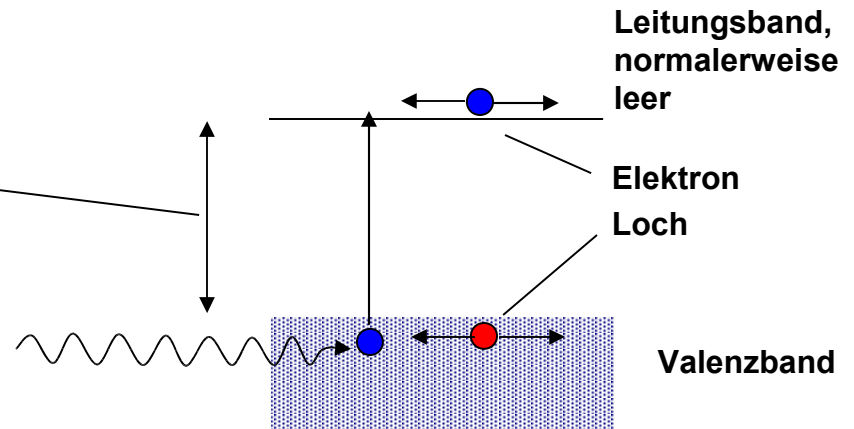
2 ) möglichst grosser Anteil des Photoeffektes. Wahrscheinlichkeit für Photoeffekt steigt mit  $Z^4$   
(Z = Kernladung)

—————> grosse Kernladung

3) kleiner Dunkelstrom

—————> grosser Bandabstand

4) viele Elektronen pro absorbierte Energie

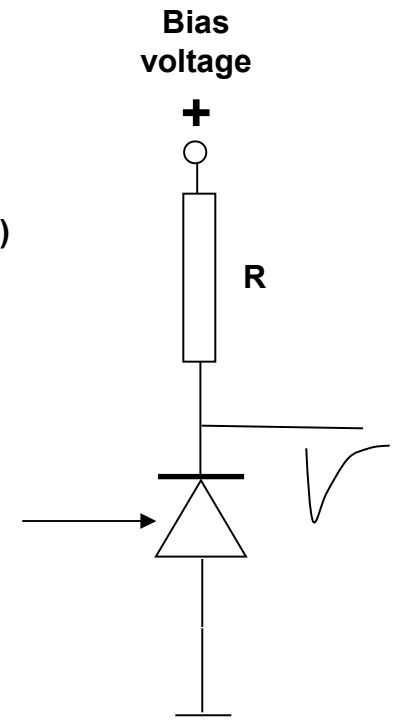
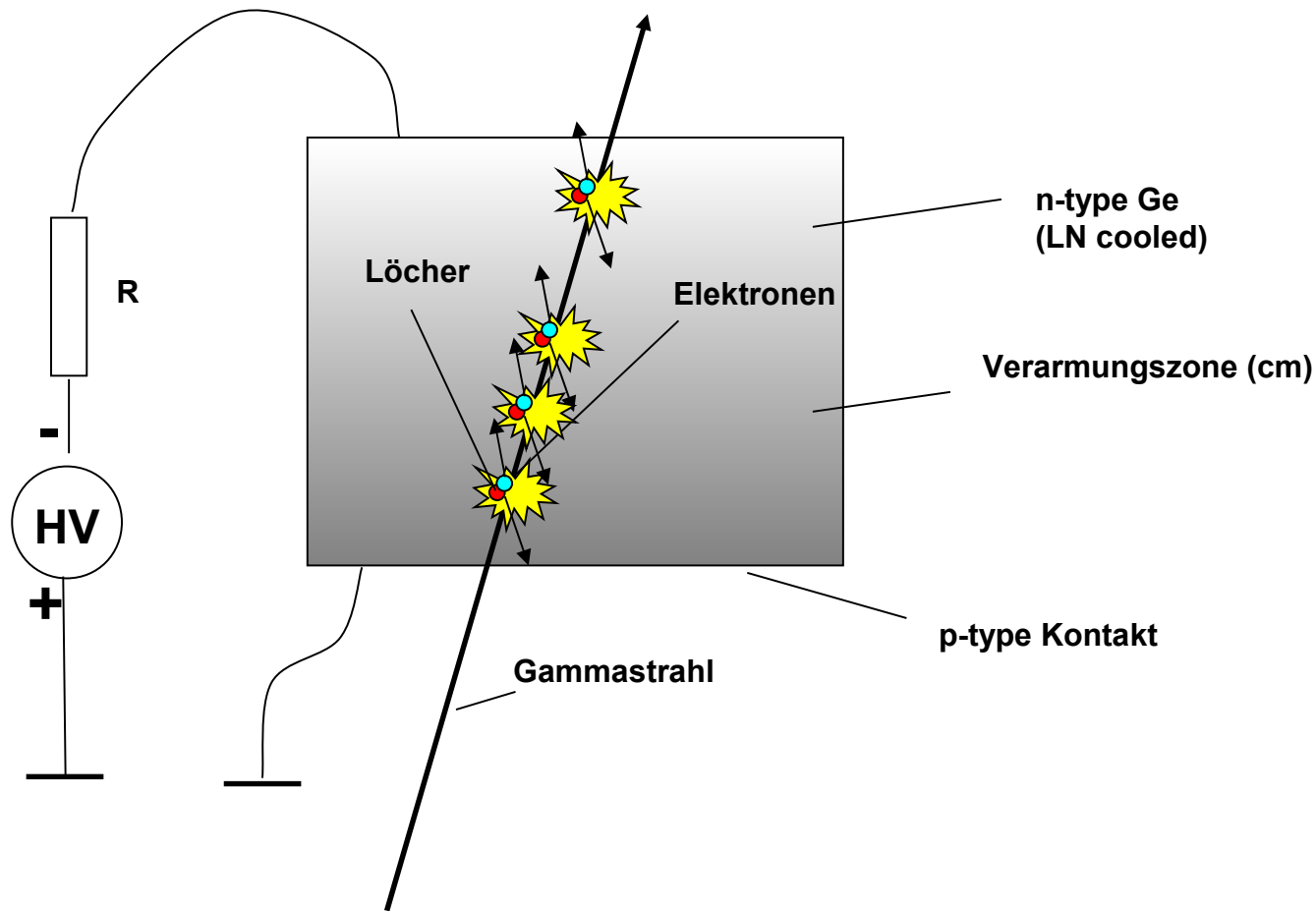


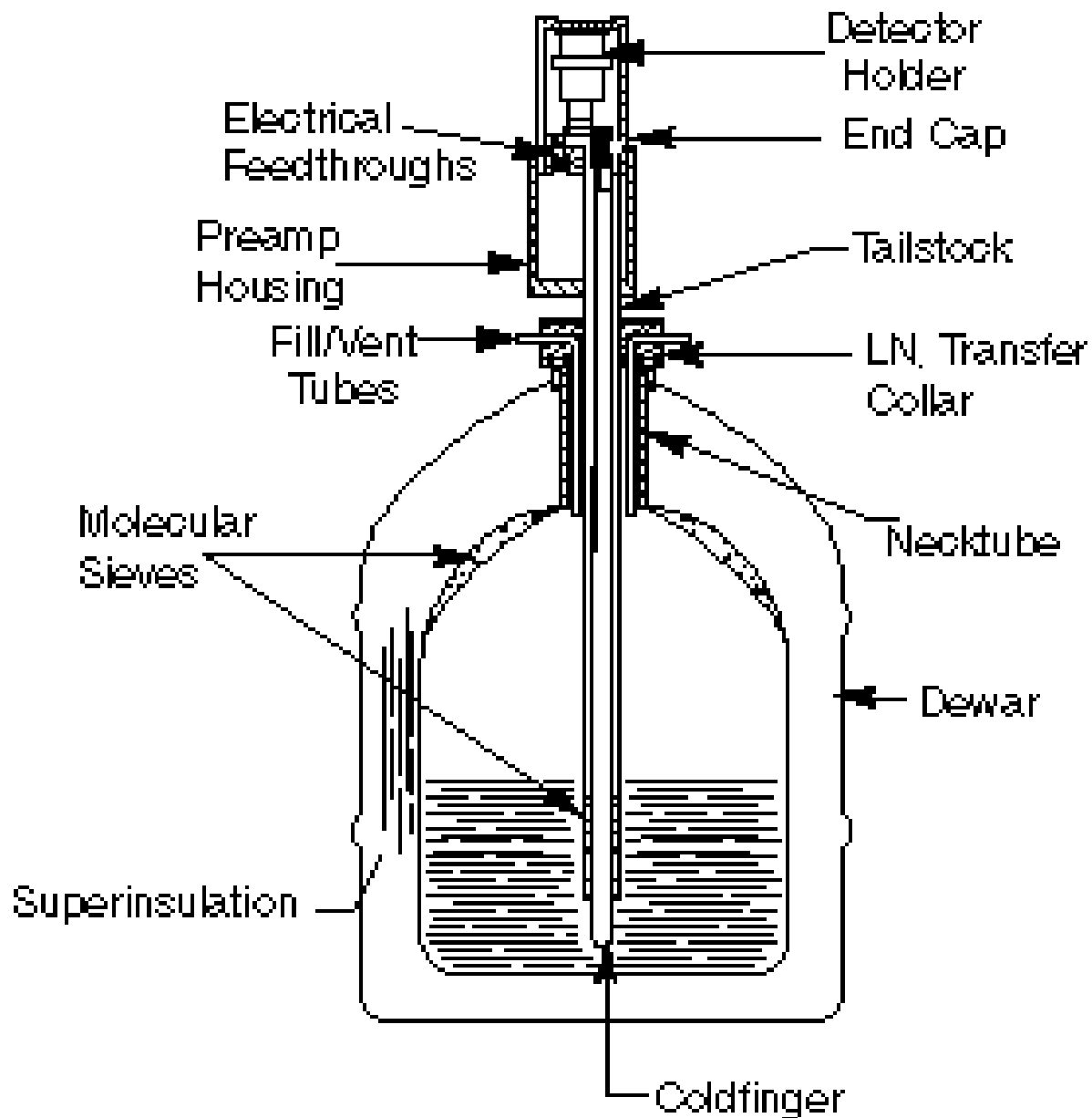
Energie-Niveaus für Elektronen in einem Halbleiter

**Kandidaten**

Material	Z	gap [eV]	E/e-h Paar [eV]
Si	14	1.12	3.61
Ge	32	0.74	2.98
CdTe	48, 52	1.47	4.43
Hgl <sub>2</sub>	80, 53	2.13	6.5
GaAs	31, 33	1.43	5.2

muss gekühlt werden





## Useful energy range for various Ge detectors

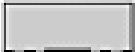
Structure Code:

Active Volume   
 Diffused Contact (N+)   
 Implanted or Barrier Contact (P+)   
 Passive Surface 

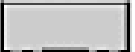
Ultra LEGe



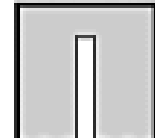
LEGe



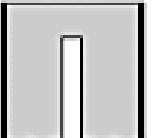
BEGe



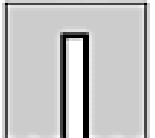
Coaxial Ge



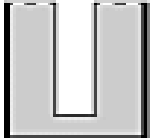
XiRa



REGe



Well



Salient Characteristics

- Low Energy Response
- High Resolution
- Peak Shape

- Large Area
- Thin Window
- High Resolution

- Broad Energy Range
- High Efficiency
- High Resolution

- High Efficiency
- High Resolution

- Thin Window
- High Efficiency

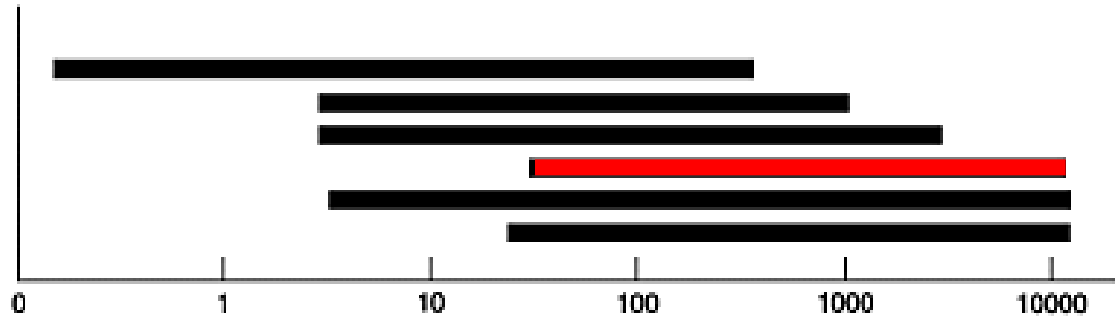
- Thin Window
- Neutron Damage Resistant

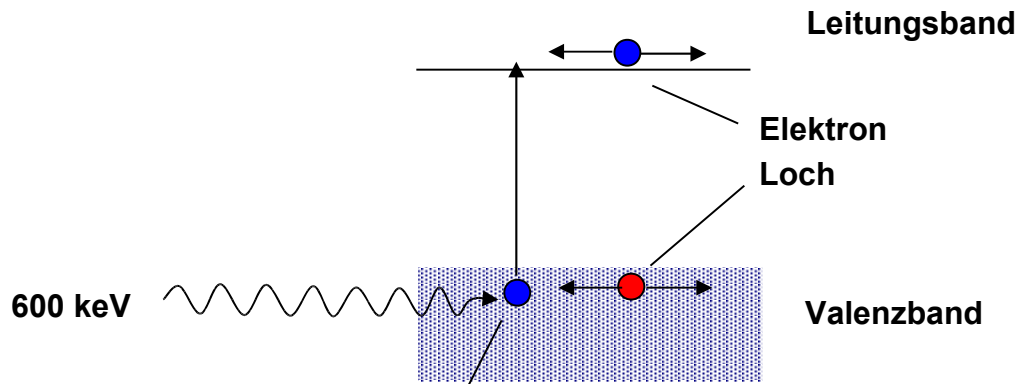
- 4π Counting
- High Efficiency

Detector Type:

- Ultra LEGe Germanium
- Low Energy Germanium
- Broad Energy Germanium
- Coaxial Germanium
- Reverse-Electrode (REGe) and XiRa
- Germanium Well

Energy (keV)





Photoeffekt --> deponierte Energie = 600 keV

3 eV / Elektron-Loch-Paar

200'000 Elektronen (N)

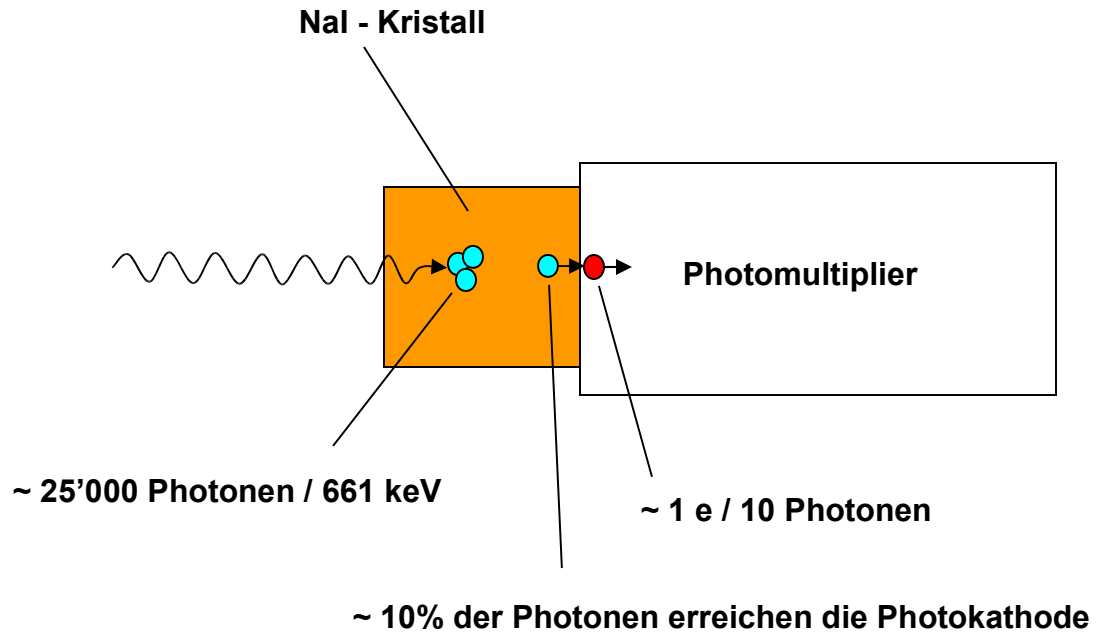
stat. Schwankung der Zahl der Elektronen =  $\sqrt{N}$

$\sqrt{200'000} \sim 450$

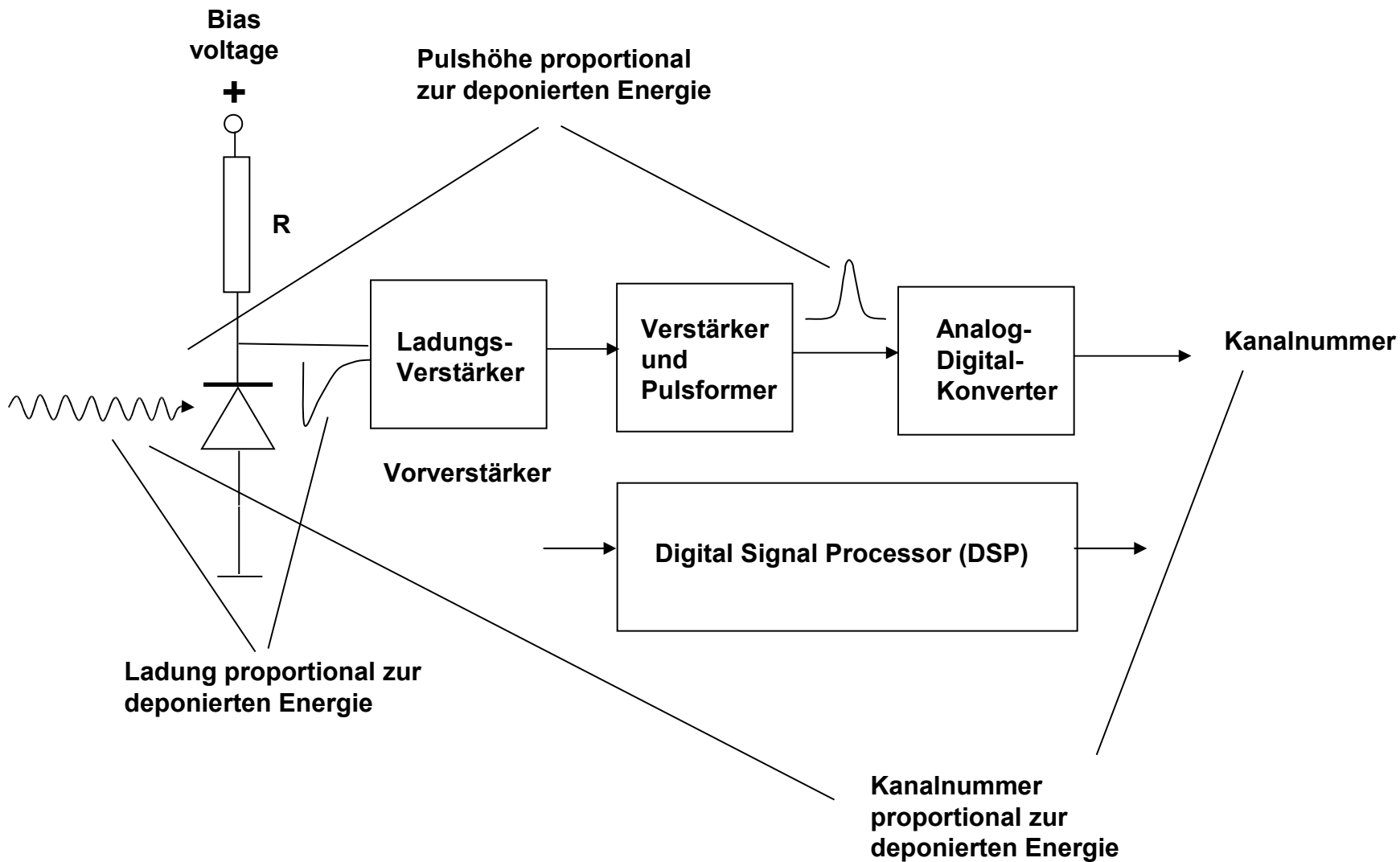
---> rel. Schwankung (Rauschen) =  $1/450$

