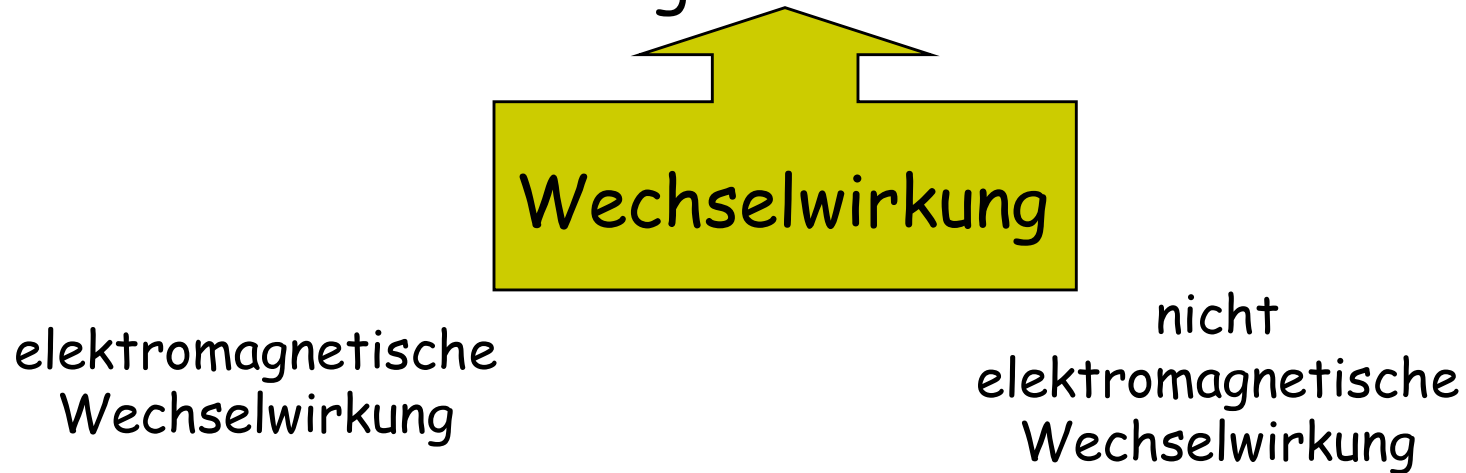


# Strahlungsdetektoren

ionisierende Strahlung  $\leftrightarrow$  Materie



Die Basis aller Messungen (auch Beobachtungen) ist die **Wechselwirkung** mit dem zu messenden System.  
Ohne Wechselwirkung ist es **NICHT** möglich, Information zu gewinnen.

# Strahlungsdetektoren

## *Nachweis über elektromagnetische Wechselwirkung mit Materie*

- 1.) Szintillationsdetektoren:
  - ✓ Szintillationszähler NaI(Tl)
- 2.) Gasionisationsdetektoren
  - ✓ Ionisationskammer, Proportionalzählrohr, Geiger-Müller Zählrohr...
- 3.) Halbleiterdetektoren:
  - Halbleiter-Sperrschicht Detektor
- 4.) Spurdetektoren:
  - Nebelkammer, Blasenkammer, Funkenkammer...

## *Nachweis über nicht elektromagnetische Wechselwirkung mit Materie*

- 1.) Neutronendetektor
- 2.) Neutrinodetektor

# Szintillationsdetektor

Feste Szintillatoren: Cu- und Mg-haltiges ZnS  
Tl-haltiges NaI

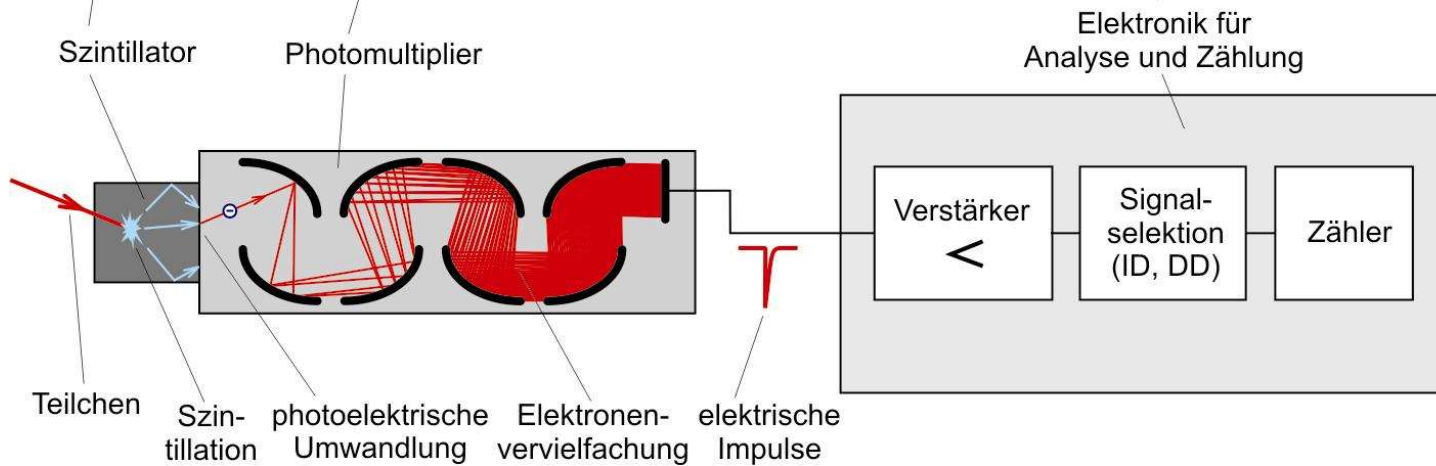
Flüssige Szintillatoren: Anthracen, Stilben, Naphtalen ...

Die Größe des Lichtimpulses  $\sim$  Energie, welche die Ionisation auslöst

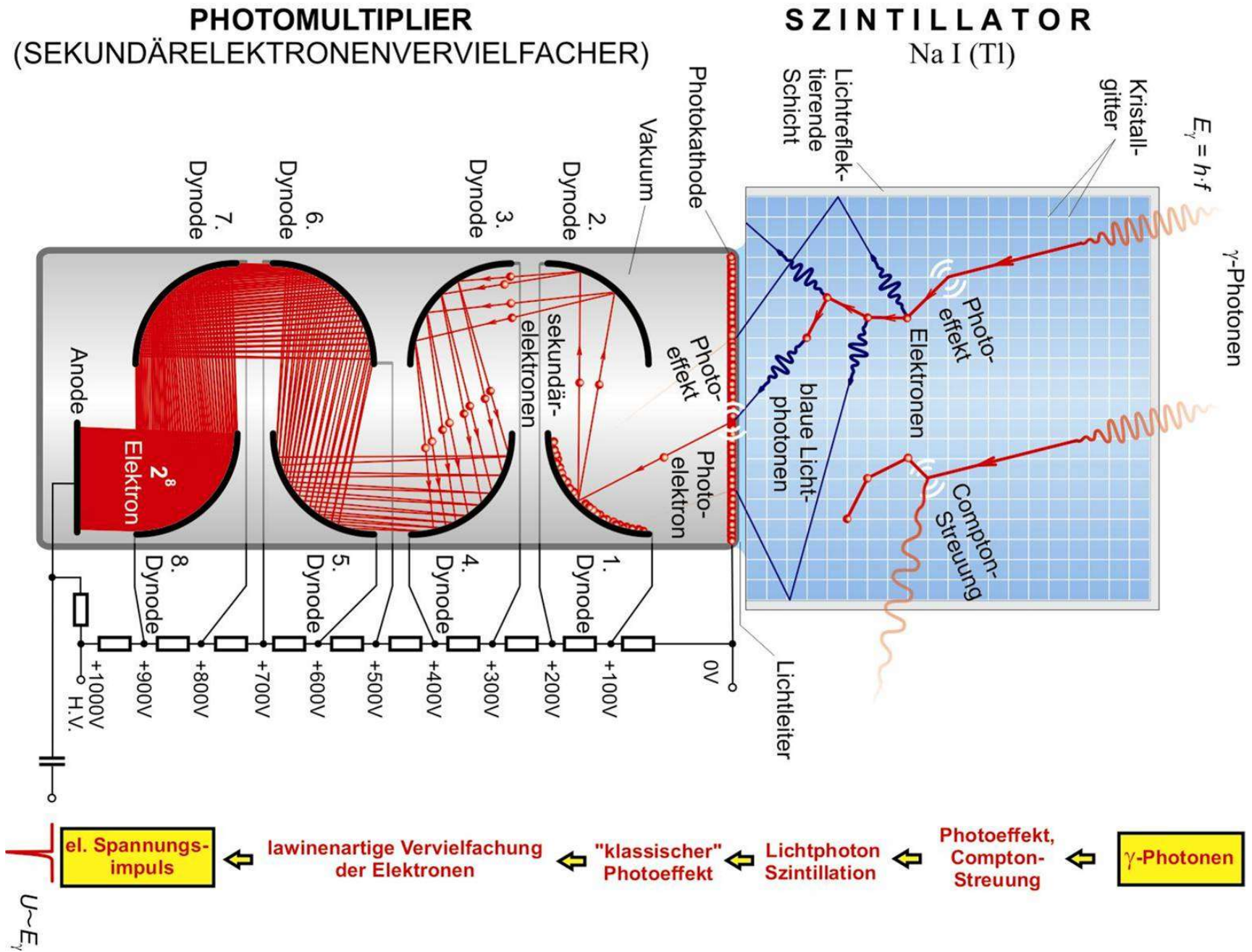
Die Zahl der Impulse  $\sim$  Aktivität des Präparates

