

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, Blaskammer, Funkenkammer...

Nachweis über nicht elektromagnetische Wechselwirkung mit Materie

- 1.) Neutronendetektor
- 2.) Neutrinodetektor

Szintillationsdetektor

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

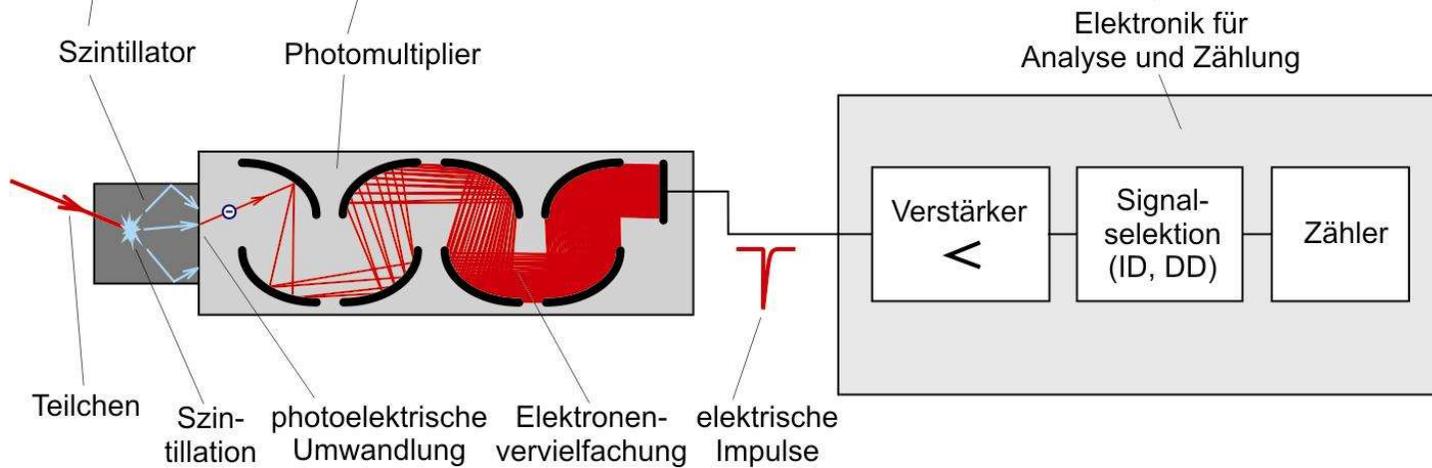
Flüssige Szintillatoren: Anthracen, Stilben, Naphtalen ...