---> 1.3 keV bei 600 keV

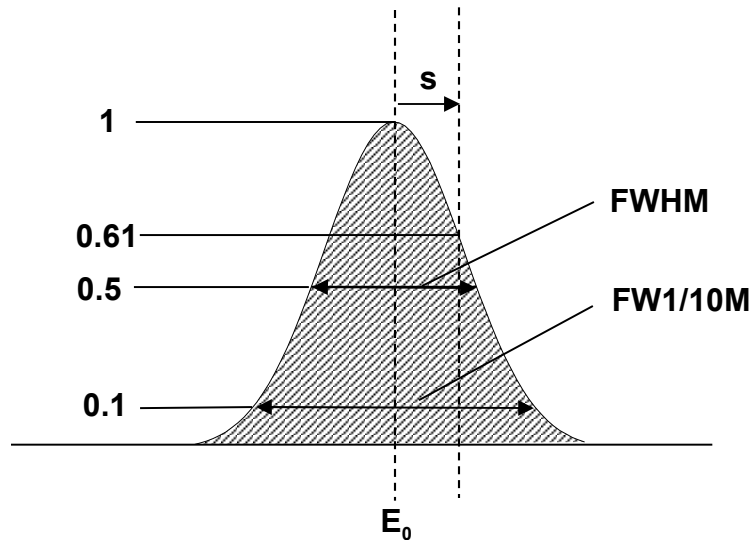
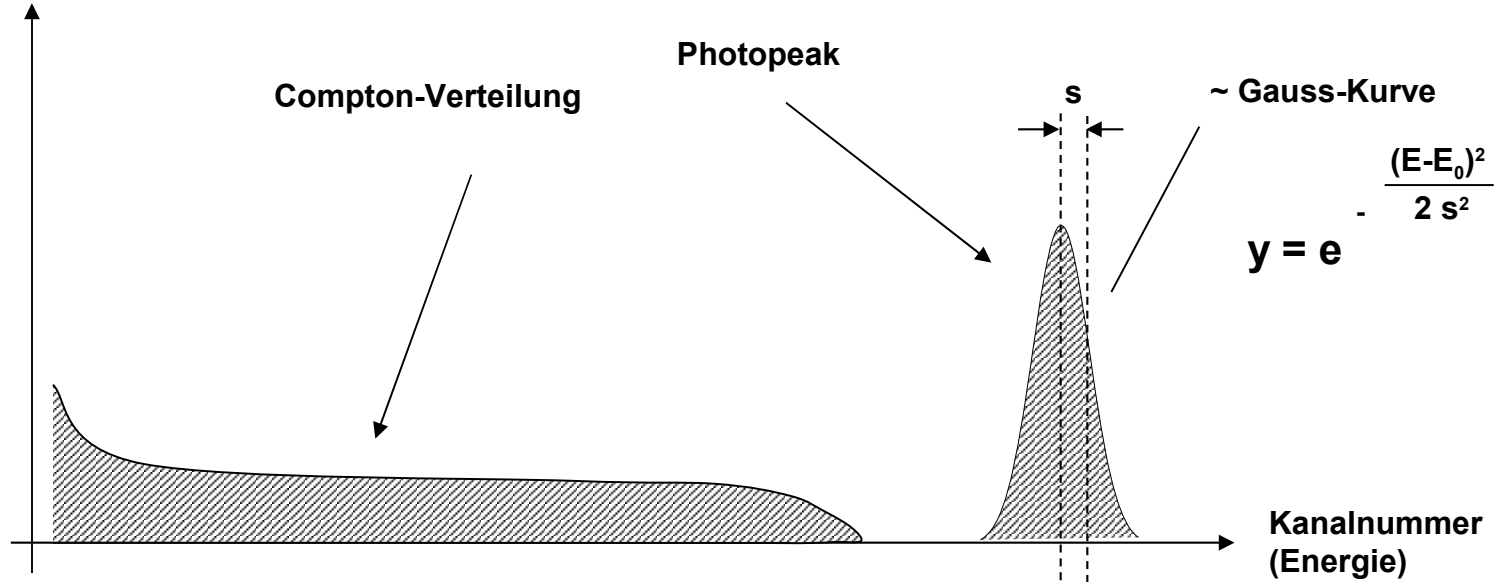
Zum Vergleich : NaI-Detektor ~ 40 keV bei 600 keV



→ ~ 250 Elektronen,  $\sqrt{250}/250 \sim 6 \%$



Anzahl Ereignisse / Kanal

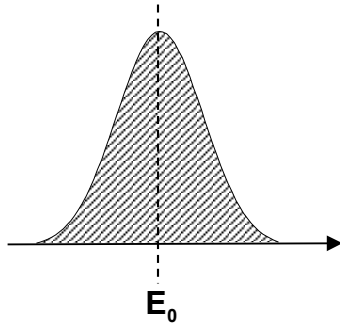


$$\text{FWHM} = 2.35 \times s$$

$$\text{FW1/10M} = 4.29 \times s = 1.83 \times \text{FWHM}$$

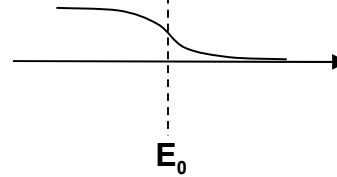
# Peak-Analyse

Gauss-Kurve



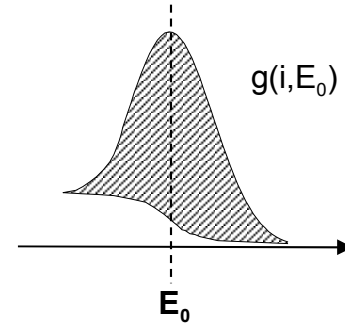
+

Untergrund  
links etwas  
höher als rechts  
wegen  
Verlusten

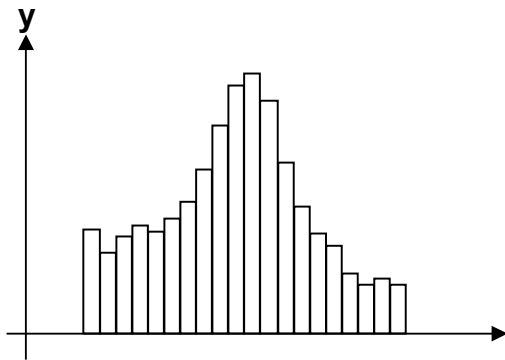


=

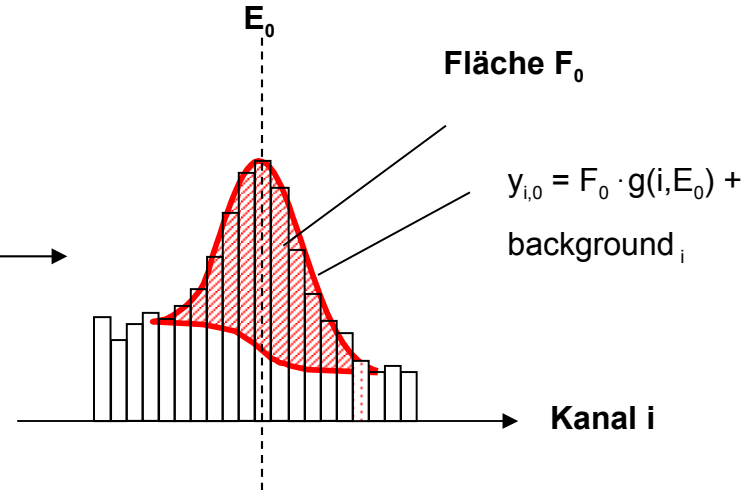
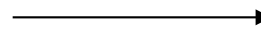
Für die Auswertung  
benützte Kurvenform

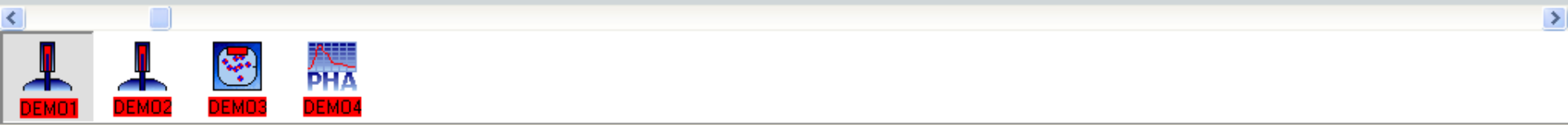
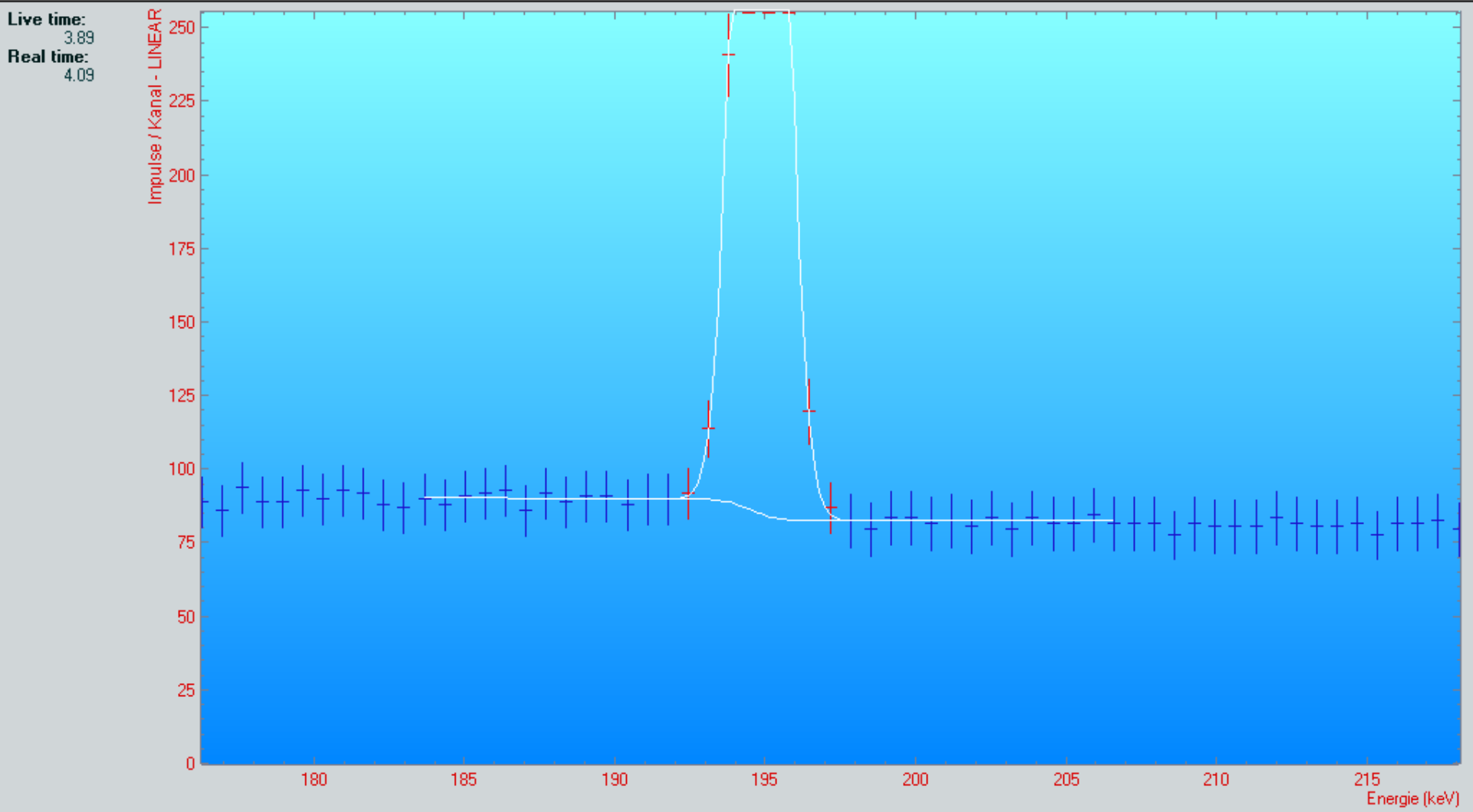


counts / Kanal



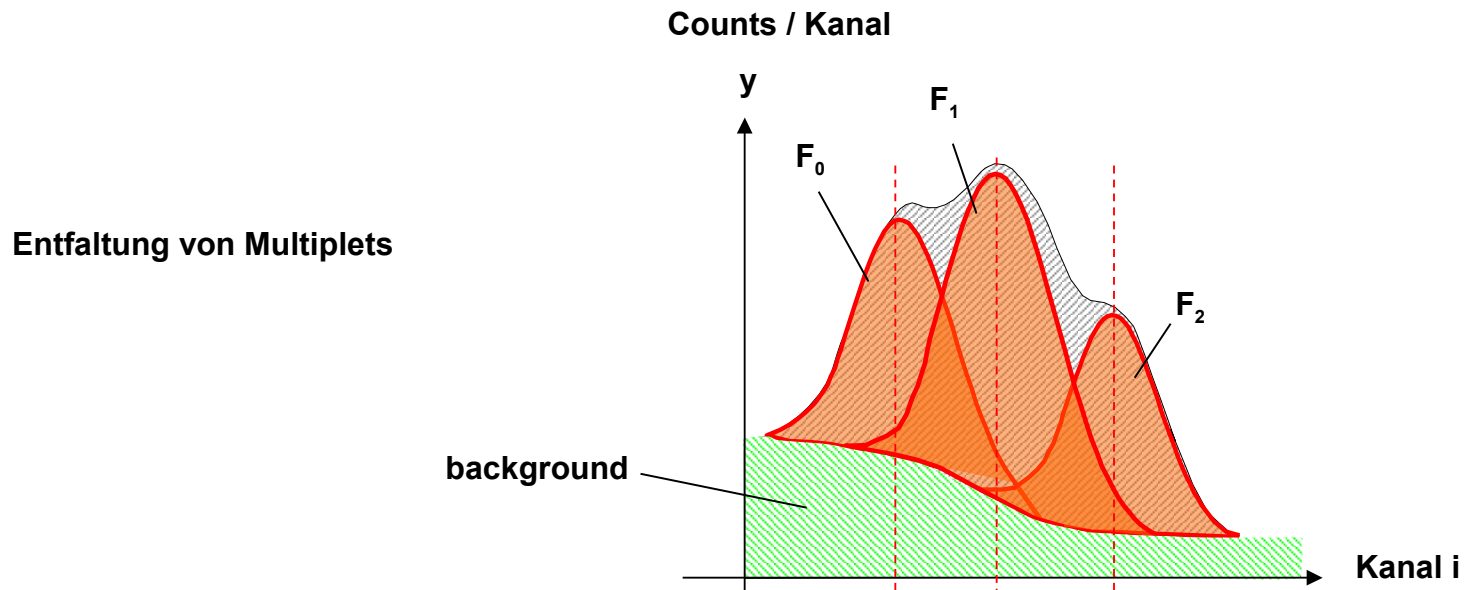
best fit





Energiekalibrierung, keV / Kanal

Peakbreite (FWHM) als Funktion der Energie



**Counts pro Kanal**



$$y_i = F_0 \cdot g(i, E_0) + F_1 \cdot g(i, E_1) + F_2 \cdot g(i, E_2) + \text{background}_i$$

$$y_{i+1} = F_0 \cdot g(i+1, E_0) + F_1 \cdot g(i+1, E_1) + F_2 \cdot g(i+1, E_2) + \text{background}_{i+1}$$

...

$$y_n = F_0 \cdot g(n, E_0) + F_1 \cdot g(n, E_1) + F_2 \cdot g(n, E_2) + \text{background}_n$$

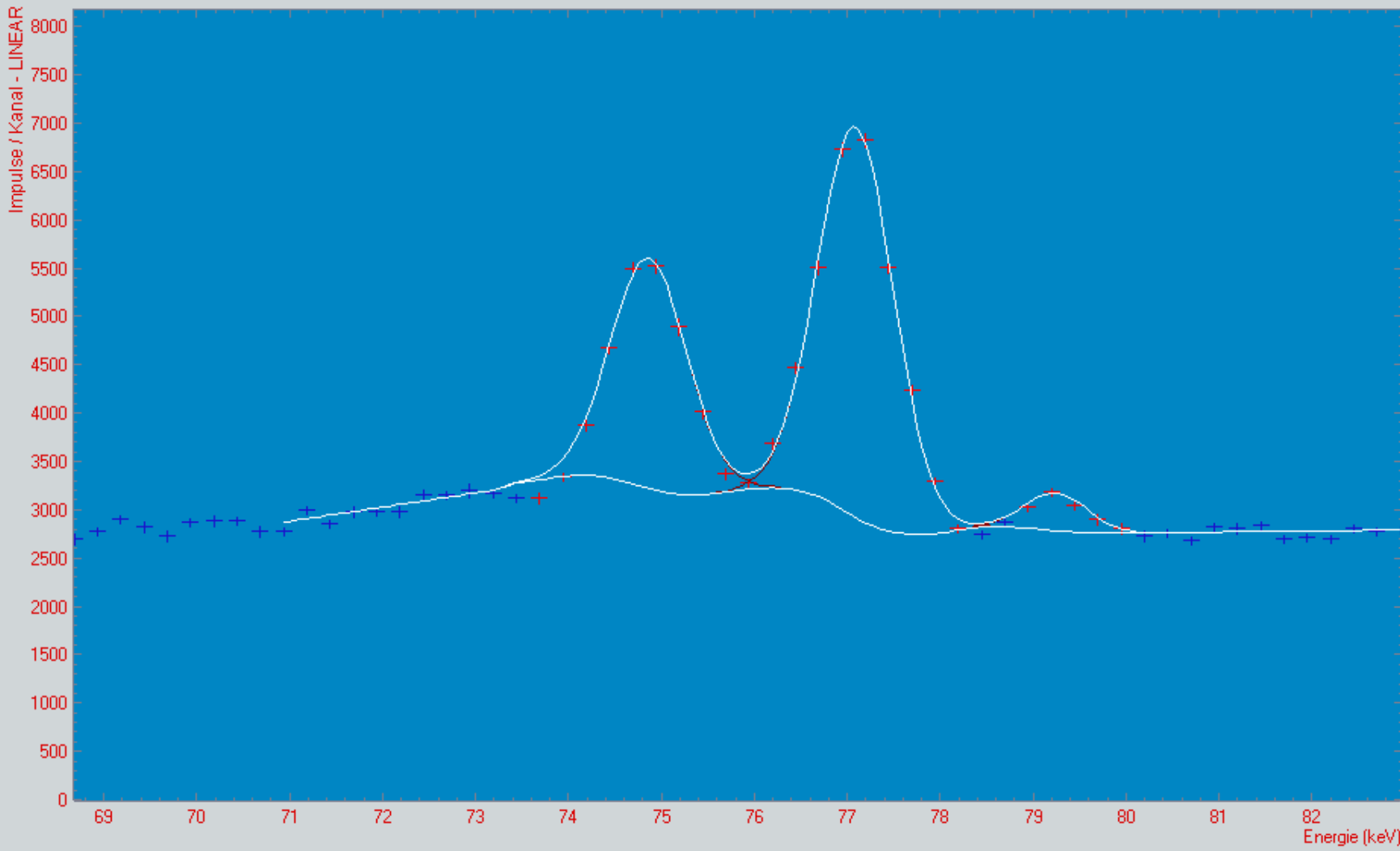
**Least squares fit, z.B. mit Singular Value Decomposition (SVD)**



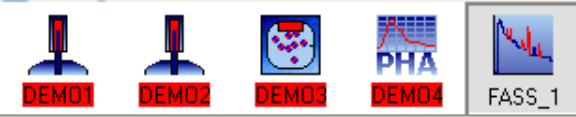
$$F_0, E_0, F_1, E_1, F_2, E_2$$



**Live time:**  
600.00  
**Real time:**  
826.46  
**Kanal:**  
280  
**Energie:**  
(keV)  
69.94  
**Inhalt:**  
2889



Navigation arrows and a scroll bar.



Kanal 280 69.94 keV 2889 Imp.