siehe Praktikum: Nukleare Grundmessung

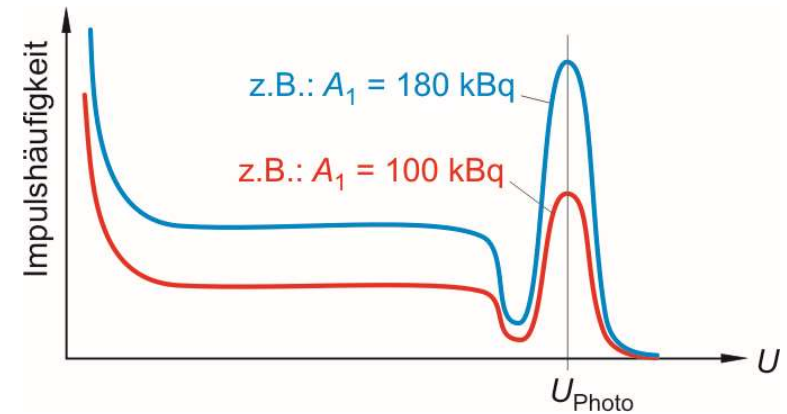
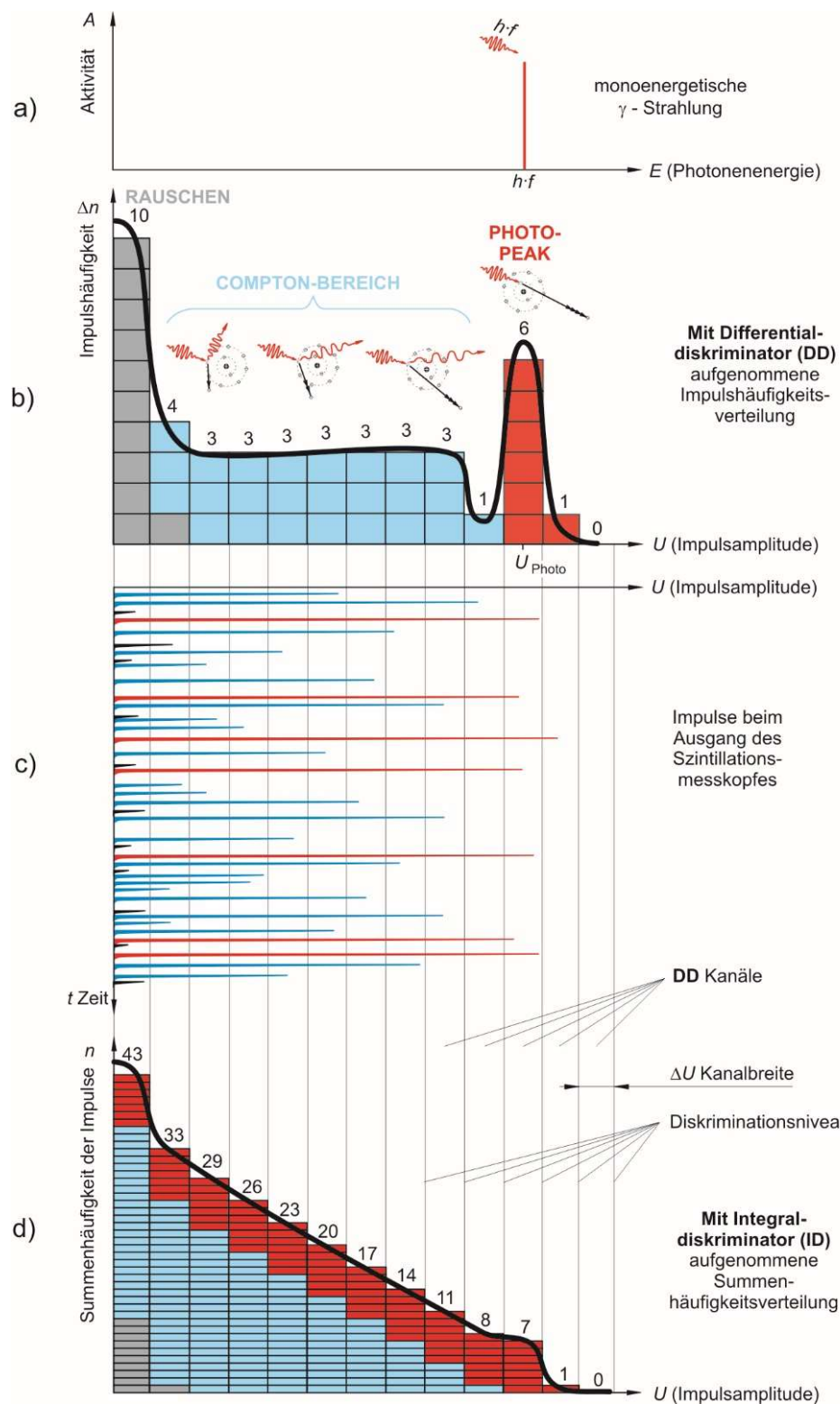
# Szintillationsdetektor