Zuordnung der peaks zu den Nukliden :

Nuklidbibliothek

Isotope table C:\INTERW50\GAMMA\MixedNuclide.ISO

Isotope table MixedNuclide.ISO made 13.01.2001 15:09:39

Path: C:\INTERW50\GAMMA  
Comment: Mixed Nuclides from LARA

1. Isotope: CO-57 Decay time: 271.770 Days

No.	Energy [keV]	GAMMA in %	Factor	Uncert. [%]	MDA
1	14.410	9.140	1.00E+00	2.63	
2	122.060	85.680	1.00E+00	0.15	*
3	136.470	10.670	1.00E+00	1.22	

2. Isotope: CO-60 Decay time: 5.271 Years

No.	Energy [keV]	GAMMA in %	Factor	Uncert. [%]	MDA
1	1173.240	99.890	1.00E+00	0.02	
2	1332.500	99.983	1.00E+00	0.00	*

The table includes 2 isotopes and 5 lines.

**Edit isotope** [X]

Isotope CO-57

Half life  Days Type

N	Energy(keV)	Gamma%	Factor	Uncert. %	MDA
1	<input type="text" value="14.41"/>	<input type="text" value="9.140"/>	<input type="text" value="1.00E+00"/>	<input type="text" value="2.630"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="&gt;"/>
2	<input type="text" value="122.06"/>	<input type="text" value="85.680"/>	<input type="text" value="1.00E+00"/>	<input type="text" value="0.150"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="text" value="&gt;"/>
3	<input type="text" value="136.47"/>	<input type="text" value="10.670"/>	<input type="text" value="1.00E+00"/>	<input type="text" value="1.220"/>	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text" value="&gt;"/>
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="&gt;"/>
5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="&gt;"/>
6	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="&gt;"/>
7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> <input type="text" value="&gt;"/>

Daughter Fraction(%) Daughter Fraction(%)

CO-60

CO-57

CO-60

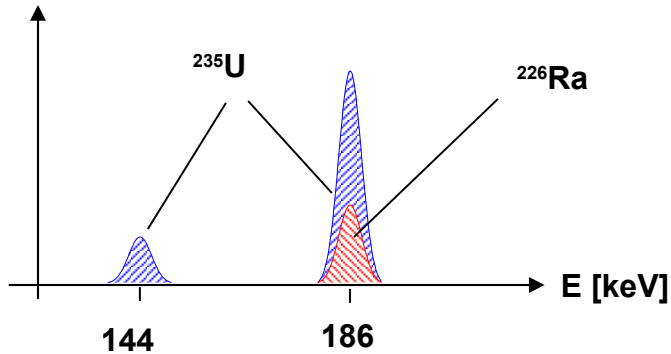
UK

Cancel Undo

- Use this line for MDA
- Require line for identification of isotope
- Don't use line for identification of isotope
- Don't use this line for activity calculation

# Interferenzen

Peaks von 2 oder mehr Nukliden bei der gleichen Energie, oder so nahe beieinander, dass sie nicht aufgelöst werden können.



<sup>235</sup> U :	144 keV,	11.0 %
	185.7 keV,	57.2 %
<sup>226</sup> Ra :	186.2 keV,	3.3 %

## Matrix-Methode

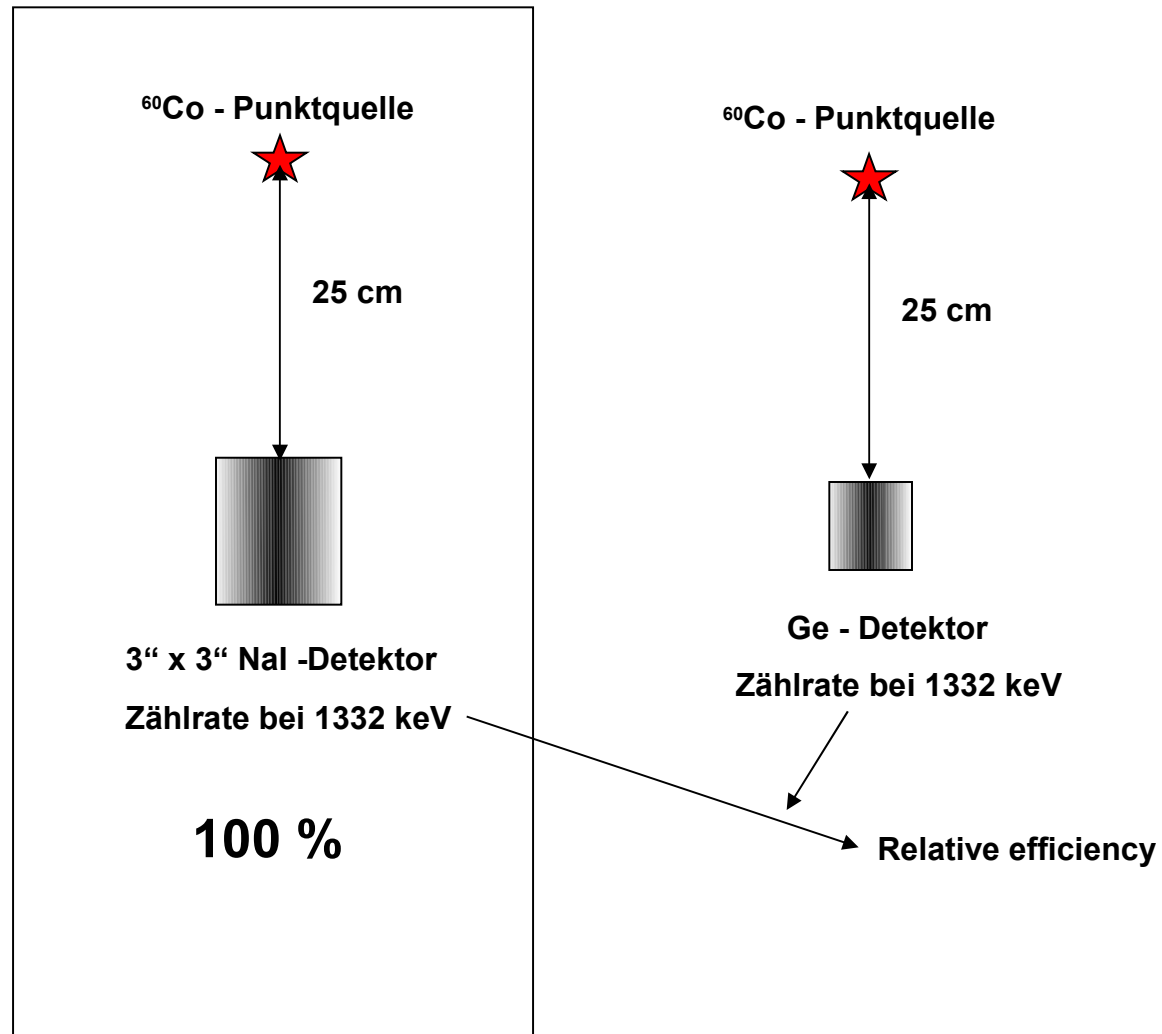
gesuchte Aktivität des Nuklides 1  
 Flächenanteil des Nuklides 1 bei der Energie  $E_0$   
 Fläche/Aktivität bei Energie  $E_0$  für Nuklid 1

$$\begin{aligned}
 E_0 : F_0 &= A_0 \cdot k_{00} + A_1 \cdot k_{10} + A_2 \cdot k_{20} + \dots \\
 E_1 : F_1 &= A_0 \cdot k_{01} + A_1 \cdot k_{11} + A_2 \cdot k_{21} + \dots \\
 &\dots \\
 E_n : F_n &= A_0 \cdot k_{0n} + A_1 \cdot k_{1n} + A_2 \cdot k_{2n} + \dots
 \end{aligned}$$

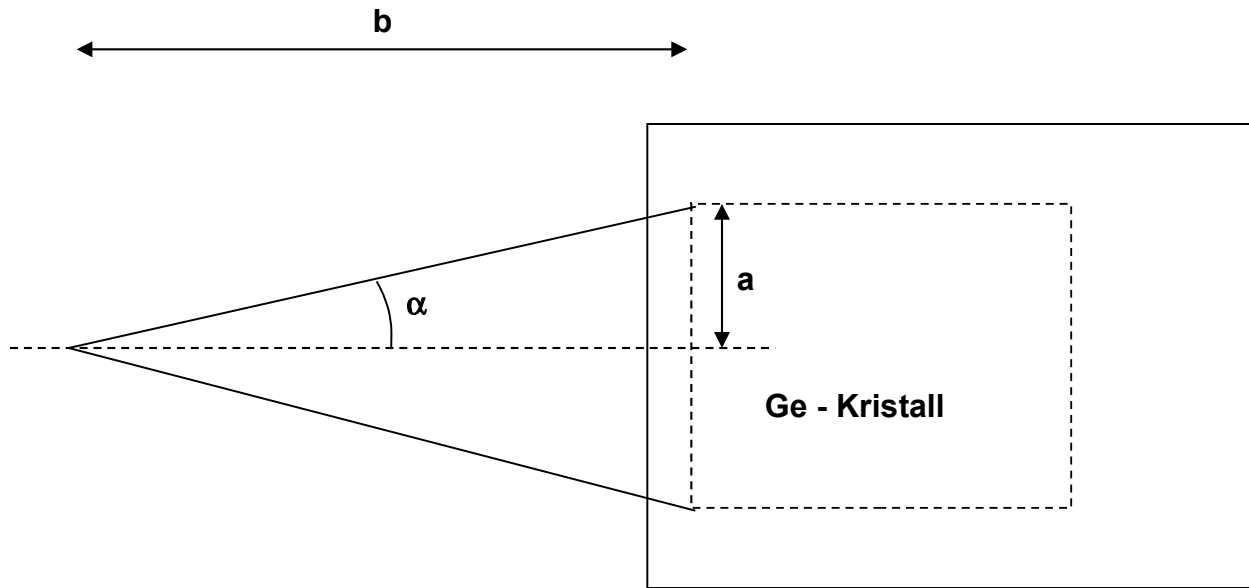


# Zählausbeute (Efficiency)

Relative efficiency



→ Erlaubt einen groben Vergleich der Ge - Detektoren



Raumwinkel :

$$\Omega = 1/2 \cdot (1 - \cos(\alpha))$$

Näherung bis  $\alpha < 30^\circ$  :

$$\Omega = 1/4 \cdot (a/b)^2$$

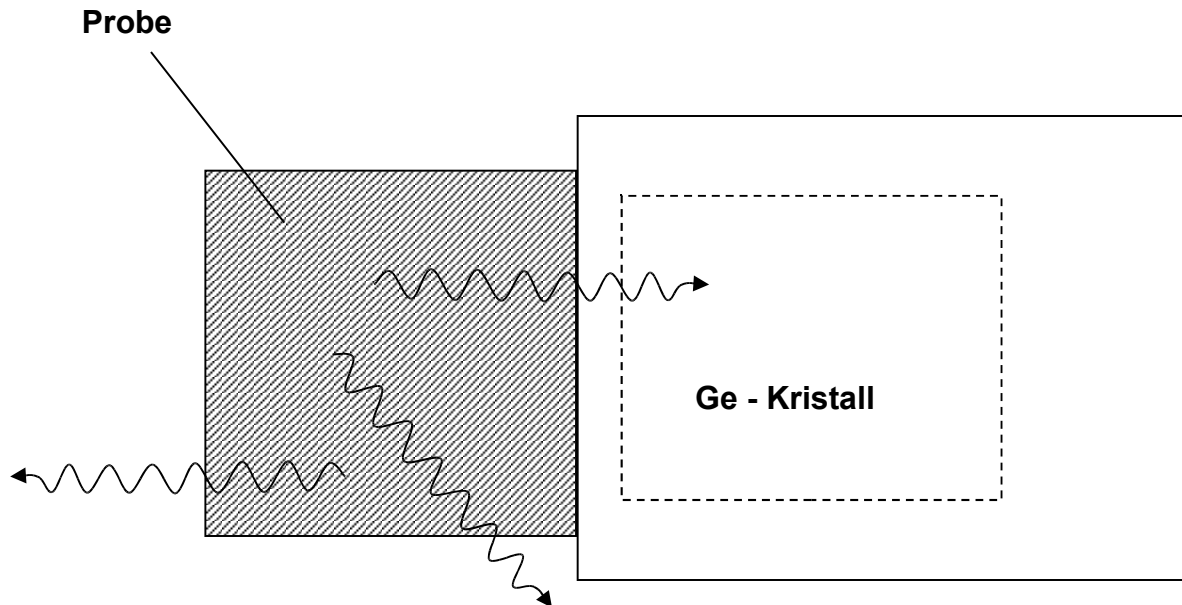
Beispiele :

$a = 3 \text{ cm}$ ,  $b = 10 \text{ cm}$

exakt : 2.1 %, Näherung : 2.3 %

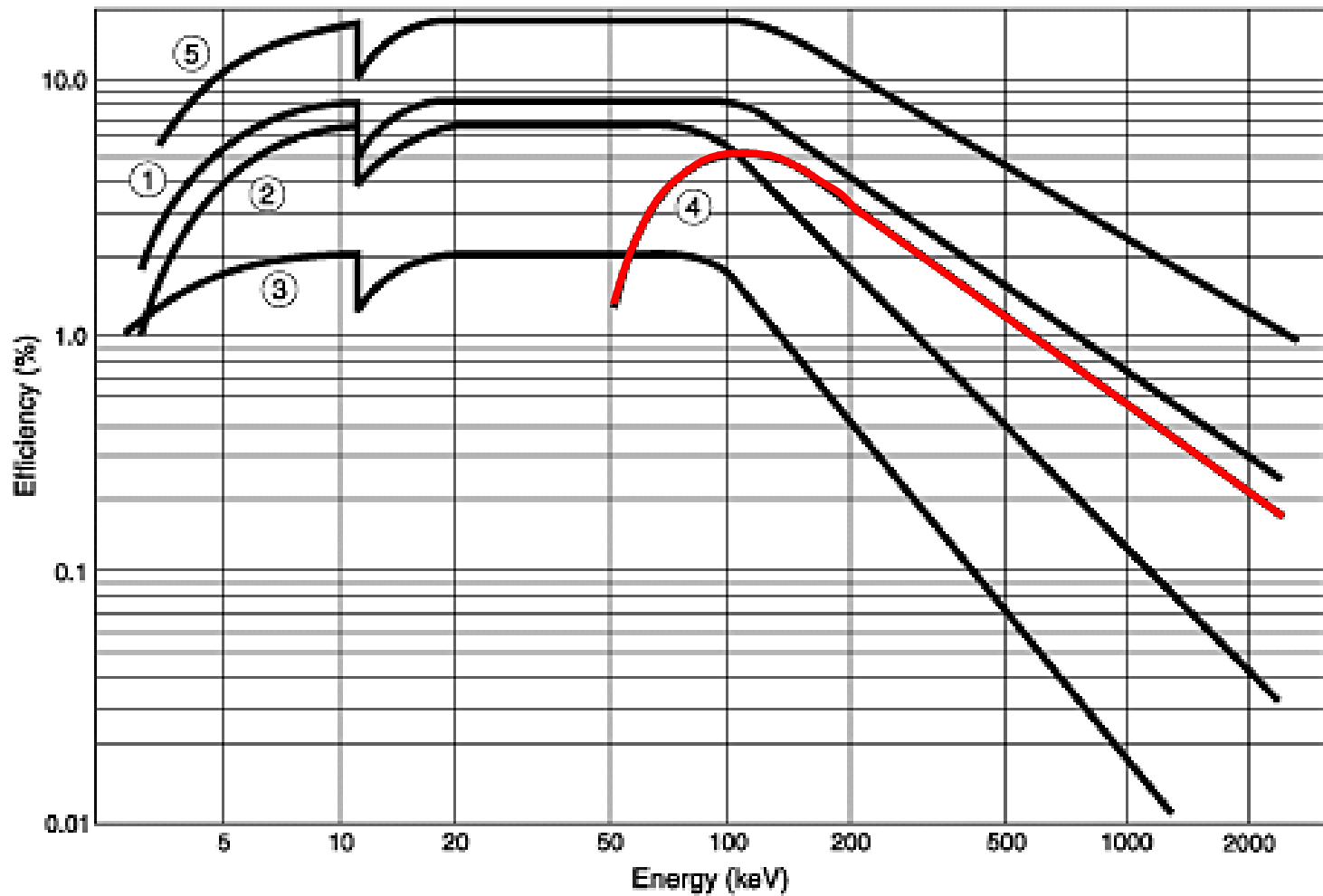
$a = 3 \text{ cm}$ ,  $b = 6 \text{ cm}$

exakt : 5.3 %, Näherung : 6.3 %



Monte-Carlo Simulation,  
gut geeignet um den  
Einfluss kleiner  
Geometrie-Änderungen  
abzuschätzen.

Probleme : Dimensionen  
des Detektors selten  
genau genug bekannt



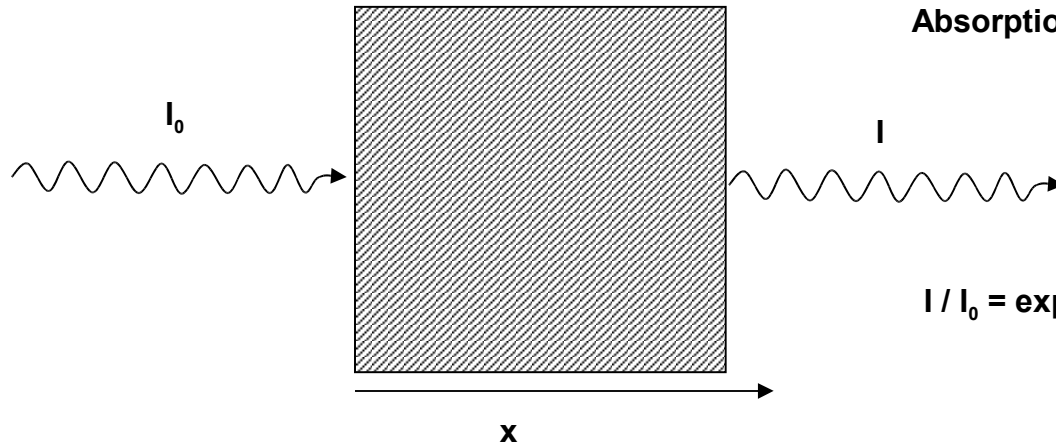
Typical absolute efficiency curves for various Ge detectors with 2.5 cm source to end-cap spacing

- Code: ① REGe, 15% Relative Efficiency  
XtRa, 15% Relative Efficiency
- ② LEGe, 10 cm<sup>2</sup> x 15 mm thick
- ③ LEGe, 200 mm<sup>2</sup> x 10 mm thick
- ④ Coaxial Ge, 10% Relative Efficiency
- ⑤ BEGe, 5000 mm<sup>2</sup> x 30 mm thick

# „externe“ Absorption

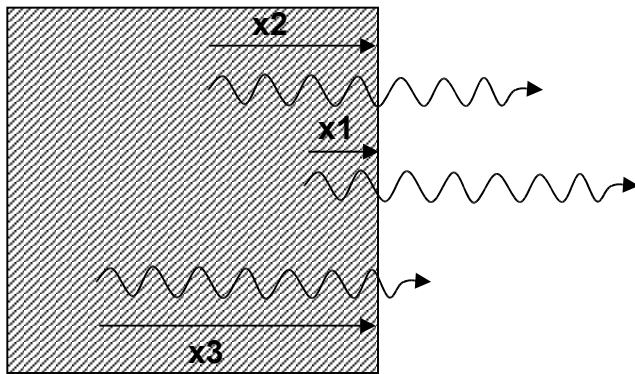
Absorbierendes Material, charakterisiert durch  $\mu/\rho$  und  $\rho$  Dichte