# Szintillationszähler



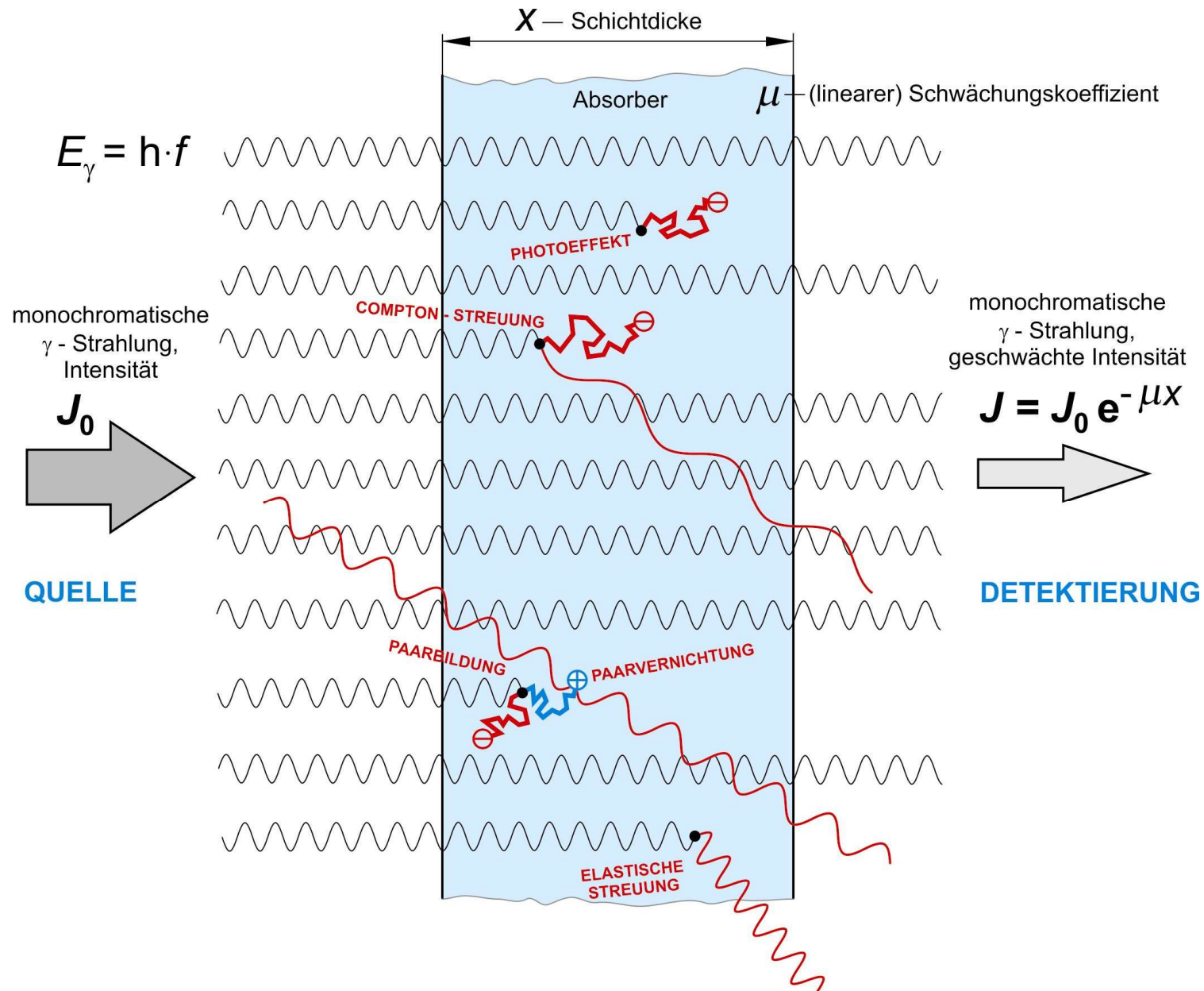




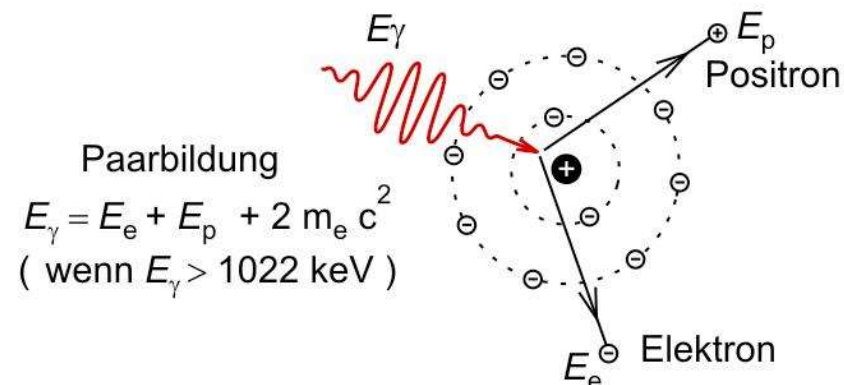
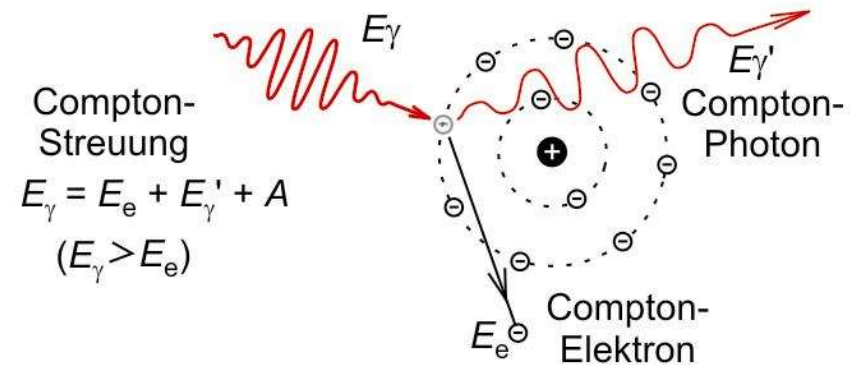
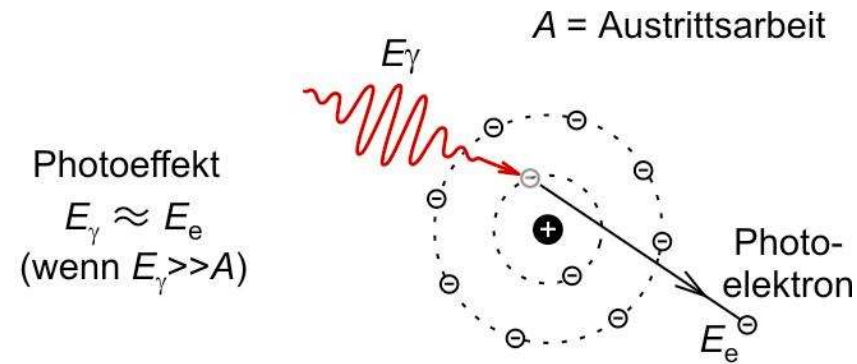
$$U_{\text{Photo}} \sim E$$

siehe Praktikum: Gamma-Energie

# Szintillationsdetektor

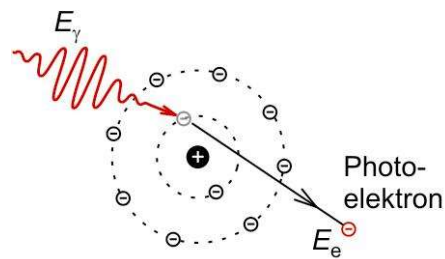


# Elementarprozesse der Schwächung



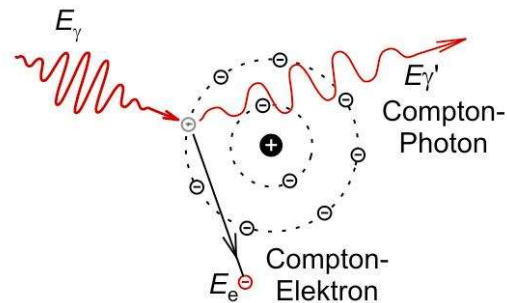


# Elementarprozesse der Schwächung



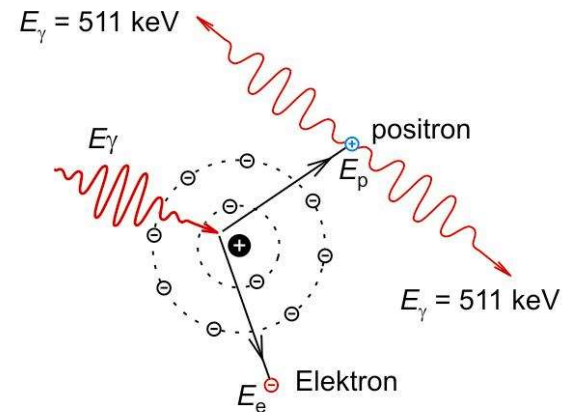
a.) **Photoeffekt**  
 $E_\gamma = A + E_e$   
 $A = \text{Austrittsarbeit}$

$\tau$



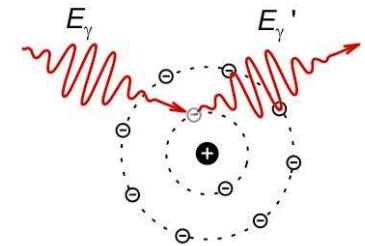
b.) **Compton-Streuung**  
 $E_\gamma = A + E_e + E_\gamma'$

$\sigma$



c.) **Paarbildung, Paarvernichtung**  
 $E_\gamma = 2 m_e c^2 + E_e + E_p$   
 ( wenn  $E_\gamma > 1022 \text{ keV}$  )

$\kappa$



d.) **elastische Streuung**  
 $E_\gamma = E_\gamma'$

$l$

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa + l$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m + \kappa_m + l_m$$

siehe Praktikum:  $\gamma$ -Absorption <sup>9</sup>

# Physikalische Größen, die den $\mu$ beeinflussen

- ✓ Qualität des Absorbents (Q)
- ✓ Dichte des Mediums/Absorbents ( $\rho$ )
- ✓ Strahlungsart: EMW, Teilchenstrahlung. ( $\gamma$ , X;  $\alpha$ ,  $\beta$ , p, n,...)
- ✓ Photonenenergie, Teilchenenergie ( $\varepsilon$ )

$$\mu = \mu(\rho, Q, \text{Strahlungsart}, \varepsilon)$$

Massenschwächungskoeffizient:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

$\mu_m$  ist von der Dichte unabhängig geworden!

Maßeinheit:

$$\frac{\text{cm}^{-1}}{\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}} = \frac{\text{cm}^2}{\text{g}}$$

den Exponenten  $\mu \cdot x$ , kann man mit dem  $\mu_m$  umschreiben :

$$\mu \cdot x = \frac{\mu}{\rho} \cdot \rho \cdot x = \mu_m \cdot x_m$$



$$x_m = x \cdot \rho$$

Maßeinheit:

$$cm \cdot \frac{g}{cm^3} = \frac{g}{cm^2}$$

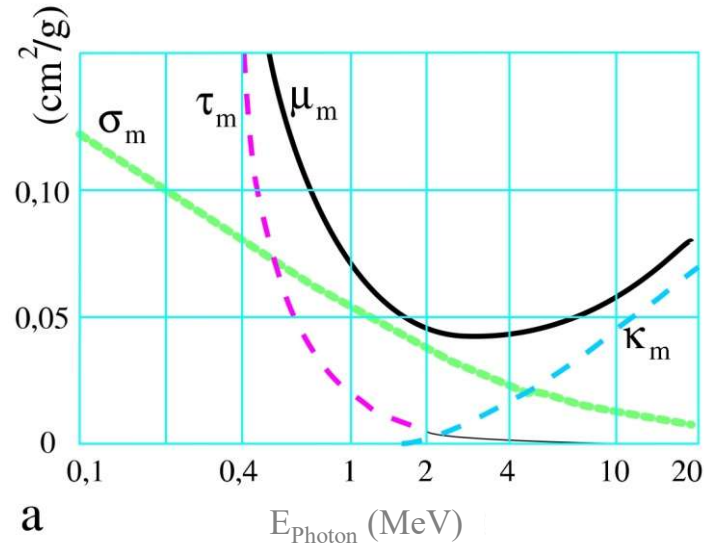
Massenbedeckung  $x_m$

gibt die Masse des Stoffes in einem Prisma mit der Länge  $x$  und Querschnitt von  $1 \text{ cm}^2$  an

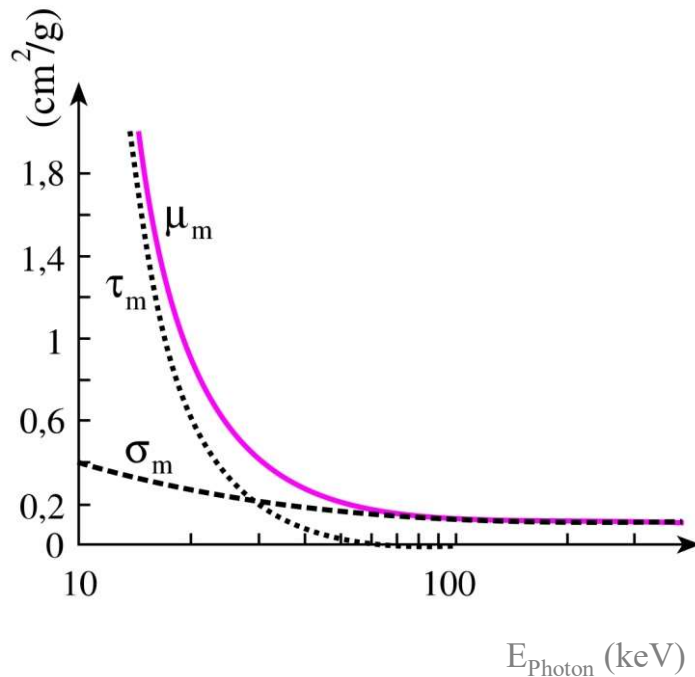
$$D_m = D \cdot \rho \quad D_m: \text{Halbwertsmasse}$$

Benützung von  $\mu_m$  ist vorgezogen im Vergleich zum  $\mu$ .

# Elementarprozesse der Schwächung

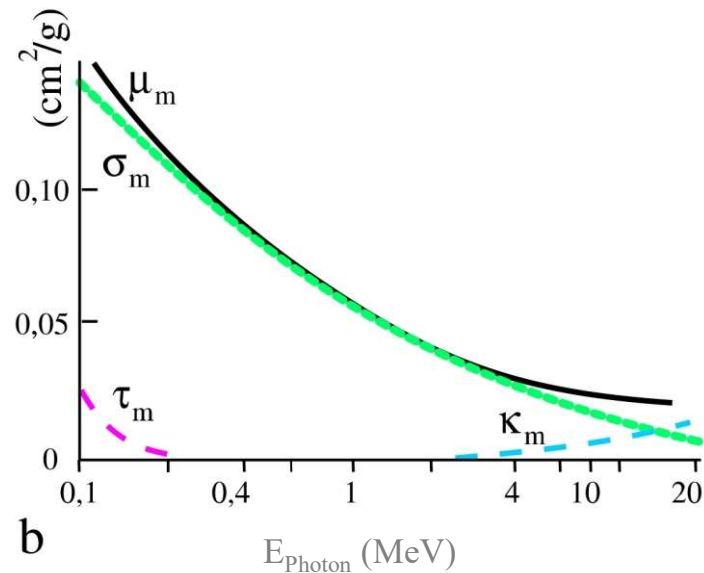


Pb Absorbent  
Strahlenschutz



$\text{H}_2\text{O}$  Absorbent

Modell für  
weiche Gewebe



siehe Praktikum:  $\gamma$ -Absorption

## Vorteil:

- Szintillationszähler besitzen eine hohe Nachweiseffektivität für  $\gamma$ -Strahlung;

Wirkungsgrade für verschiedene Radionuklide Mittelwerte aus Messungen mit 100 cm <sup>2</sup> Präparaten	
C-14	ca. 14%
F-18	ca. 18%
P-32	ca. 25%
S-35	ca. 5%
Cl-36	ca. 42%
K-40	ca. 30%
Co-57	ca. 7%
Co-60	ca. 27%
Sr-89	ca. 27%
Sr-90 / Y-90 (auf Sr-90 bezogen)	ca. 42%
Tc-99m	ca. 3%
In-111	ca. 8%
I-123	ca. 7%
I-125	ca. 12%
I-131	ca. 21%
Cs-137	ca. 35%
Au-198	ca. 23%
Tl-204	ca. 43%
Am-241 $\alpha$	ca. 22%
P-238 $\alpha$	ca. 12%
U-238 $\alpha$	ca. 26%