Absorptions-Koeffizient

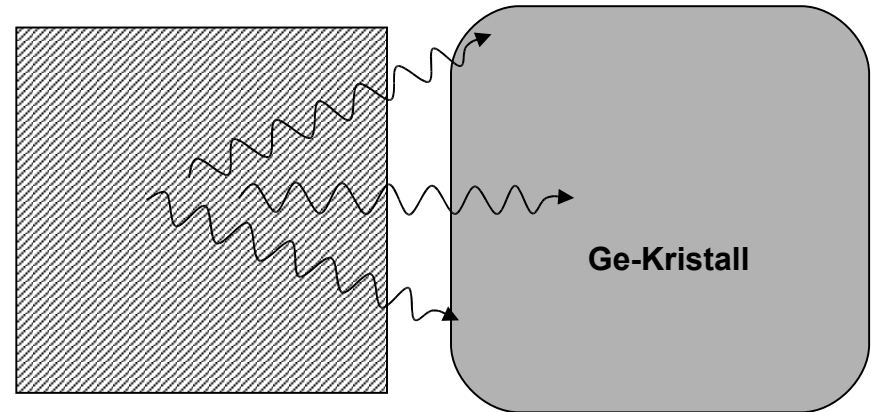


$$I / I_0 = \exp(-(\mu/\rho) \cdot \rho \cdot x)$$

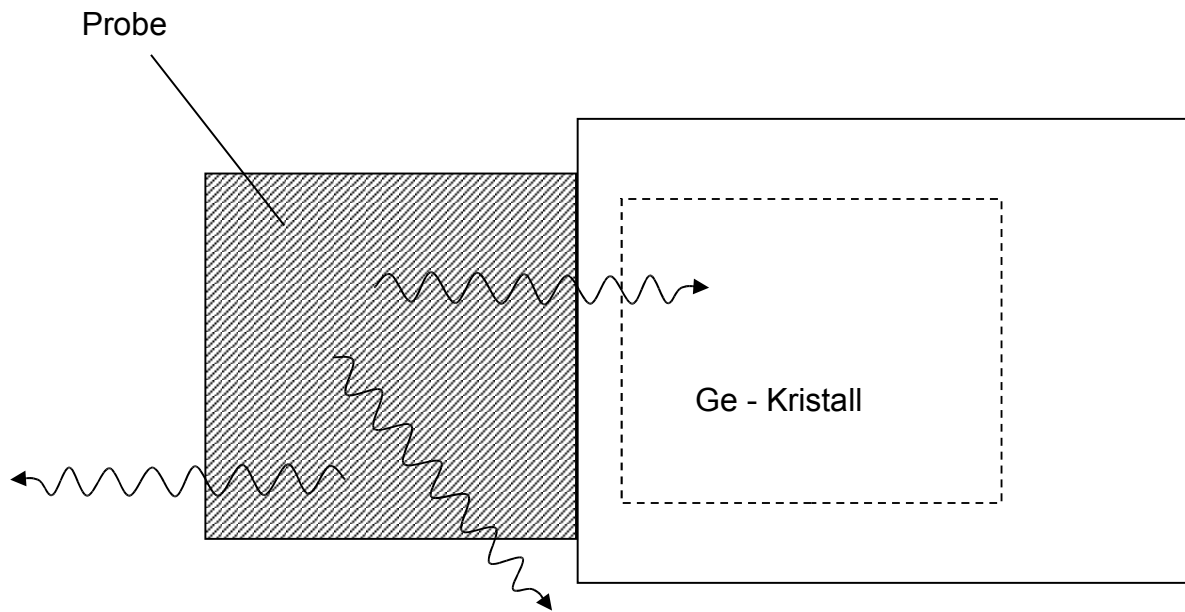
# Selbstabsorption



kollimiert



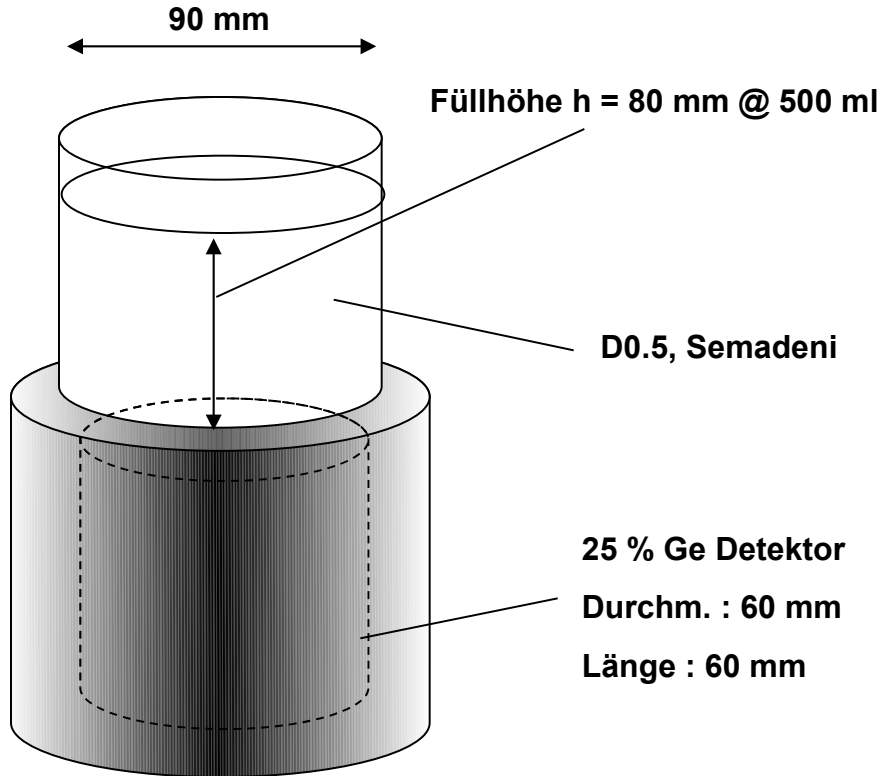
real



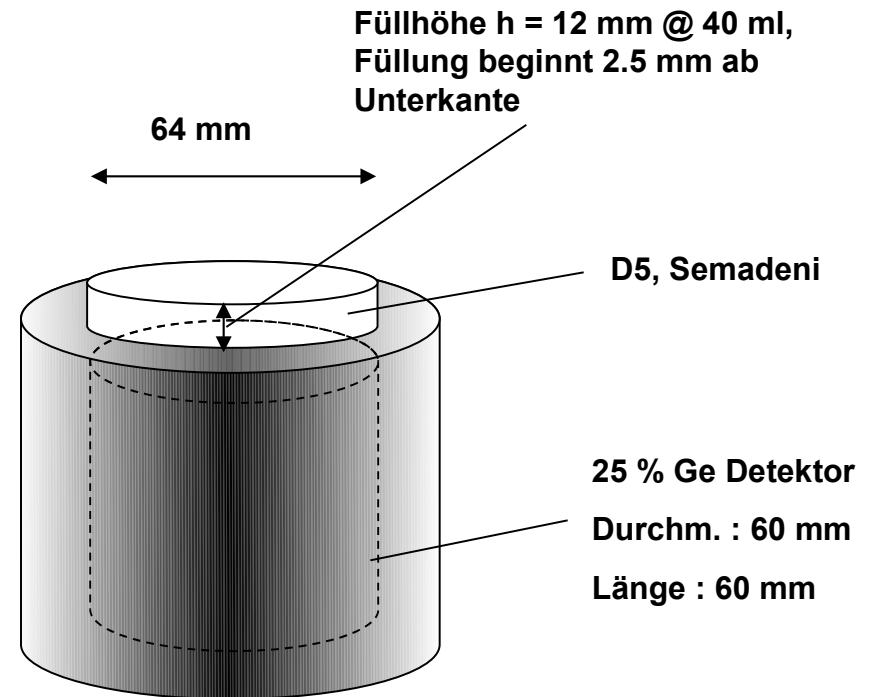
**Monte-Carlo Simulation,  
mit Berücksichtigung  
der Absorption, z.B.  
WinnerTrack**

# Winner Track

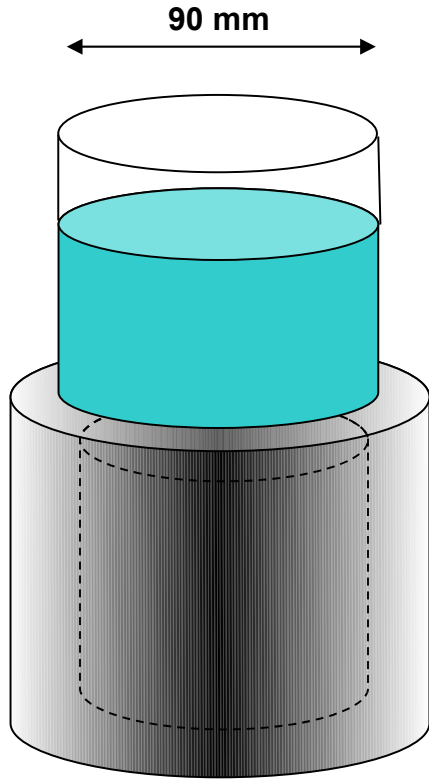
**D0.5**



**D5**

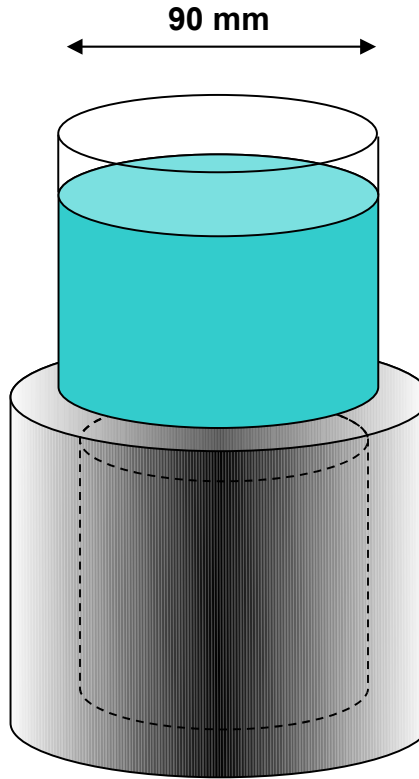


D0.5 Wasser,  $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$



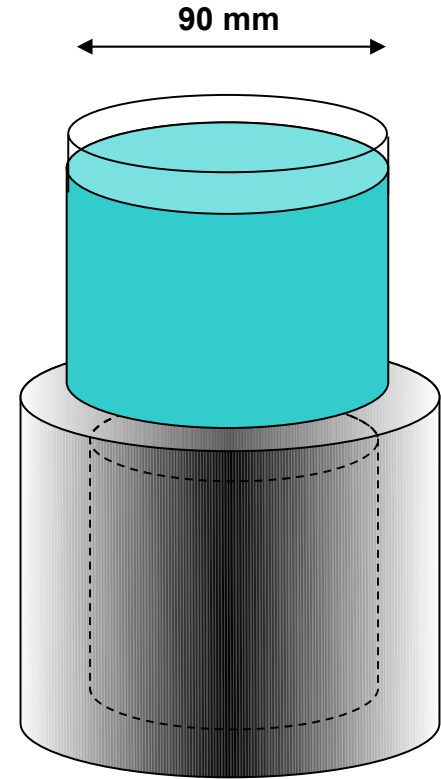
$h = 70 \text{ mm}$

E[keV]	Eff[%]
59	6.68
88	7.19
122	7.23
<b>661</b>	<b>3.29</b>
1332	2.25



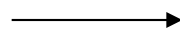
$h = 80 \text{ mm}$

E[keV]	Eff[%]
59	5.92
88	6.39
122	6.44
<b>661</b>	<b>2.96</b>
1332	2.03



$h = 90 \text{ mm}$

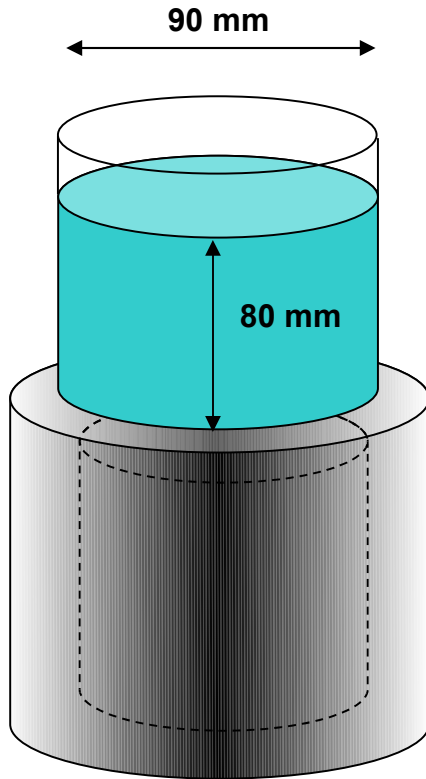
E[keV]	Eff[%]
59	5.31
88	5.75
122	5.80
<b>661</b>	<b>2.68</b>
1332	1.85



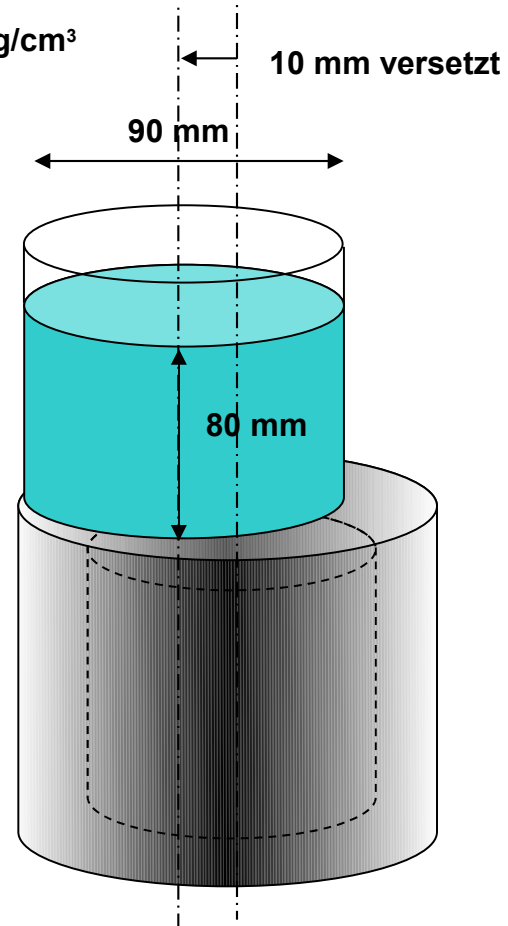
**1% / mm Füllhöhen-Differenz**

# D0.5

Wasser,  $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$



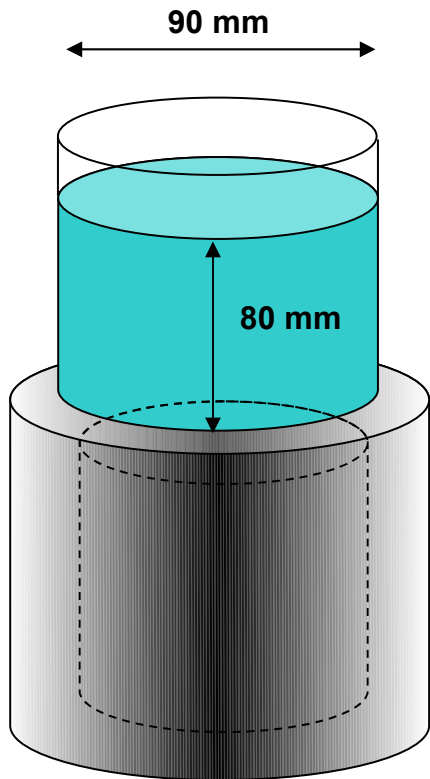
E[keV]	Eff[%]
59	5.92
88	6.39
122	6.44
<b>661</b>	<b>2.96</b>
1332	2.03



E[keV]	Eff[%]
59	5.84
88	6.31
122	6.36
<b>661</b>	<b>2.92</b>
1332	2.00

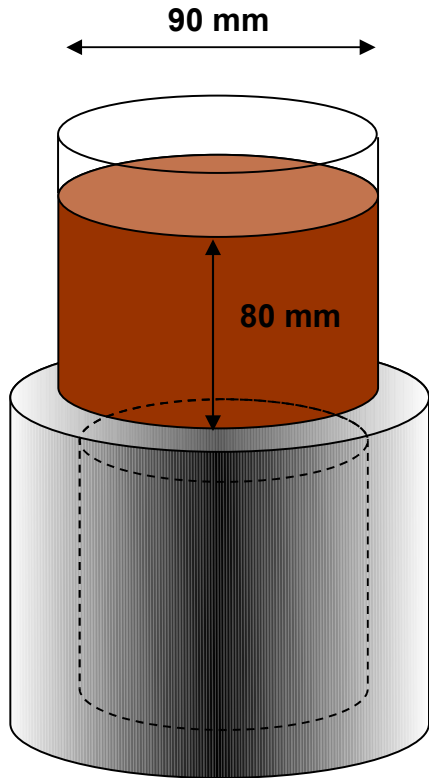
→ **1.5 % / 10 mm offset**

## D0.5



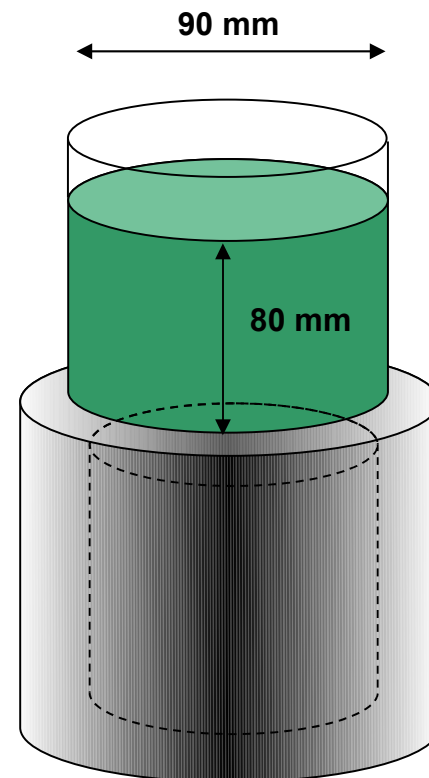
Wasser,  $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$

E[keV]	Eff[%]
59	5.92
88	6.39
122	6.44
<b>661</b>	<b>2.96</b>
1332	2.03



Sand,  $\rho = 1.5 \text{ g/cm}^3$

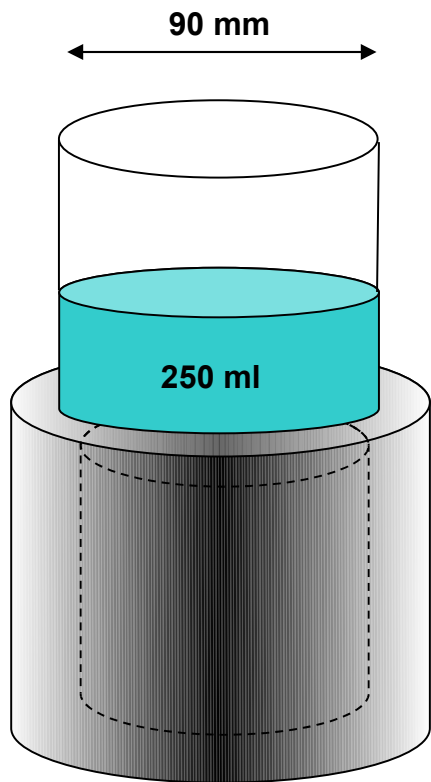
E[keV]	Eff[%]
59	4.11
88	5.15
122	5.46
<b>661</b>	<b>2.72 - 8 %</b>
1332	1.91



Trockenes Gras,  $\rho = 0.3 \text{ g/cm}^3$

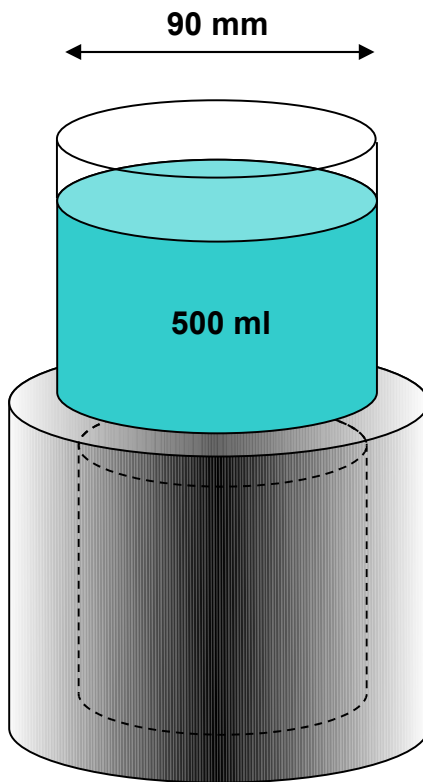
E[keV]	Eff[%]
59	8.95
88	9.16
122	8.95
<b>661</b>	<b>3.57 + 21 %</b>
1332	2.33