<http://www.graetz.com/como-170.html>

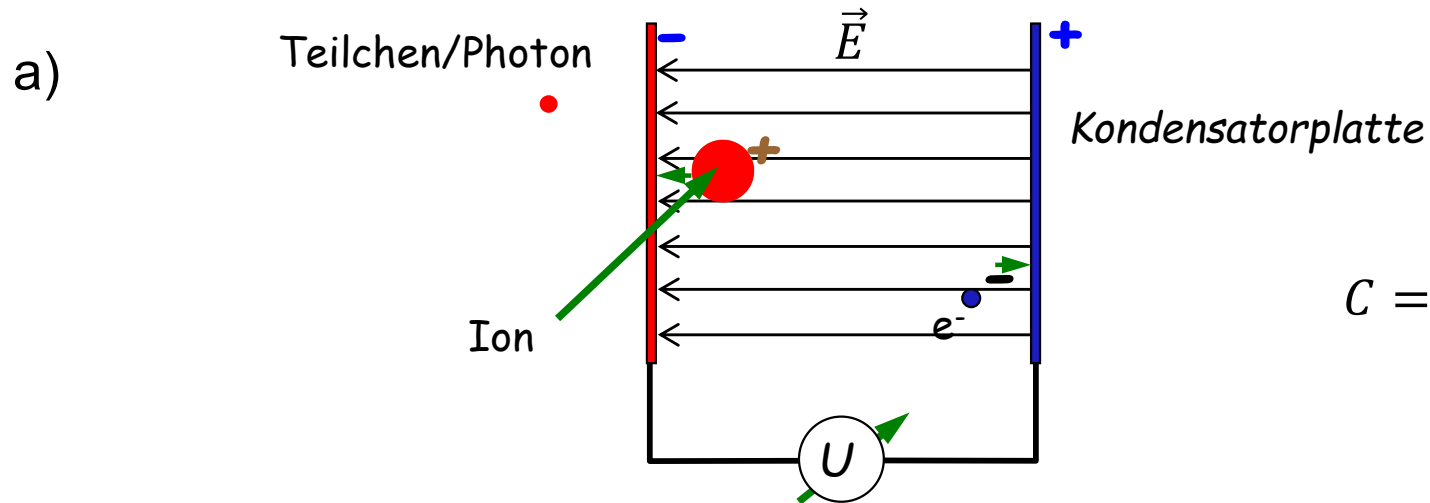
## Nachteil:

- Ihr Nachteil besteht in der relativ geringen Energieauflösung  $\Delta E/E$  von ca. 10%.

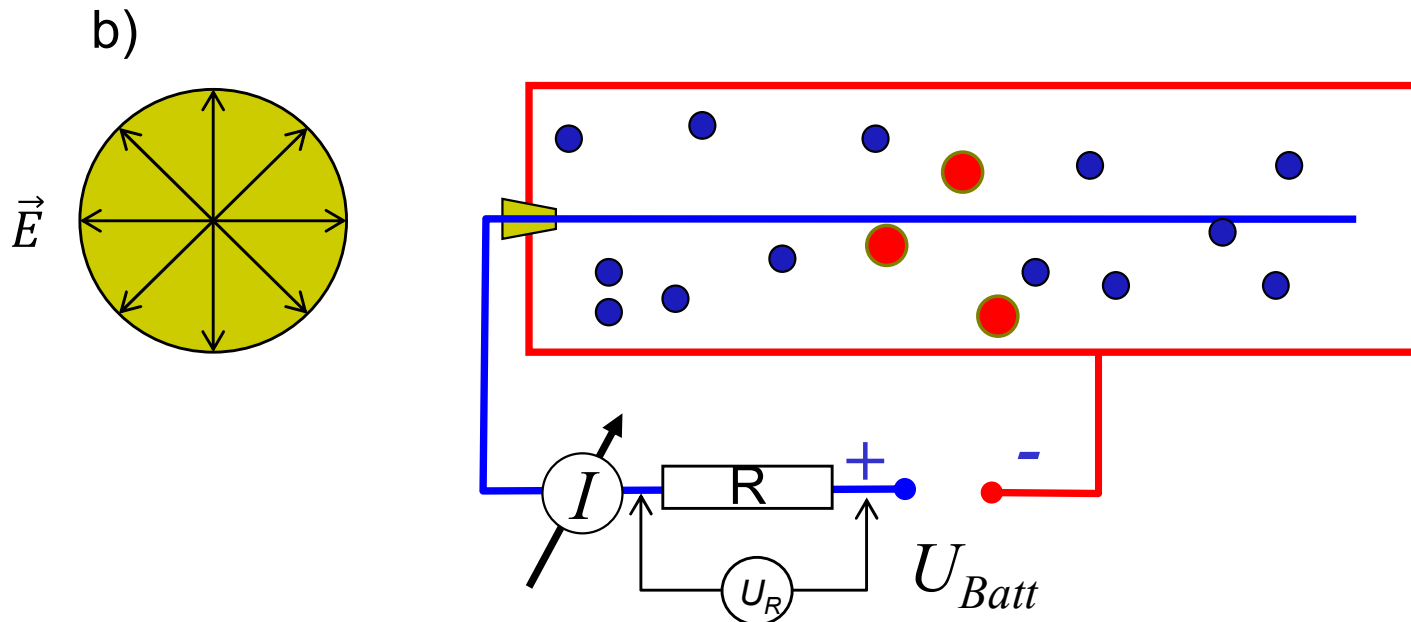


# Gasionisationsdetektoren

Messprinzip: die Gasionisation liefert elektrisches Signal

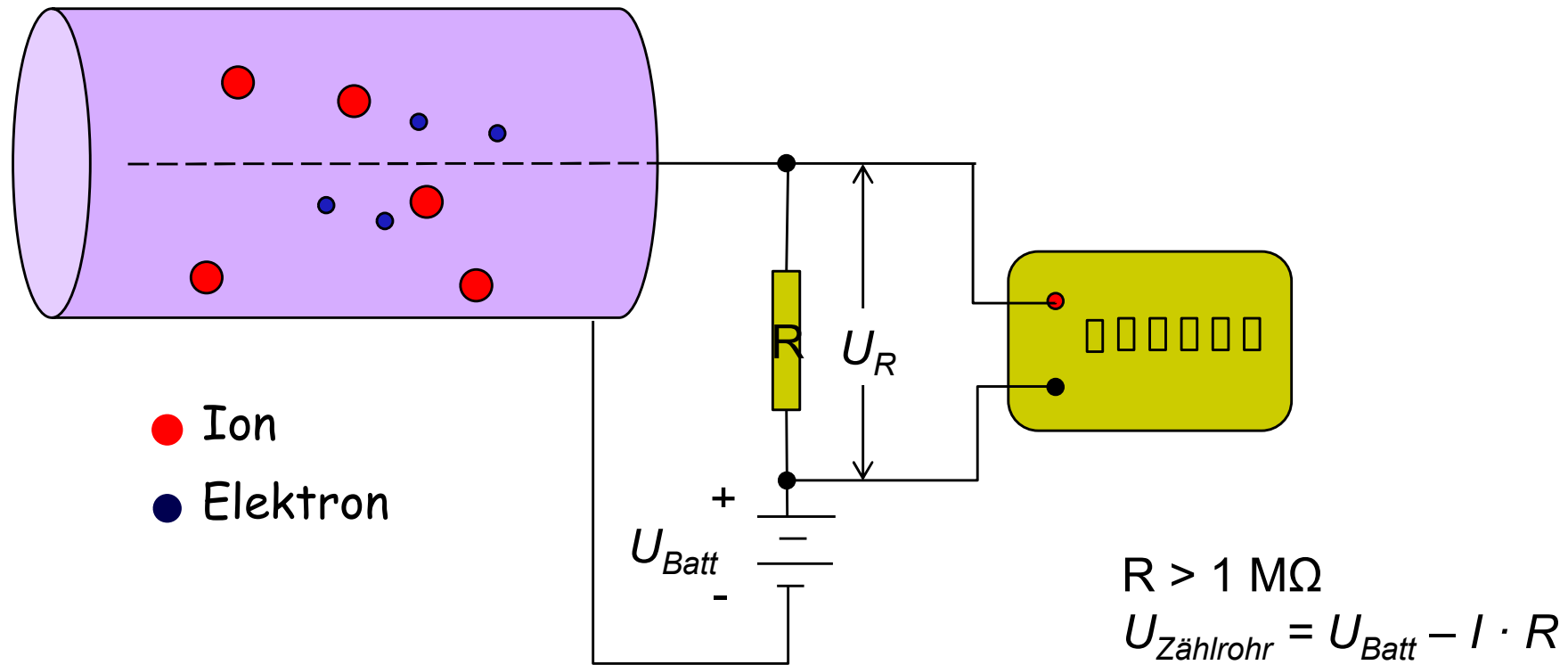


$$C = \frac{Q}{U}$$



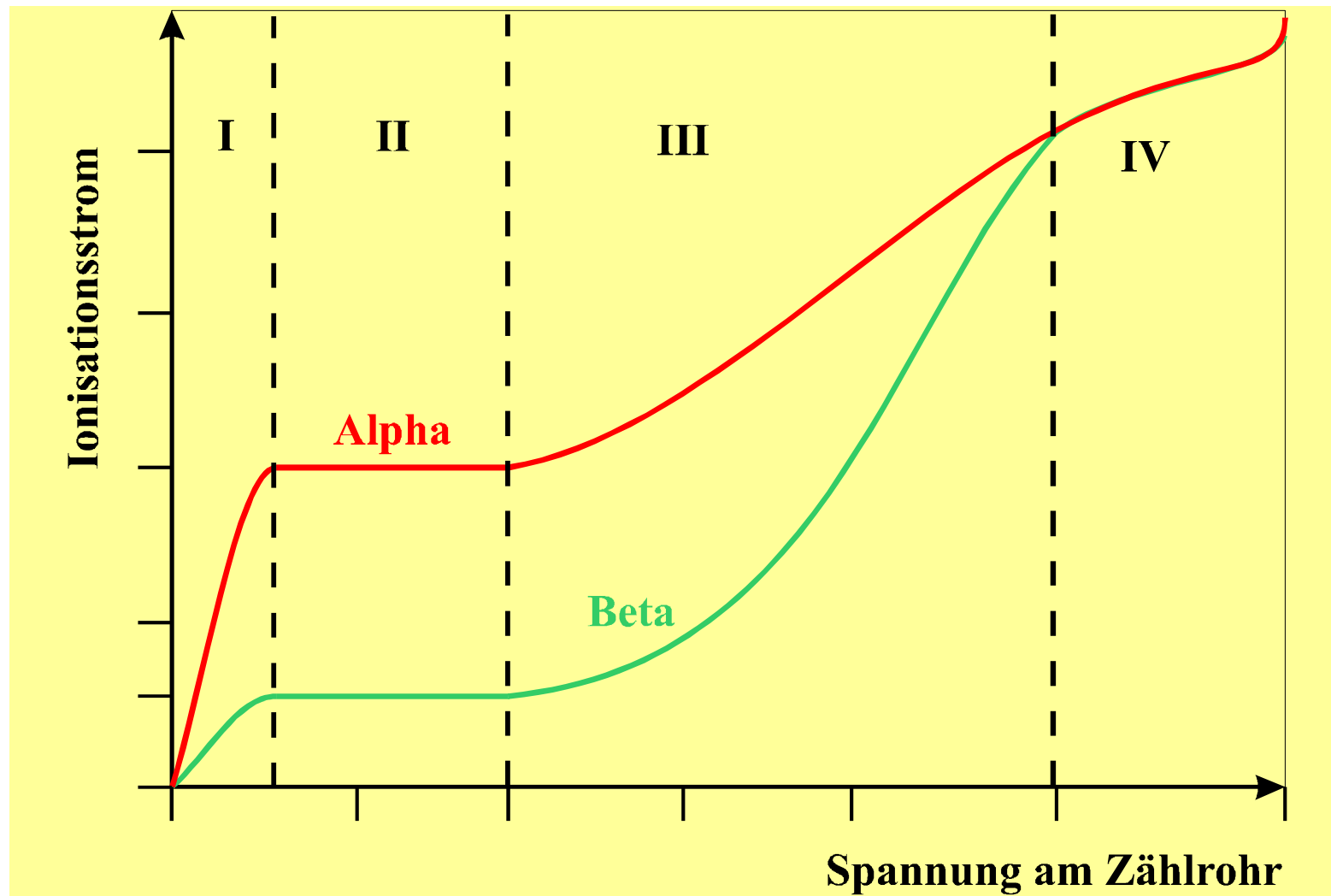
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{U_R}{R}$$

# Ionisationskammer



z.B. Ar (90%) und Ethanol (10%)  
(Zählgas +Löschgas)

## Spannung-Strom Charakteristik des Ionisationsdetektors

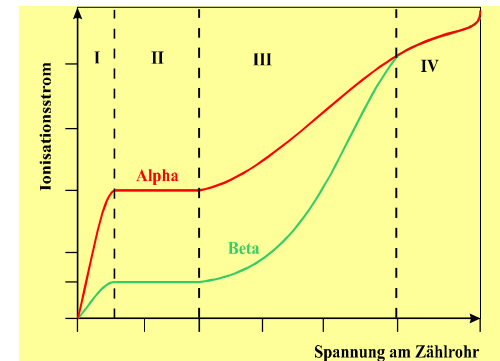


$$U_R = f(U_{Batt}, \text{Strahlungsart}, \text{Energie}, \dots)$$

# Spannungsbereiche für Ionisationskammer

- I. Rekombinationsbereich
- II. Sättigungsbereich (Ionisationskammer-Bereich)
- III. Proportionalitätsbereich
- IV. Auslösebereich (G-M-Bereich)

ad. I.:

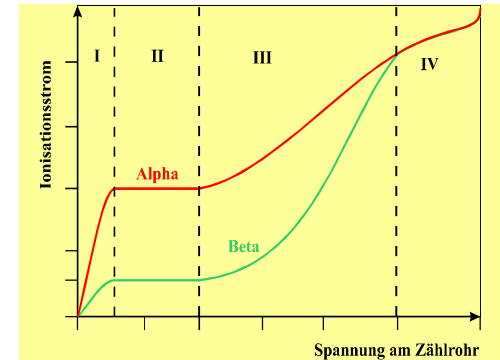


✓ Die angelegte Spannung ist zu klein und die entstandenen Ladungen können die Elektroden nicht erreichen.

✓ Daher kann es geschehen, dass sich einige  $\text{Ar}^+$ -Ionen wieder mit Elektronen zu neutralen Ar-Atomen vereinigen. Dieser Prozess wird **Rekombination** genannt.

## II. Sättigungsbereich (Ionisationskammer-Bereich)

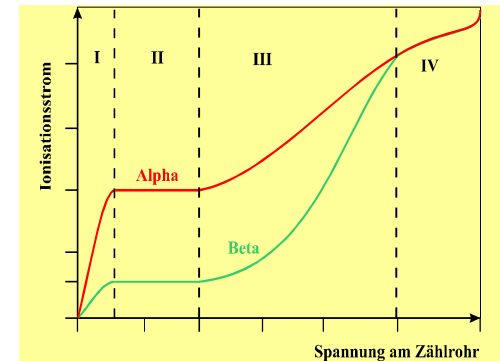
- Es tritt keine Rekombination mehr auf.
- Fast alle Ionen gelangen zu den Elektroden
- Der Sättigungsstrom hängt von der Energie der einfallenden Strahlung ab.
- Der Sättigungsstrom für  $\alpha$ -Teilchen ist wegen der unterschiedlichen Ionisationsfähigkeiten grösser als der Sättigungsstrom der  $\beta$ -Teilchen.