**D0.5** Wasser,  $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$



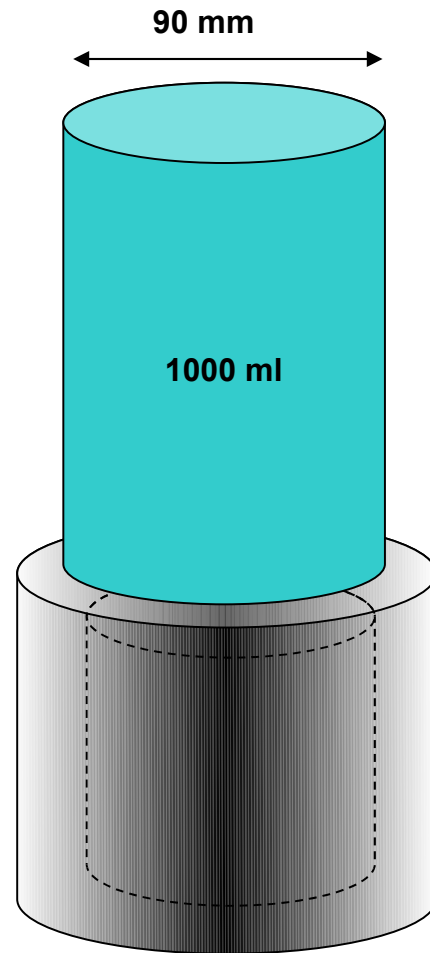
**h = 35 mm**

E[keV]	Eff[%]	[cnts]
88	11.11	5.56 - 13 %
661	4.85	2.43 - 18 %



**h = 80 mm**

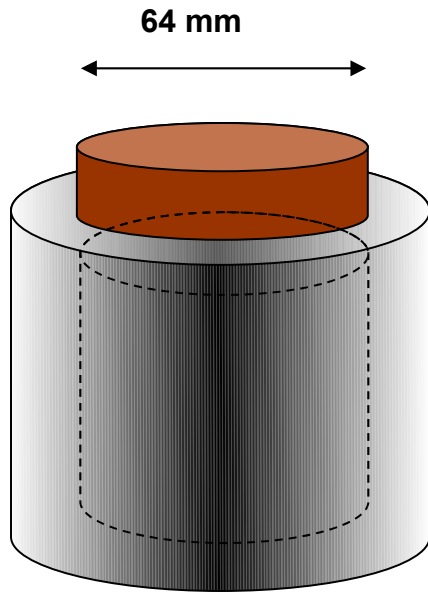
E[keV]	Eff[%]	[cnts]
88	6.39	6.39
661	2.96	2.96



**h = 160 mm**

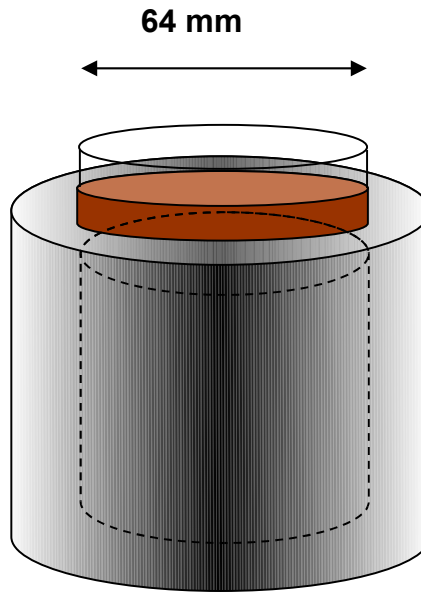
E[keV]	Eff[%]	[cnts]
88	3.31	6.62 + 2 %
661	1.59	3.18 + 7 %

**D5** Sand,  $\rho = 1.5 \text{ g/cm}^3$



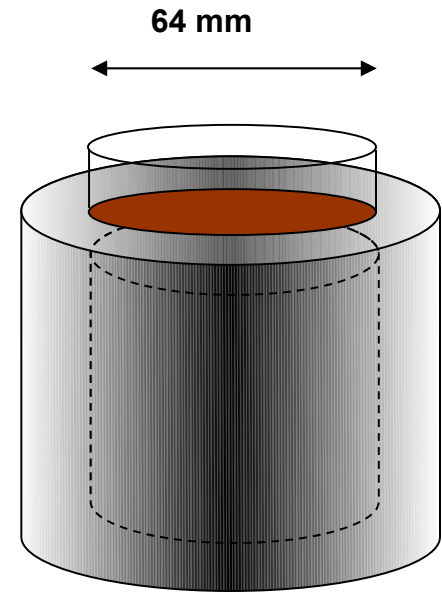
**h = 12 mm**

E[keV]	Eff[%]
59	20.92
88	23.05
122	23.08
<b>661</b>	<b>9.57</b>
1332	6.31



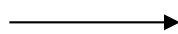
**h = 6 mm**

E[keV]	Eff[%]
59	27.16
88	28.90
122	28.53
<b>661</b>	<b>11.38</b>
1332	7.41



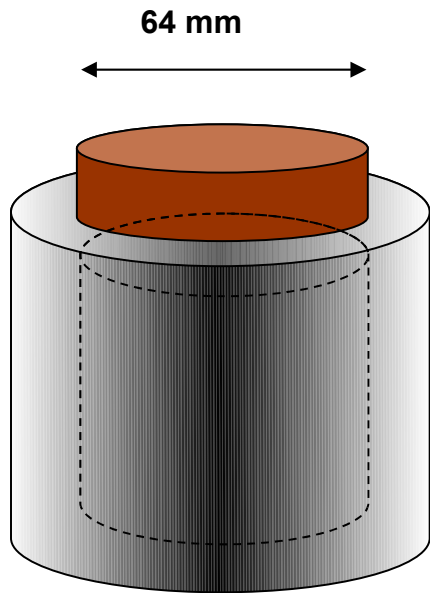
**h = 2 mm**

E[keV]	Eff[%]
59	33.82
88	34.81
122	33.91
<b>661</b>	<b>13.05</b>
1332	8.40



**3 - 4 % / mm Füllhöhen-Differenz**

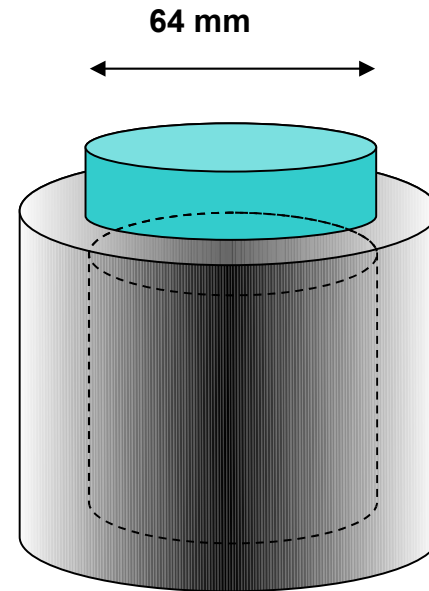
D5



$h = 12 \text{ mm}$

Sand,  $\rho = 1.5 \text{ g/cm}^3$

E[keV]	Eff[%]
59	20.92
88	23.05
122	23.08
<b>661</b>	<b>9.57</b>
1332	6.31

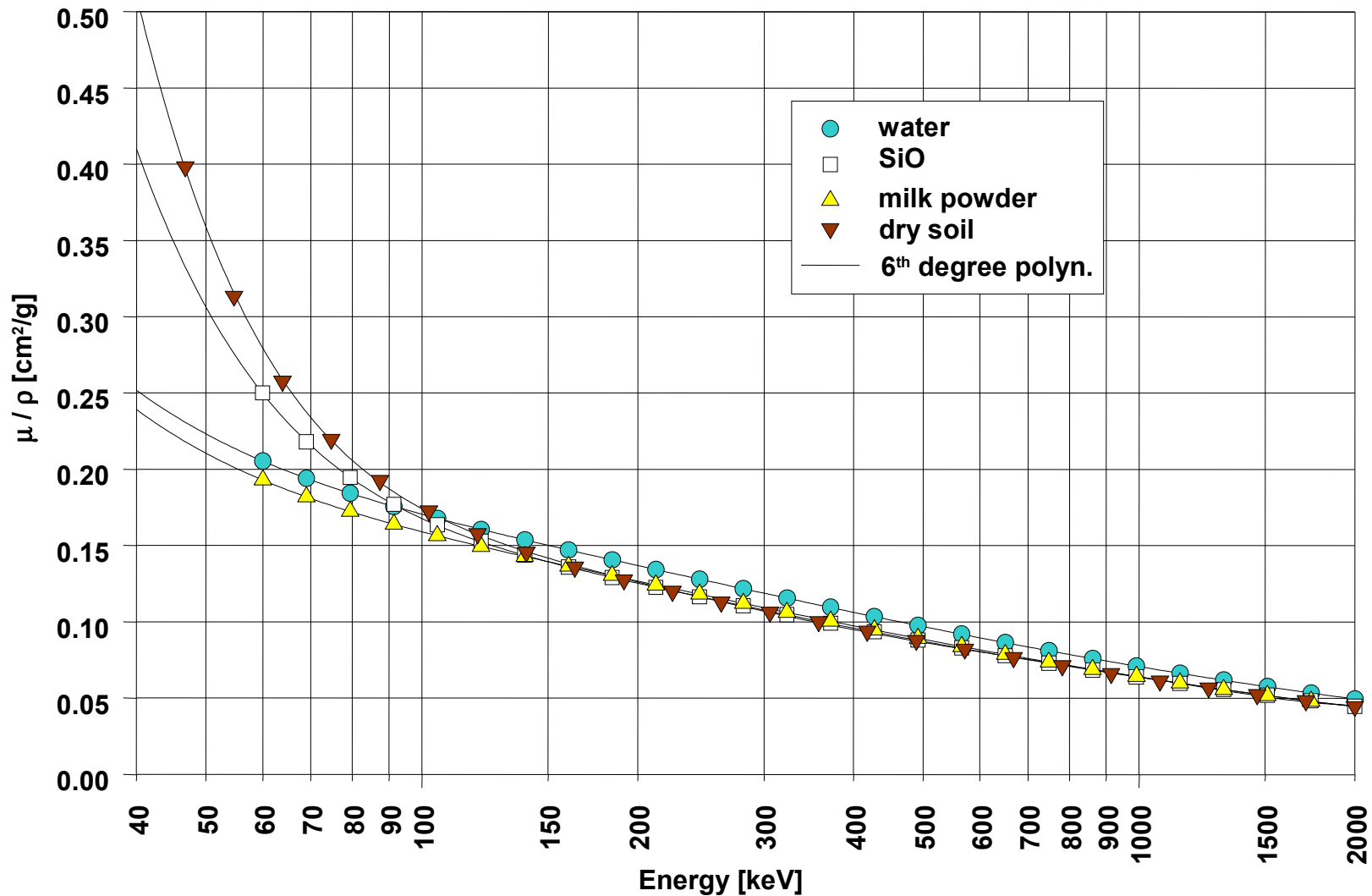


$h = 12 \text{ mm}$

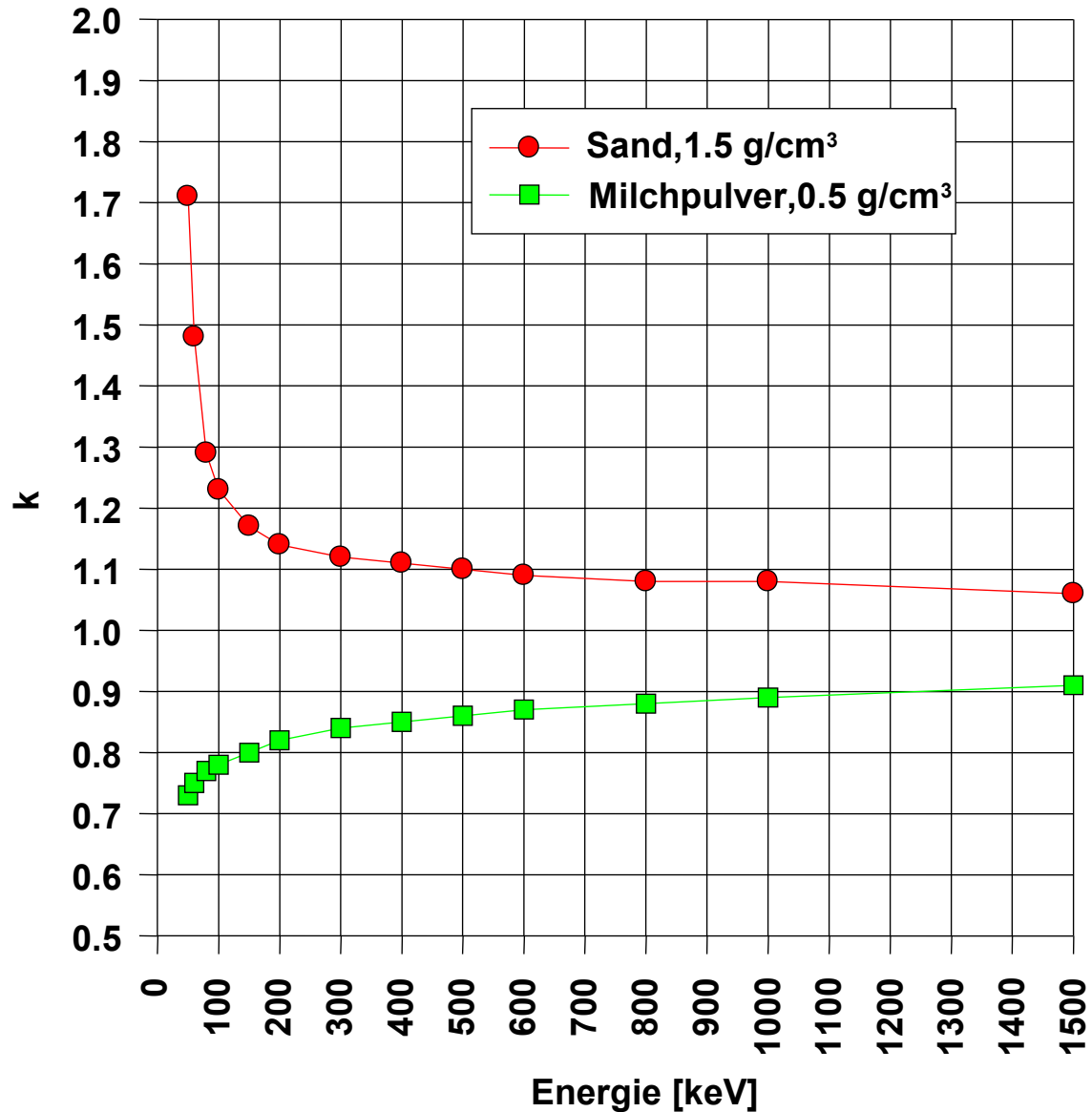
Wasser,  $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$

E[keV]	Eff[%]	
59	24.25	+ 16 %
88	25.01	+ 9 %
122	24.51	+ 6 %
<b>661</b>	<b>9.84</b>	<b>+ 3 %</b>
1332	6.43	+ 2%

$\mu / \rho$  vs. energy for some substances

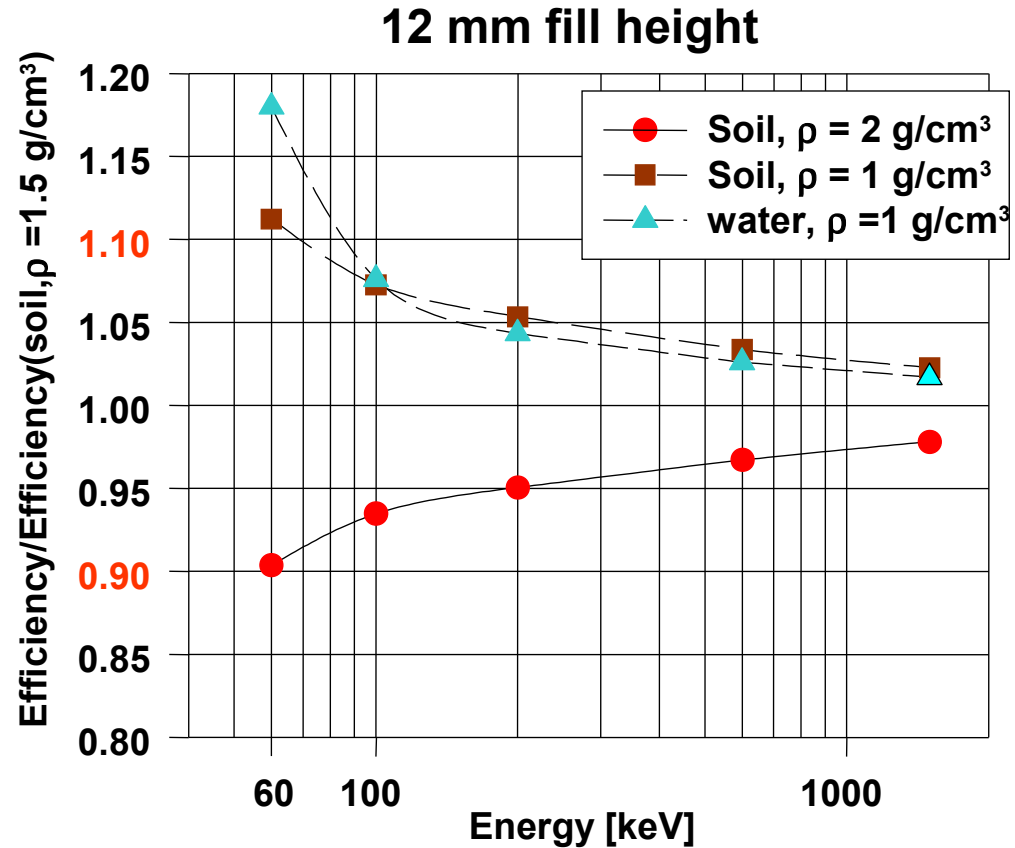
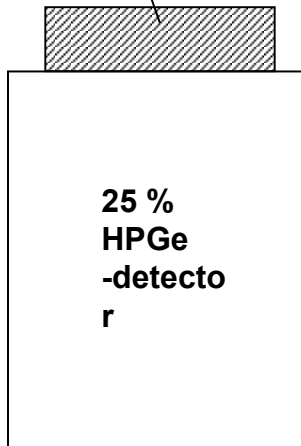


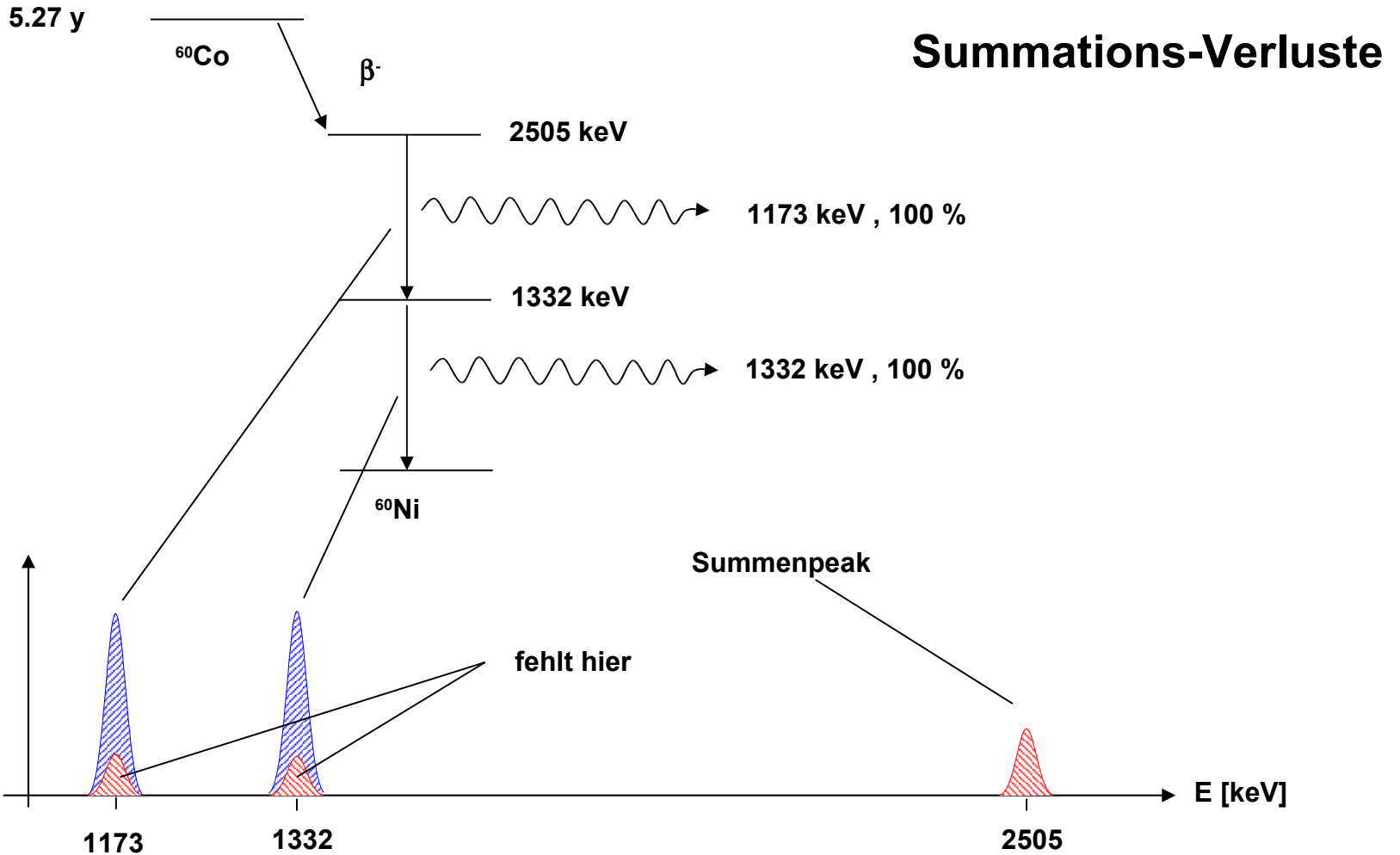
# Korrekturfaktor für Semadeni 500 ml (D0.5), „20%“-Detektor Referenzquelle : Wasser, Dichte 1.0 g/cm<sup>3</sup>