Bereich, in dem keine Rekombination mehr stattfindet und das elektrische Feld noch nicht zu stark ist, weitere sekundäre Ionisationen verursachen zu können.



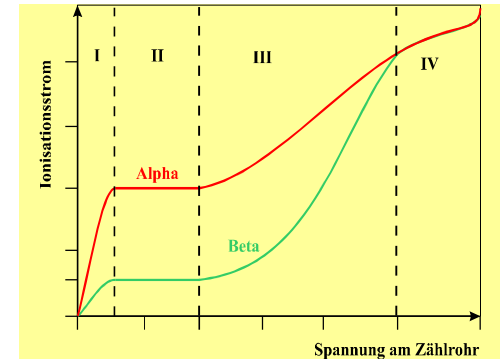
### III. Proportionalitätsbereich



- Es sind weitere Ladungen durch Stoßionisationen erzeugt: Sekundärionisation
- Die Anzahl der durch Sekundärionisation erzeugten Ionen ist proportional zur Anzahl der primär erzeugten Ionen.
- Die Stromstärke ist noch der Teilchenenergie proportional.

## IV. Geiger-Müller-Bereich

- Die Anzahl der Sekundärionisationen ist so groß, daß es keine Rolle spielt, ob bei der Primärionisation einige Ionen mehr oder weniger entstehen.
- Das Signal ist uniformiert, es ist unabhängig von der Energie der ionisierenden Strahlung
- Die Anzahl der einfallenden Teilchen wird registriert.



Das Löschen der Zählrohrentladung:

1. Hoher Zählrohrwiderstand
2. Füllgas
3. Positive Raumladung

$$R > 1 \text{ M}\Omega$$

$$U_{\text{Zählrohr}} = U_{\text{Batt}} - I \cdot R$$

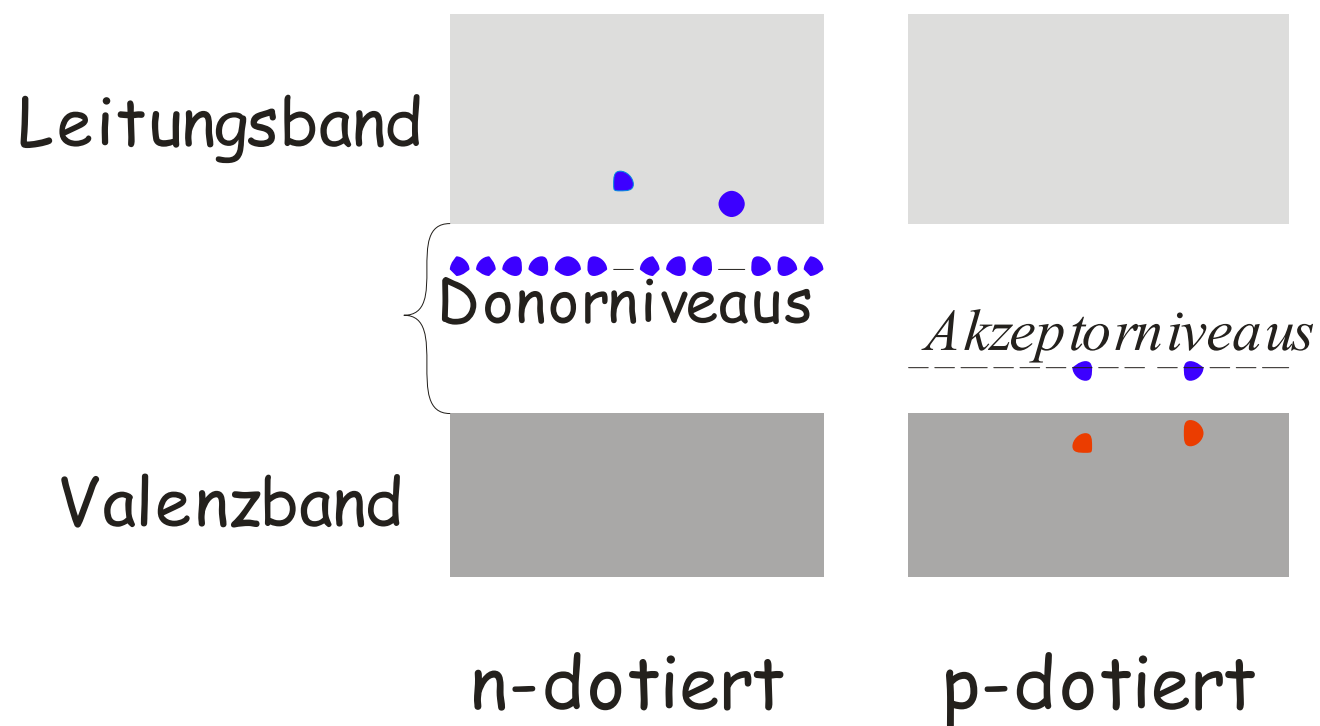
Wegen des Durchdringungsvermögens der Gamma/Röntgen-Strahlungen besitzt die GM-Röhre nur einen Wirkungsgrad von 0,1% .

## **Vorteile:**

- *seit mehr als 100 Jahren sind die Ionisationsvorgänge untersucht — ausführliche theoretische und praktische Kenntnisse;*
- *Messvolumen von mm<sup>3</sup> - Liter;*
- *ermöglicht absolute Messung — Kalibrationsmessungen der anderen Detektoren/Dosimeter;*
- *Messung der sehr großen Dosiswerten;*
- *Schließen zur Energiedosis in Geweben.*
- *Echzeitmessung bei der Strahlentherapie!!*

# Halbleiter-Detektor

## Dotierte Halbleiter

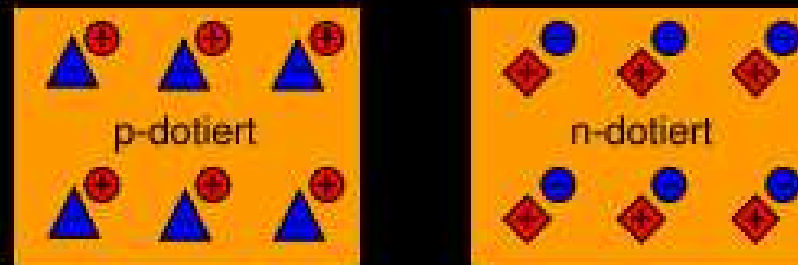


# Halbleiter-Sperrschicht Detektor

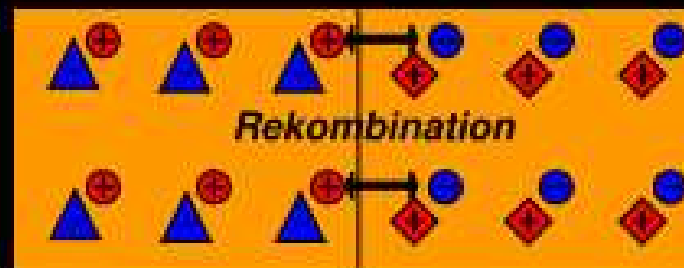
## p-n Übergang

<http://www.zum.de/dwu/depotan/apet101.htm>

vor Kontakt



Kontakt



nach Kontakt

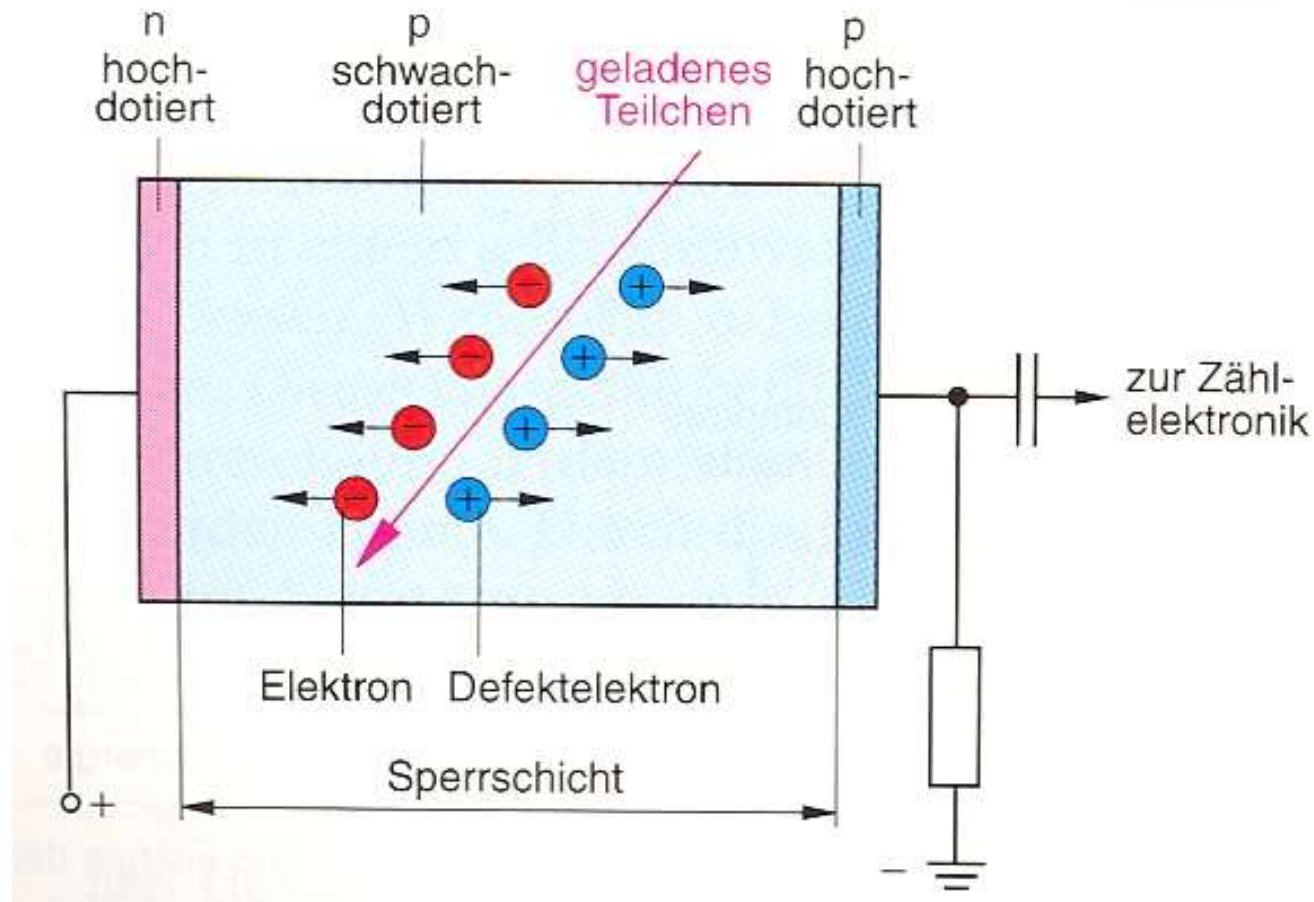


Die Kreise symbolisieren bewegliche Majoritätsladungsträger (Elektronen (-) und Löcher (+)), die eckigen Figuren stellen Atomrümpfe dar.

RLZ - Raumladungszone  
bzw. Sperrschicht



# Halbleiter-Sperrschicht Detektor



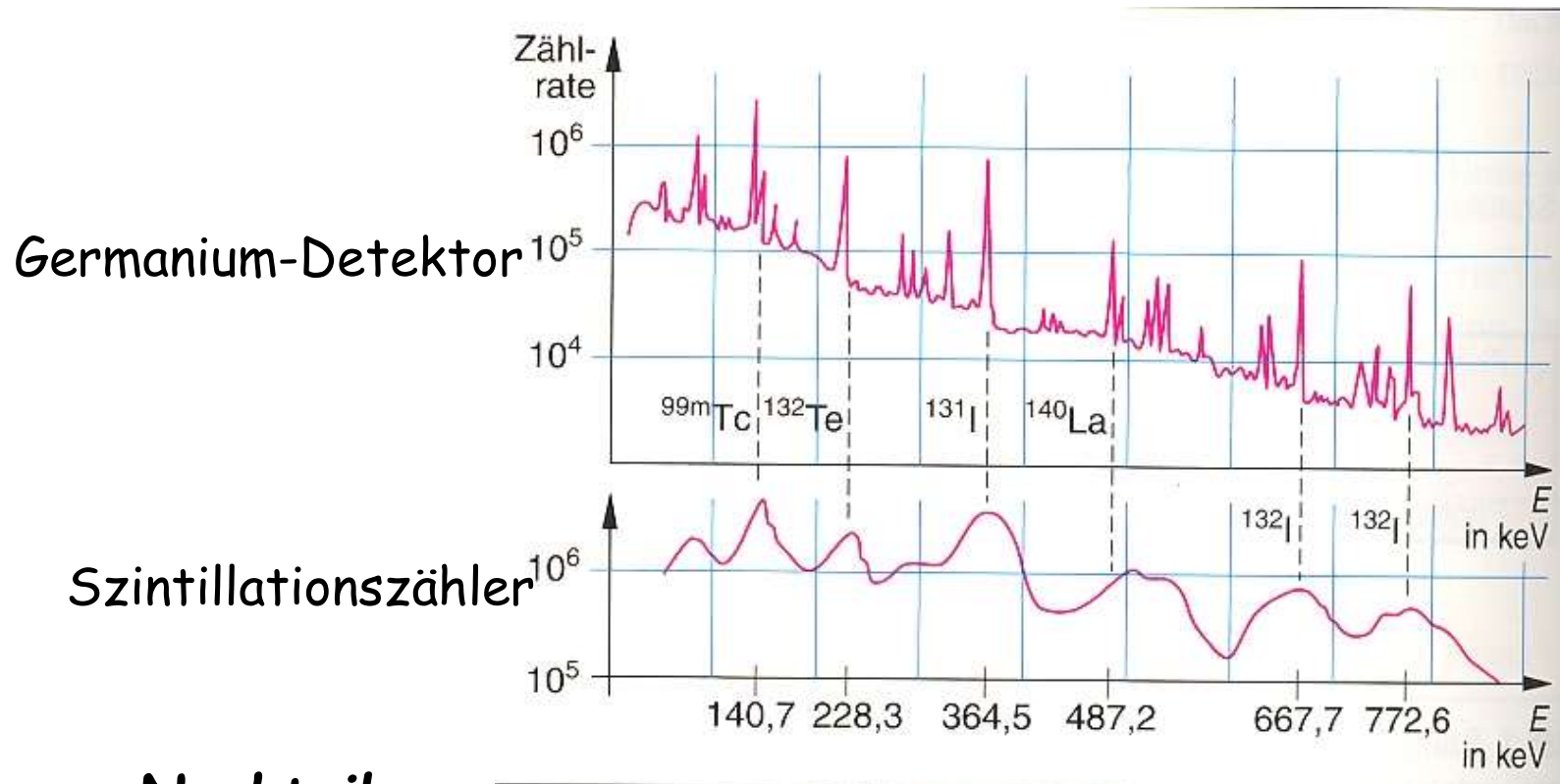
Wird der n-Bereich mit dem + Pol und der p-Bereich mit dem - Pol einer Spannungsquelle verbunden, so verbreitet sich die Sperrschicht.

Ein el. Ladung tragendes Teilchen erzeugt in dieser Sperrschicht Elektronen und Defektelektronen. → Es kommt zu einem kurzzeitigem Strom.

# Halbleiter-Sperrschicht Detektor

## Vorteile:

- Im Halbleiter können auch Teilchen höherer Energie vollständig abgebremst werden. (wegen der höheren Dichte)
- Sie besitzen eine gute **Energieauflösung**  $\Delta E/E$  von weniger als 1%.



## Nachteil:

- Sie sind sehr temperaturempfindlich.