# Korrekturfaktor für Semadeni 40 ml (D5) Referenzquelle : Sand, Dichte 1.5

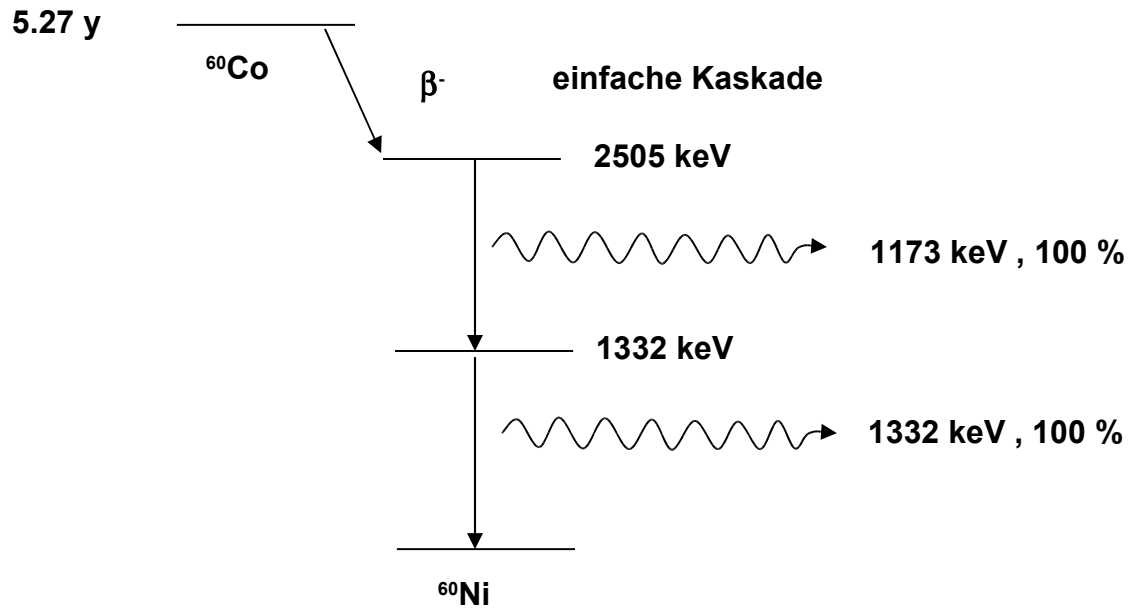
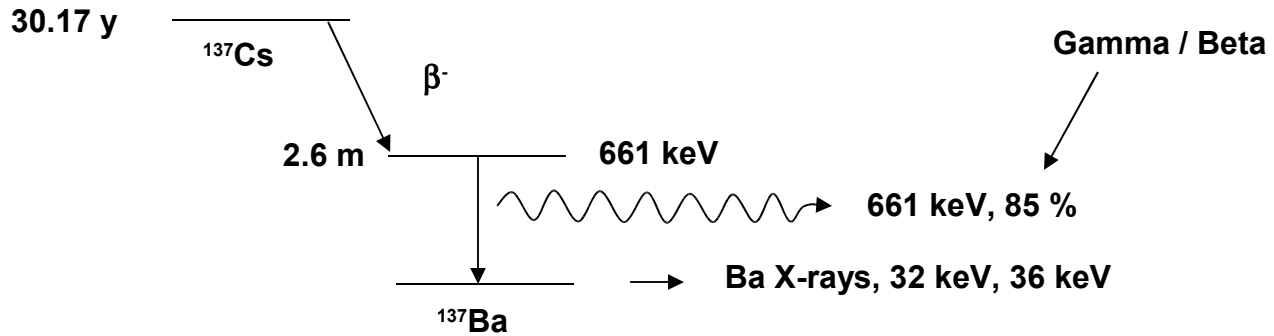
D5, diam. = 64 mm,  
40 ml @ 12 mm fill  
height

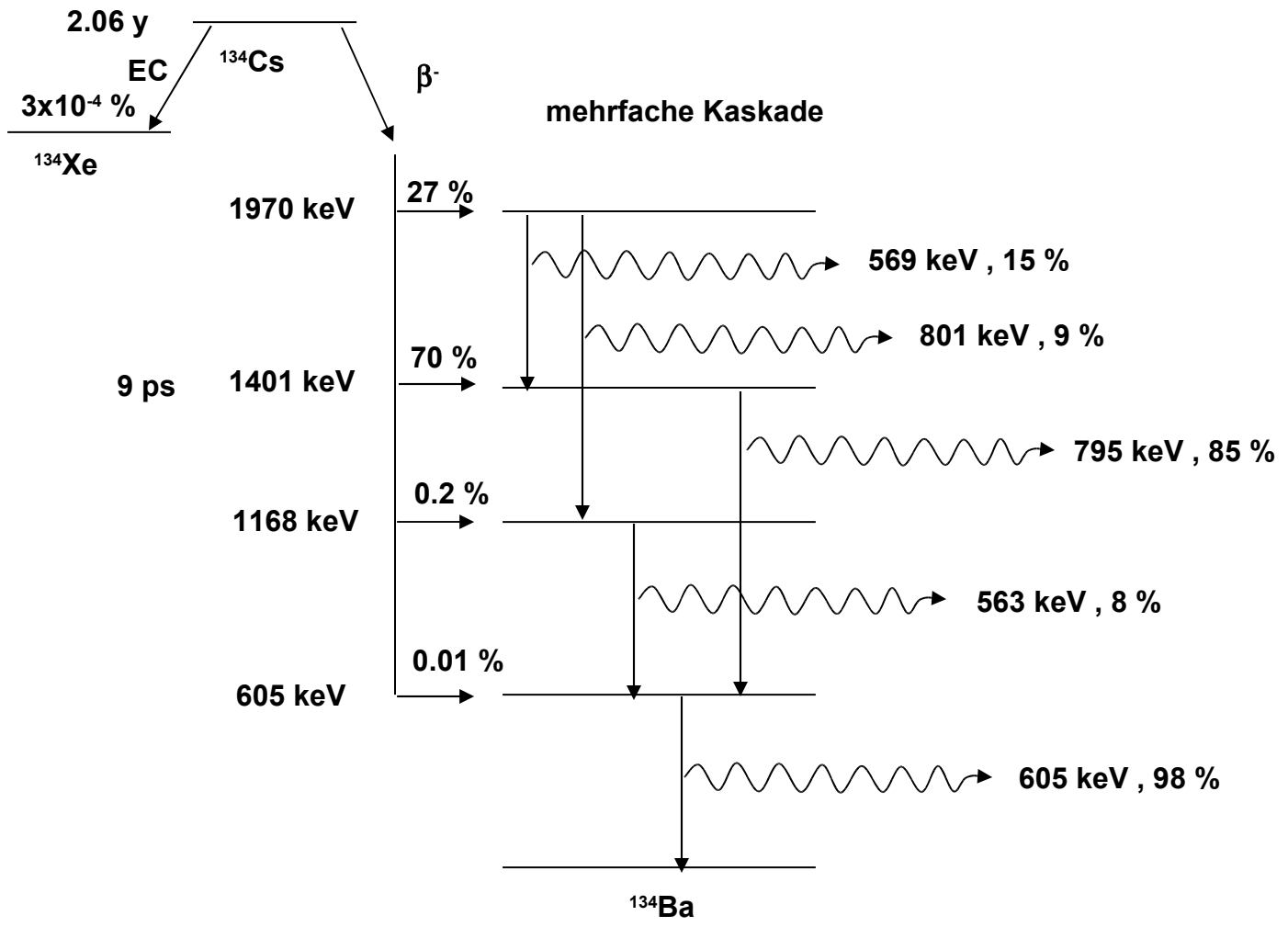




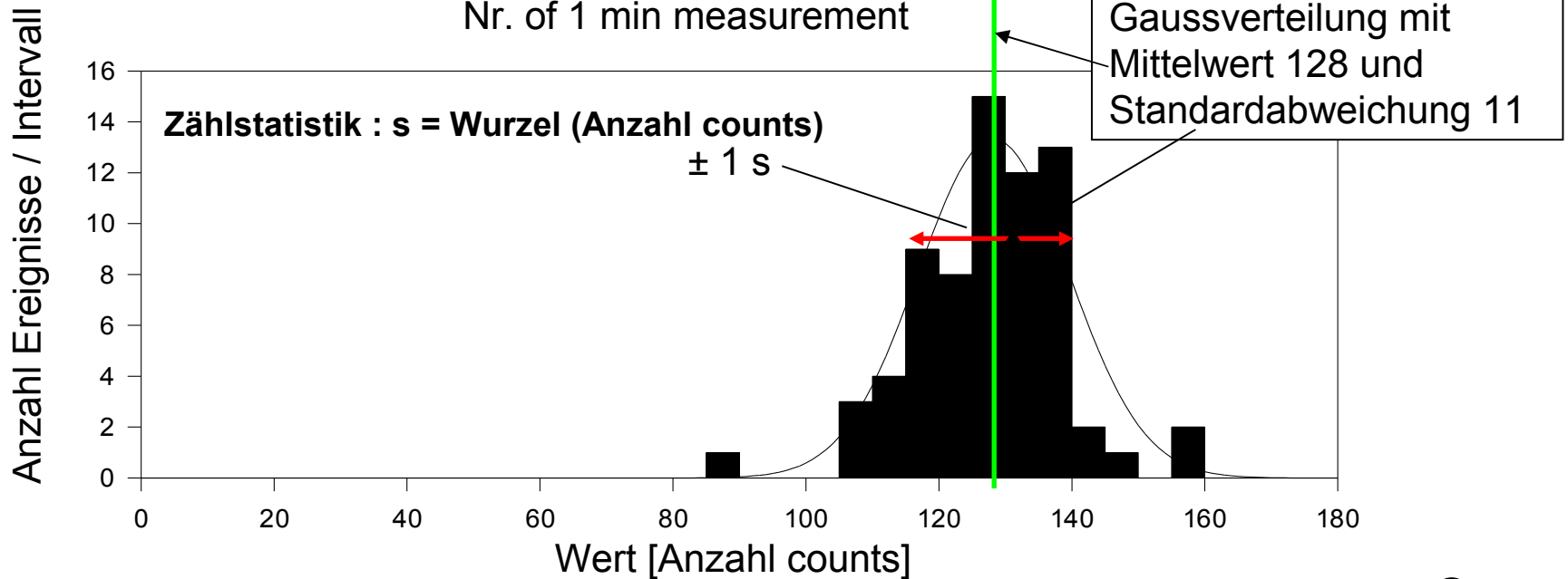
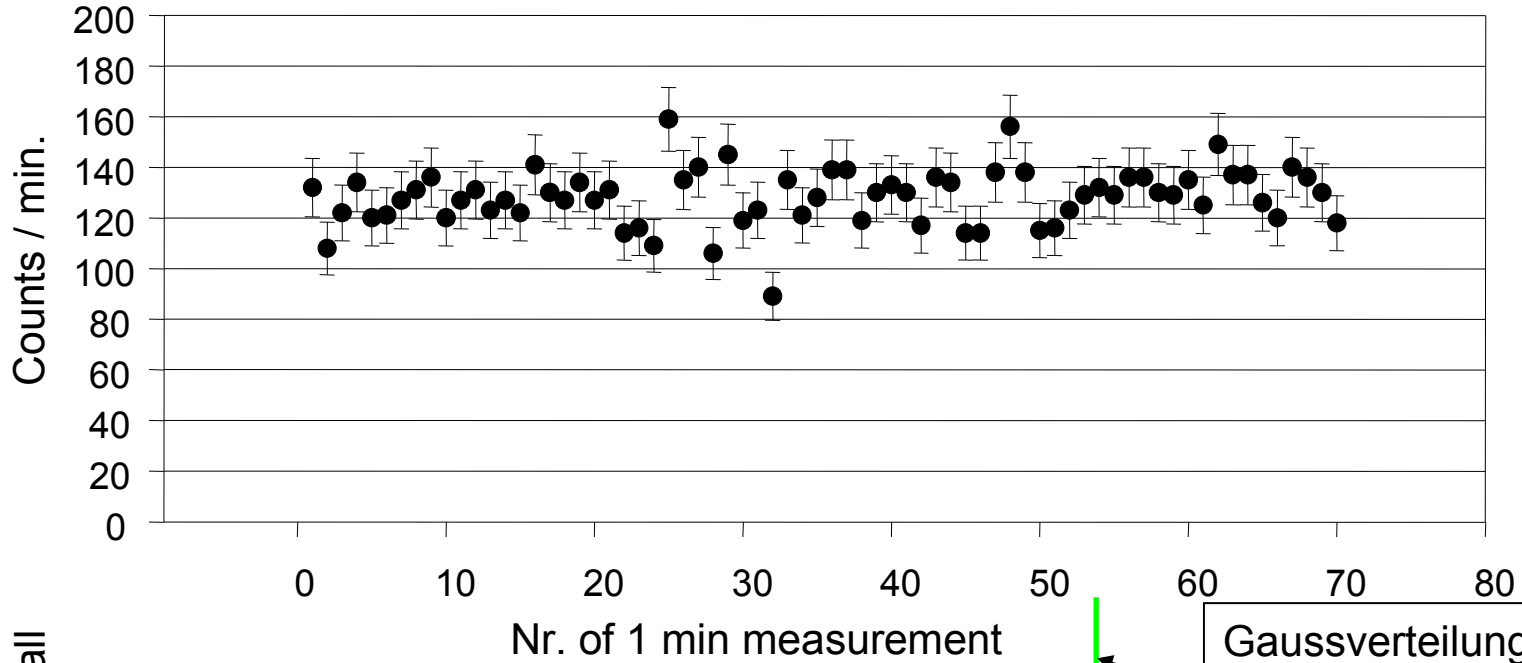
Die Summations-Verluste lassen sich im Prinzip mit Monte-Carlo Simulationen berechnen. Für 200 bis 500 ml Proben liegen die nötigen Korrekturen unter 10 %, bei kleinen Proben nahe am Detektor und insbesondere bei Bohrloch-Detektoren und mehrfachen Kaskaden ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ) können sie auch 20 bis 30% betragen.

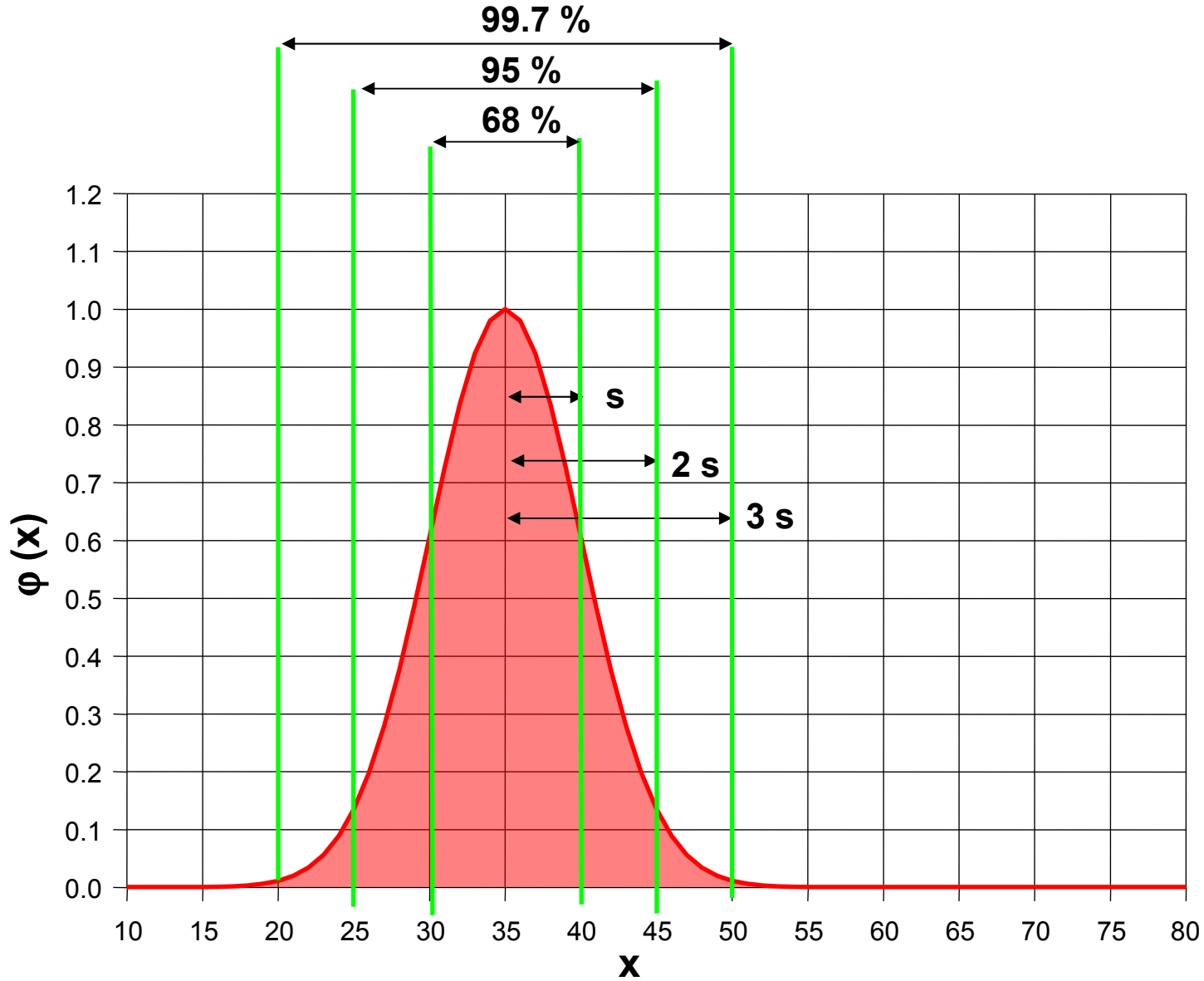
Die entweder aus Simulationen berechneten, oder aus Eichproben bestimmten Korrekturfaktoren können als Korrekturfaktoren in der Nuklidbibliothek eingetragen werden (Gamma/Zerfall nicht ändern !). Achtung ! Die Korrekturfaktoren hängen von Geometrie und Absorption ab, daher sollten für jede Geometrie und für einige Probenarten und Dichten separate Nuklidbibliotheken erstellt werden.





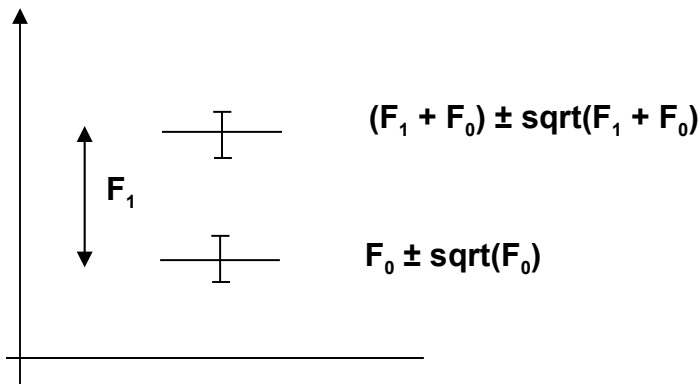
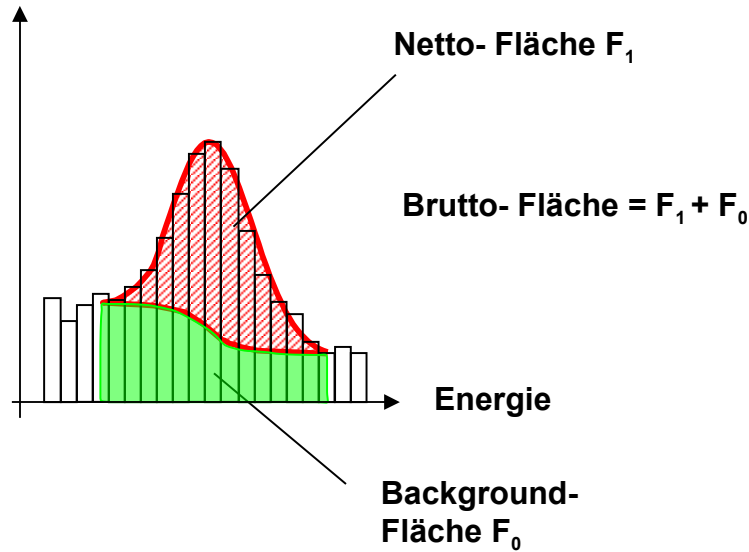
# Zählstatistik, Messunsicherheit, Nachweisgrenze, Erkennungsgrenze





Gaussverteilung :  $\varphi(x) = e^{-x^2/2s^2}$   $\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) dx = s \sqrt{2\pi}$

# Messunsicherheit



## Fehler-Fortpflanzung

Summe oder Differenz :  $c = a - b$

$$s_c^2 = s_a^2 + s_b^2$$

Produkt oder Verhältnis :  $c = a / b$

$$(s_c/c)^2 = (s_a/a)^2 + (s_b/b)^2$$

1 sigma Unsicherheit von  $F_1$  :

$$F_1 = (F_1 + F_0) - F_0$$

$$\leftarrow s^2(N) = N \text{ (Zählstatistik)}$$

$$s^2(F_1) = s^2(F_1 + F_0) + s^2(F_0)$$

$$= F_1 + F_0 + F_0$$

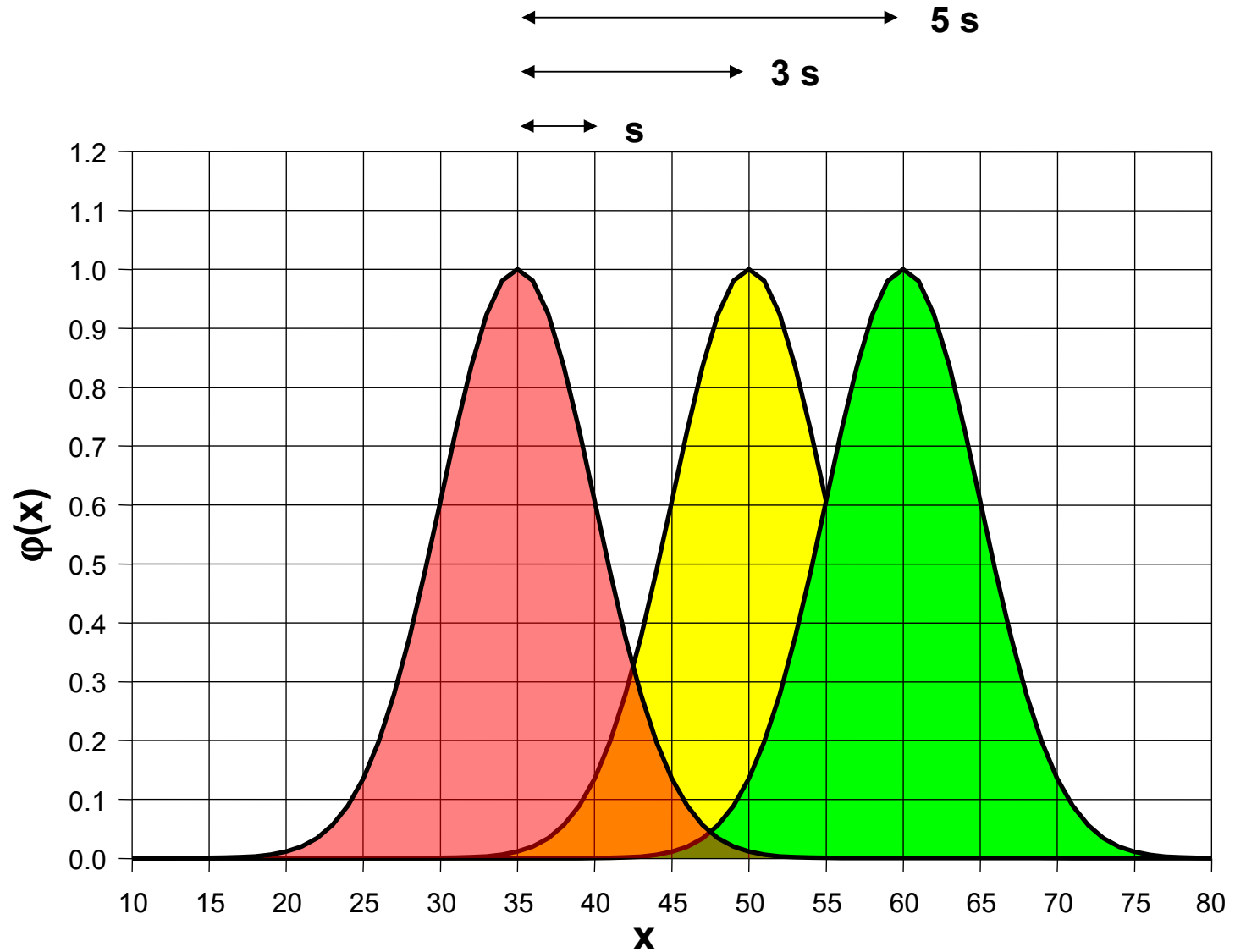
$$s(F_1) = \text{sqrt}(F_1 + 2F_0)$$

Beispiel

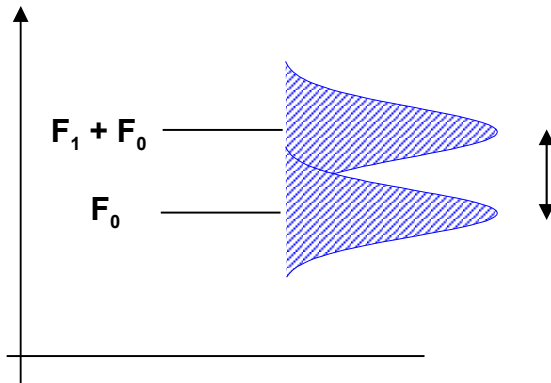
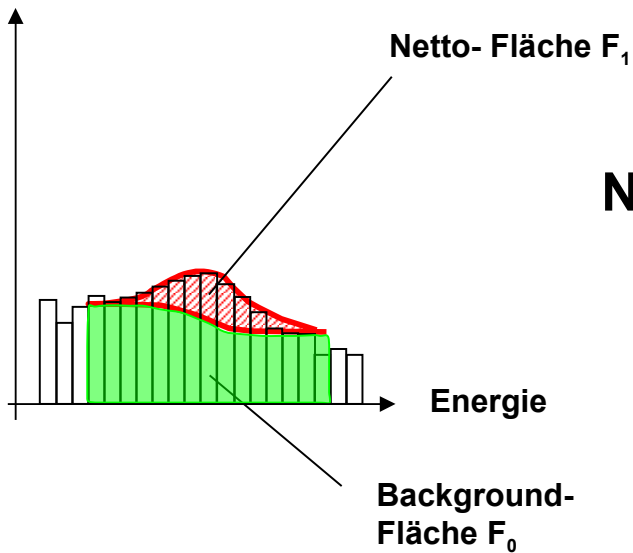
$$F_0 = 500, F_1 = 700$$

$$F_1 = 700 \pm \text{sqrt}(1700) = 700 \pm 41$$

# Wann sind 2 Werte signifikant verschieden ?



# Nachweisgrenze, Erkennungsgrenze



Wenn der Abstand kleiner als 3 s wird, sind  $(F_1 + F_0)$  und  $F_0$  nicht mehr signifikant verschieden,  $F_1$  verschwindet im Rauschen des Backgrounds

Erkennungsgrenze ist erreicht

Hiess früher Nachweisgrenze. Nachweisgrenze heisst heute das, was mit einer bestimmten Methode typischerweise nachgewiesen werden kann

Beispiel :  $F_0 = 100$ ,  $F_1 = 30$   $\longrightarrow$   $s \sim 10$ , Abstand  $\sim 3$  s  $\longrightarrow$   $F_1 \leq 30$

!!! Die von Interwinner berechnete Erkennungsgrenze macht keinen Sinn wenn das Nuklid nachgewiesen wurde !!!

# Messunsicherheit

**Bisher wurde nur die Zählstatistik berücksichtigt, für die totale Messunsicherheit müssen noch weitere Unsicherheiten berücksichtigt werden :**

- Unsicherheiten bei der Präparation, z.B. Einwaage, Füllhöhe**
- Unsicherheiten in den Gamma-Intensitäten (Nuklidbibliothek)**
- Kalibrier-Unsicherheit (Ausbeutekurve)**

**Beim Vergleich von Proben, die auf dem gleichen Detektor in der gleichen Geometrie gemessen wurden haben aber die letzten beiden Punkte nichts zu suchen.**

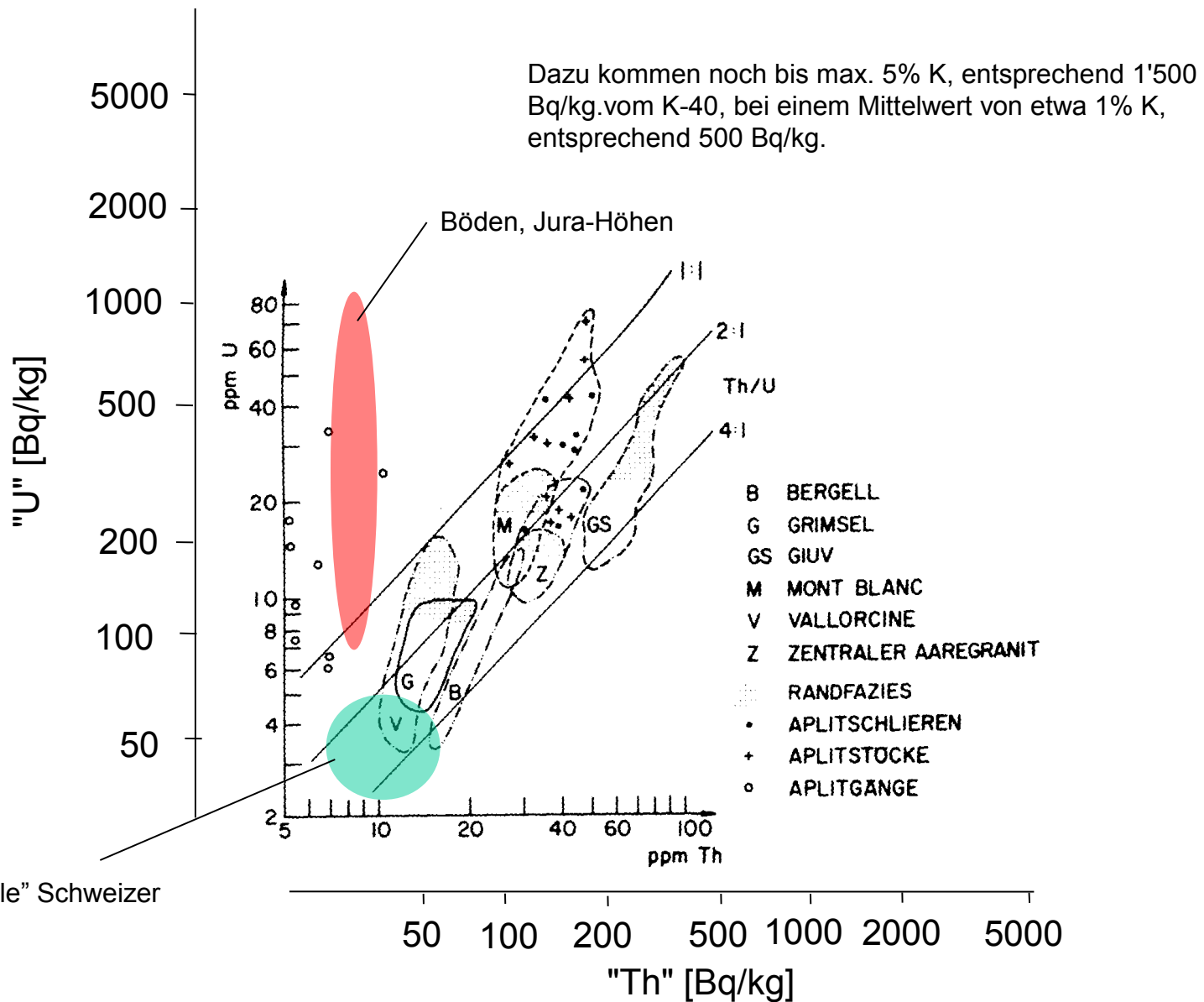
**---> Nuklidbibliothek mit „Fehler“ 0 bei der Gamma-Intensität**

**---> „künstliche“ Ausbeutekurve durch Eingabe der gefitteten Werte als Stützpunkte**

# Beispiel-Spektrum

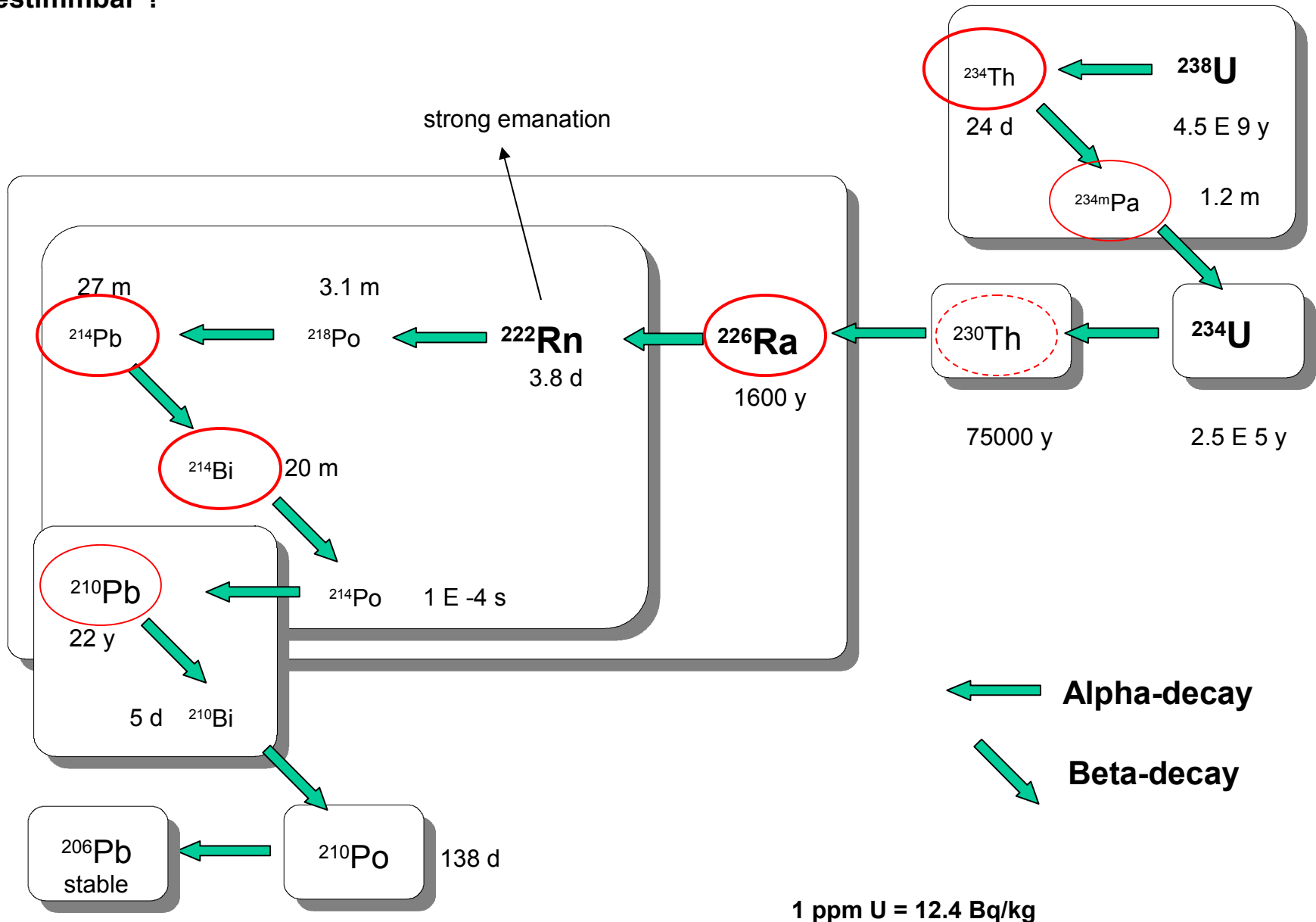
## **Probleme bei der Analyse von Umweltproben**

- normalerweise tiefe Aktivitäten der gesuchten künstlichen Nuklide, Bq/kg
- natürliche Nuklide mit meist höherern Aktivitäten, einige 10 Bq/kg
- komplexes Spektrum der natürlichen Nuklide (z.B.  $^{226}\text{Ra}$ - $^{235}\text{U}$  Interferenz bei 186 keV)
- natürliche Uran- und Thorium-Zerfallsreihen häufig nicht im Gleichgewicht
- Linien der natürlichen Nuklide prominent im Untergrund-Spektrum vertreten

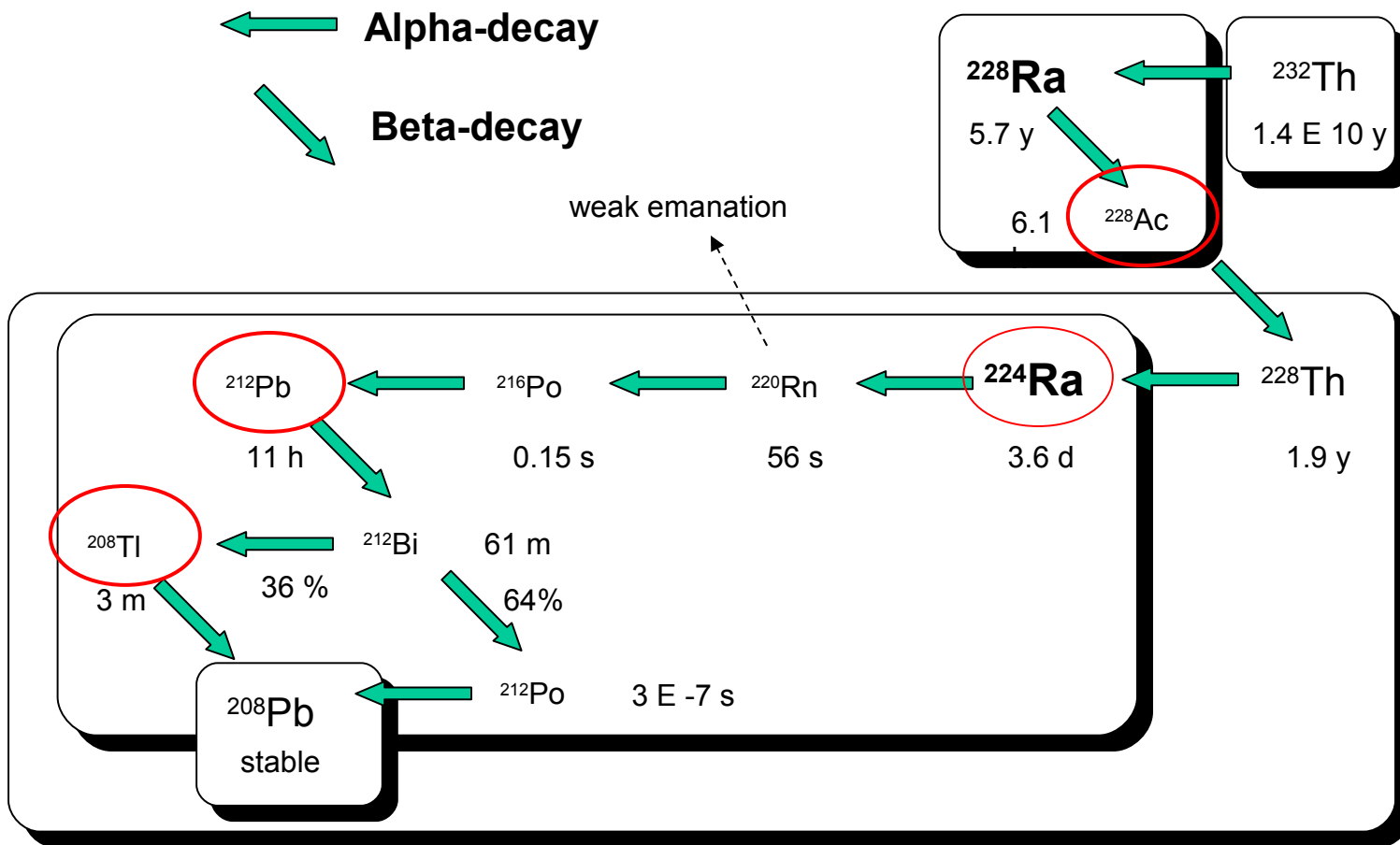


Verteilung nach : Labhart T.P. und Rybach L., Granite und Uranvererzungen in den Schweizer Alpen, Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen, Nr. 60, Kümmerly & Frey, Bern, 1974

# Welche natürlichen Nuklide sind überhaupt mit Gamma-Spektrometrie bestimmbar ?

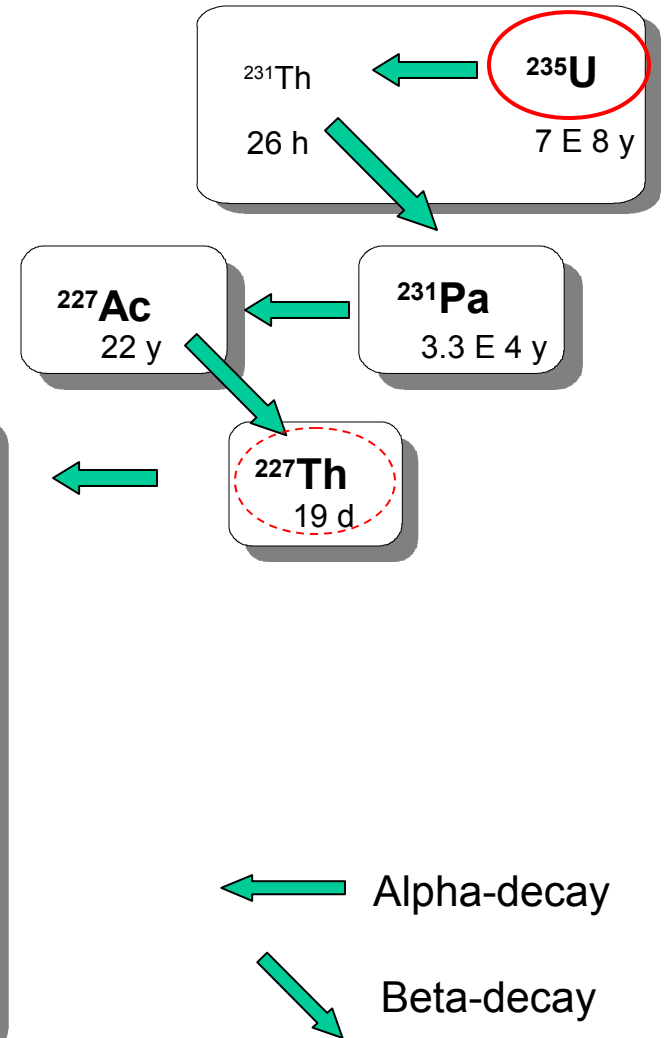
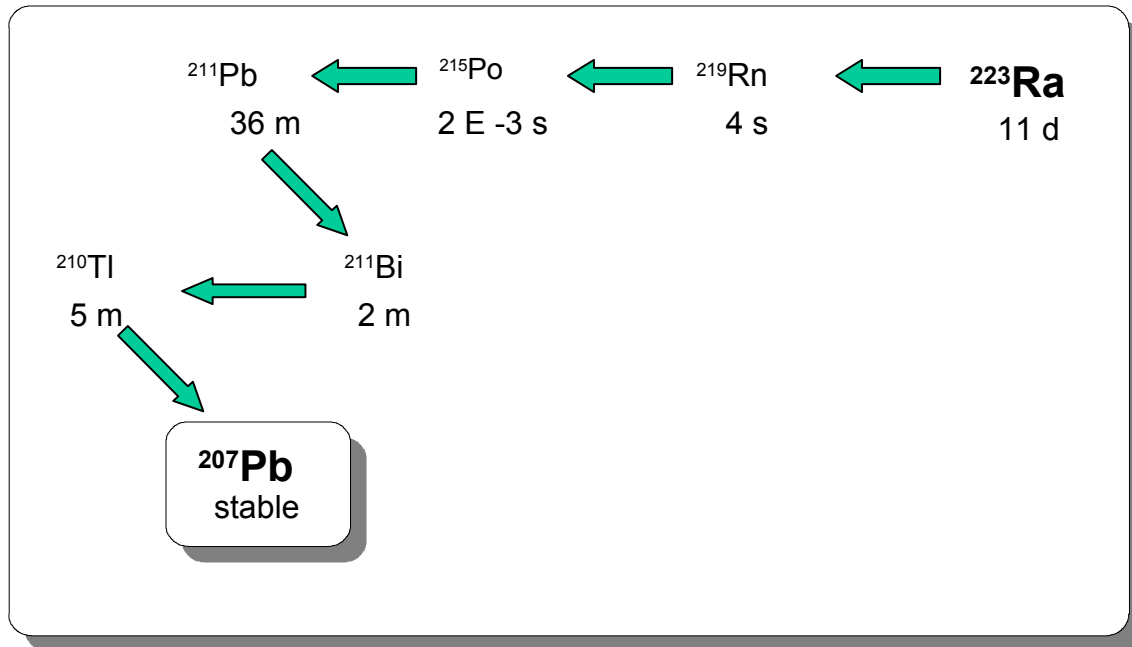


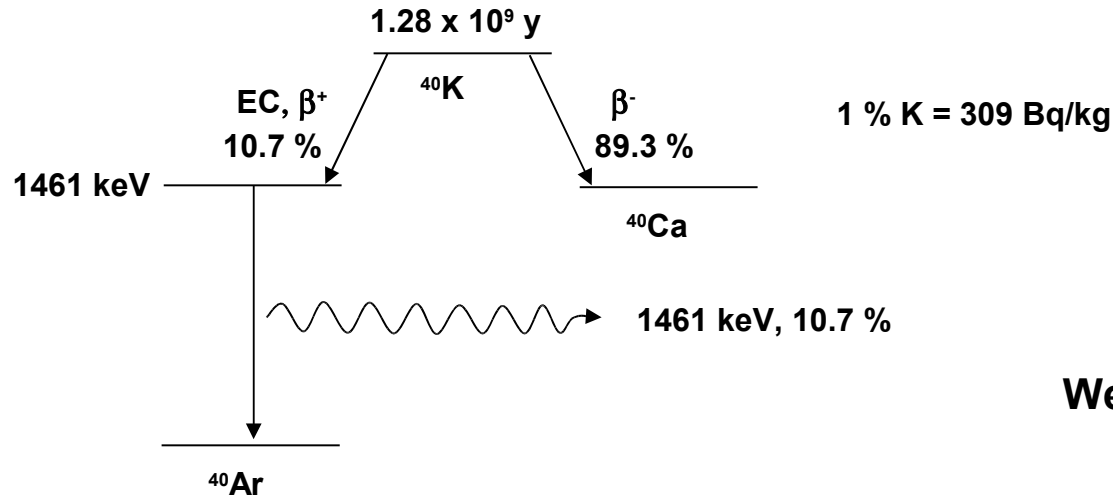
1 ppm U = 12.4 Bq/kg



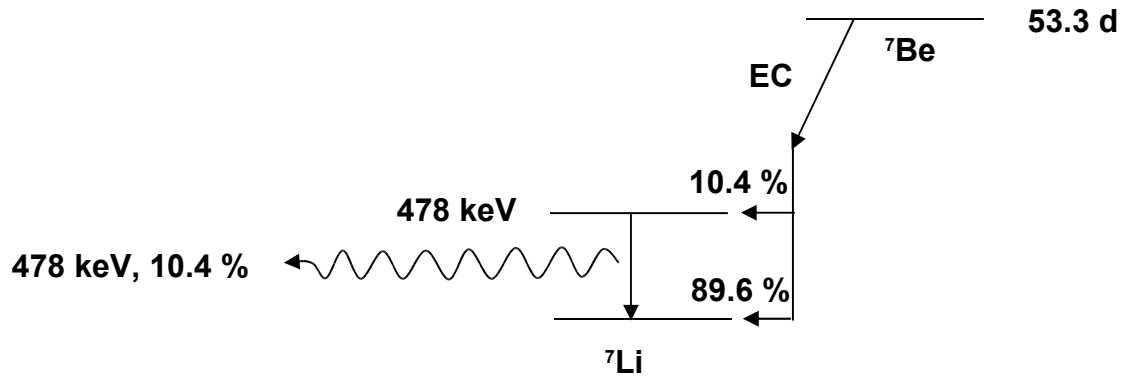
1 ppm Th = 4.1 Bq/kg

natürliches Aktivitätsverhältnis  $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U} = 4.6 \%$

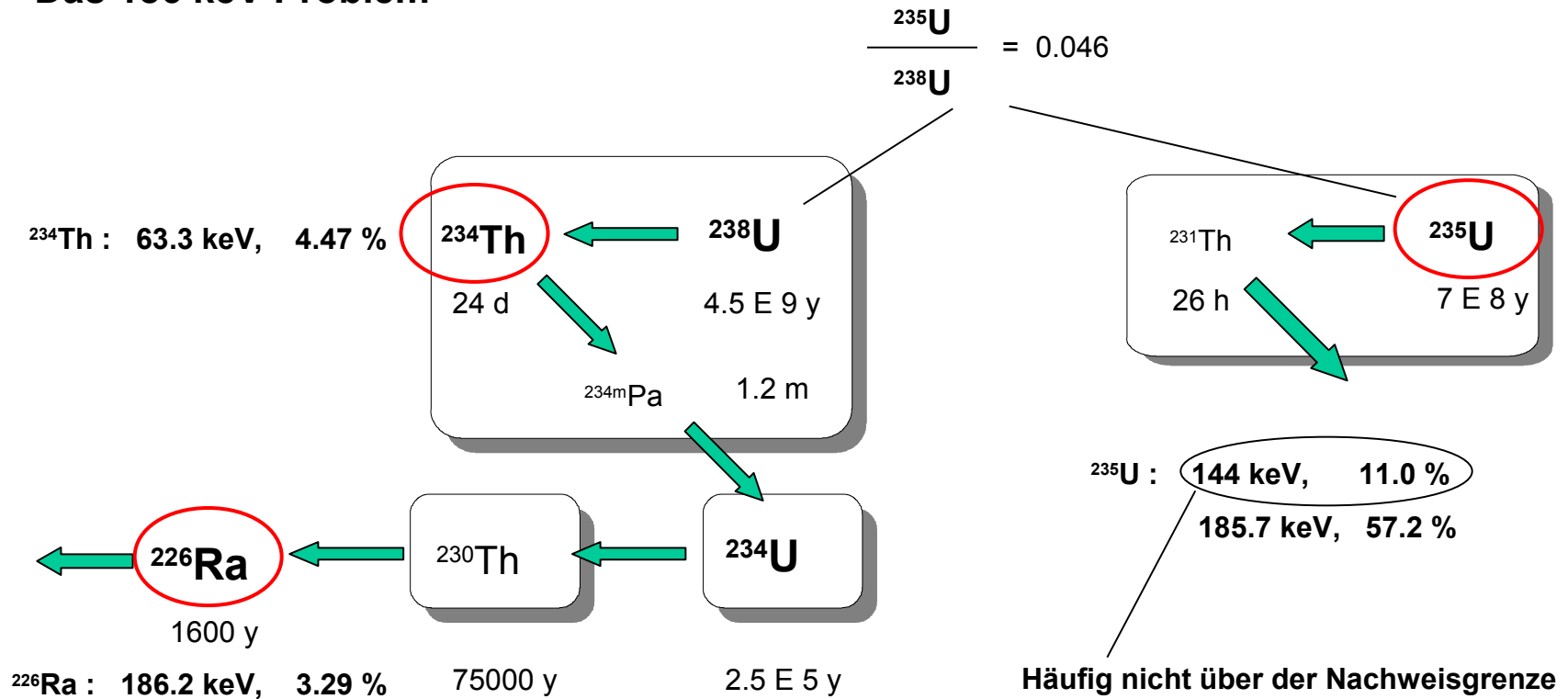




### Weitere natürliche Nuklide



# Das 186 keV Problem



1)  $^{234}\text{Th} = ^{238}\text{U}$

2)  $\frac{^{235}\text{U}}{^{238}\text{U}} = 0.046$

3) Künstliche Linie beim  $^{234}\text{Th}$  einfügen : 185.7 keV, 57.2 %, Zusatzfaktor 0.046

Falls  $^{234}\text{Th}$  unter der Nachweisgrenze : Annahme  $^{226}\text{Ra}$  im Gleichgewicht mit  $^{238}\text{U}$  und natürliches  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  Verhältnis --> künstliches Nuklid  $^{226}\text{RaE}$  einfügen : 186.2 keV, 3.29 %, Zusatzfaktor 1.72

- Nuklidbibliothek säubern und  $T_{1/2}$  bei in der Probe nachgebildeten Tochterprodukten auf 10'000 Jahre setzen
- Fehler bei Gamma-Intensitäten rauswerfen, Nuklidbibliothek als ...V abspeichern
- Fehler bei Ausbeutekurve rauswerfen, als ...V abspeichern
- Anpassungen wegen nicht identifizierter Interferenzen, Summationseffekten und Unsicherheiten in der Ausbeutekurve über die Zusatzfaktoren. Gamma-Intensitäten nicht ändern. Branching bei  $^{208}\text{Tl}$  berücksichtigen.

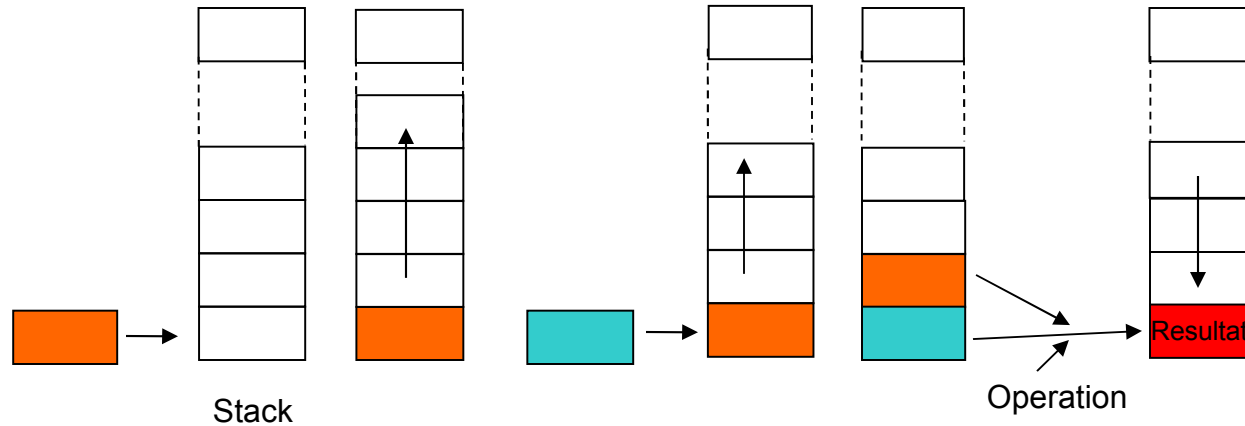
Endresultat an Dritte :

- für die totale Unsicherheit die vernachlässigten Unsicherheiten wieder berücksichtigen, dürften so 15 bis 20 % sein. Vorsicht bei branching  $^{208}\text{Tl}$
- Nur das angeben, was man wirklich gemessen hat, z.B : „  $^{238}\text{U}$ (über  $^{234}\text{Th}$  bestimmt, unter Annahme eines Gleichgewichtes)“

**Gamma-Spektrometrie ist nur eine der möglichen Analyse-Methoden**

# Die Makro-Sprache im Interwinner

Ist eigentlich FORTH, obwohl nirgends erwähnt !!!



Die Art der Verarbeitung ist auch als UPN, umgekehrte Polnische Notation bekannt, ein Leckerbissen für 65+ Programmierer, aber nicht mehr so ganz zeitgemäss.

→ Lassen Sie die Finger davon, es kann sehr frustierend sein

# Kommunikation mit externen Programmen und Extraktion der Auswert-Ergebnisse

TRANS\_CIS

```
def nuk_edit  
"C:\MSChart\Chart_xy" exec  
end
```

Definiert das externe  
Programm (\*.exe) als  
„nuk\_edit“

1358 "nuk\_edit" toolbar\_add ←

Erzeugt ein Symbol „N“ in der Menuliste

extern to\_csv

: TRANSFER

"SampleDB" 44 46 TO\_CSV\_F ←

Schreibt die Auswertdaten gemäss der  
Vorlage SampleDB.STR auf das file  
SampleDB.csv

END

## Struktur von SampleDB.STR

NAME	Adds the spectrum name without path
PATH	Adds the directory part of the spectrum name
MASS	Adds the sample mass/volume
REAL	Adds the acquisition real time
LIVE	Adds the acquisition live time
EFFIC	Adds the name of the efficiency file used
ISOTOPES	Adds the name of the isotope library used
ZERO	Adds the name of the background file used
OUTPUT	Adds the name of the output file used
ACT_UNIT	Adds the activity unit
MASS_UNIT	Adds the output mass unit
COMMENT1	Adds the first comment line
COMMENT2	Adds the second comment line
CPS	Adds the integral count rate in counts per second
CDATE	The begin of sample taking date
CTIME	The begin of sample taking time
RDATE	The end of sample taking or reference date
RTIME	The end of sample taking or reference time
MDATE	The acquisition date
MTIME	The acquisition time

To retrieve the activity of an isotope append "\_A" to the isotope name or use simply the isotope name alone.

To retrieve the uncertainty of the activity append "\_E" or "\_F" to the isotope name.

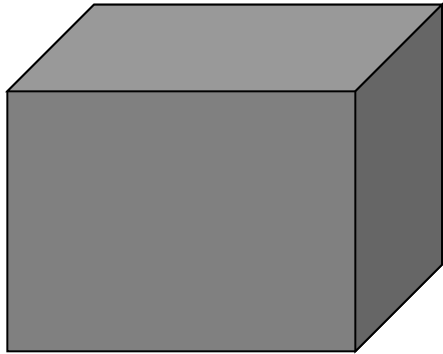
To retrieve the MDA at the reference date append "\_L", "\_S" or "\_N" to the isotope name.

To retrieve the MDA at the acquisition date append "\_M" to the isotope name.

To retrieve the LOR at the reference date append "\_R" to the isotope name.

NAME  
PATH  
MASS  
REAL  
LIVE  
EFFIC  
ISOTOPES  
ZERO  
OUTPUT  
ACT\_UNIT  
MASS\_UNIT  
COMMENT1  
COMMENT2  
CPS  
CDATE  
CTIME  
RDATE  
RTIME  
MDATE  
MTIME  
BE-7  
BE-7\_E  
BE-7\_L  
NA-24  
NA-24\_E  
NA-24\_L  
CR-51  
CR-51\_E  
.....  
AM-241  
AM-241\_E  
AM-241\_L

## Konkretes Beispiel für SampleDB.STR



**Interwinner**



**Makro-Sprache und  
Kommunikation mit Interwinner**



**Die „black box“ wird nur noch  
schwärzer**

**End**

[heinz.surbeck@sensemail.ch](mailto:heinz.surbeck@sensemail.ch)

[www.nucfilm.com](http://www.nucfilm.com)

© Nucfilm 2010