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

Die Zahl der Impulse \sim Aktivität des Präparates

siehe Praktikum: Nukleare Grundmessung

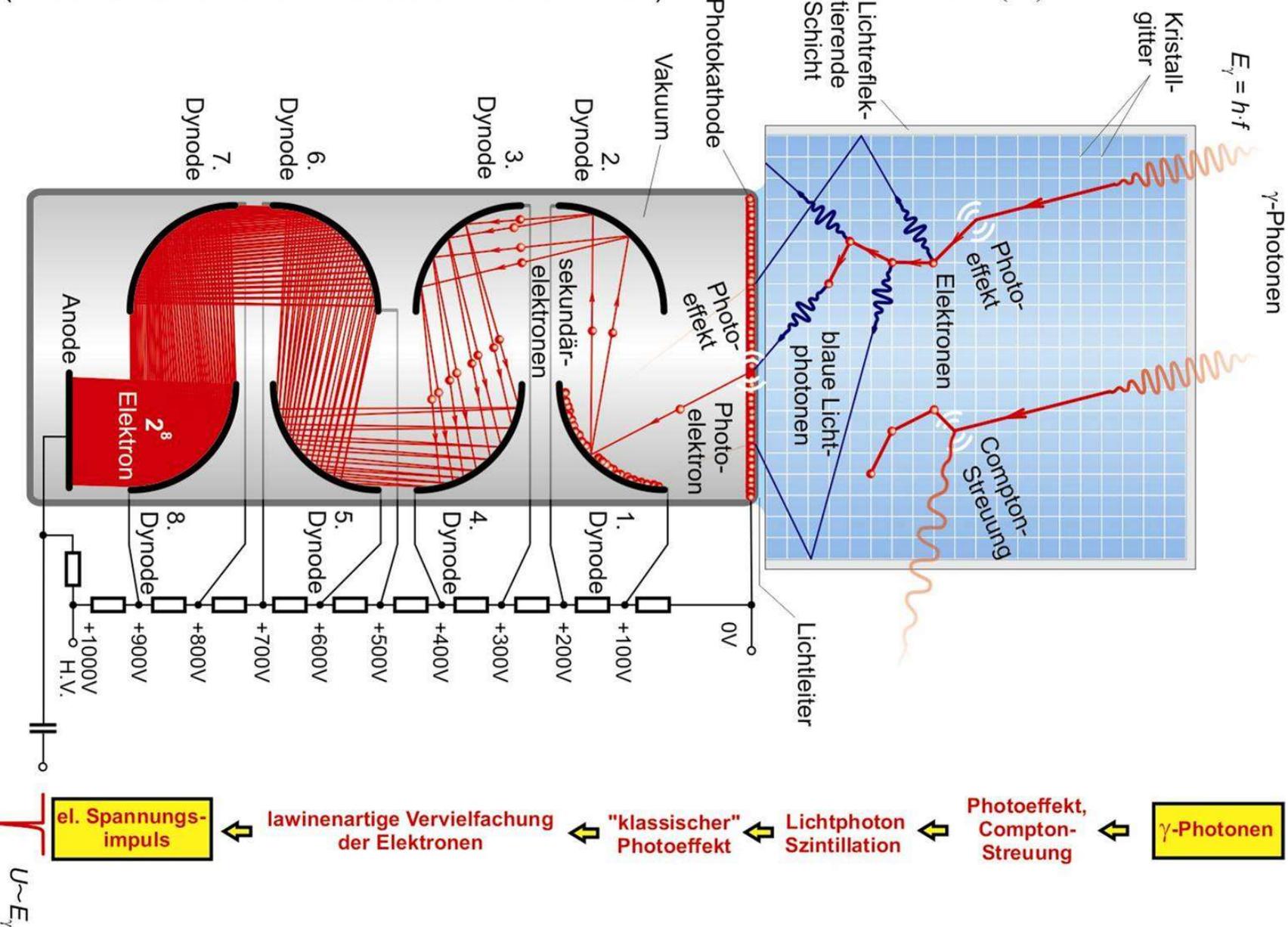
Szintillationsdetektor



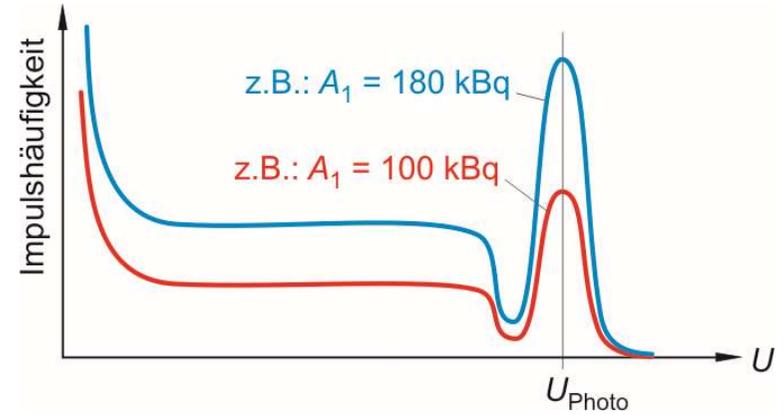
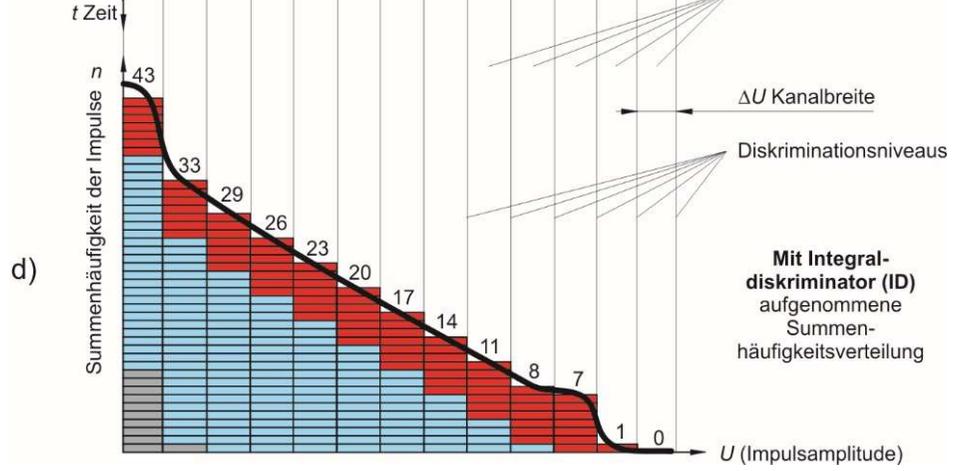
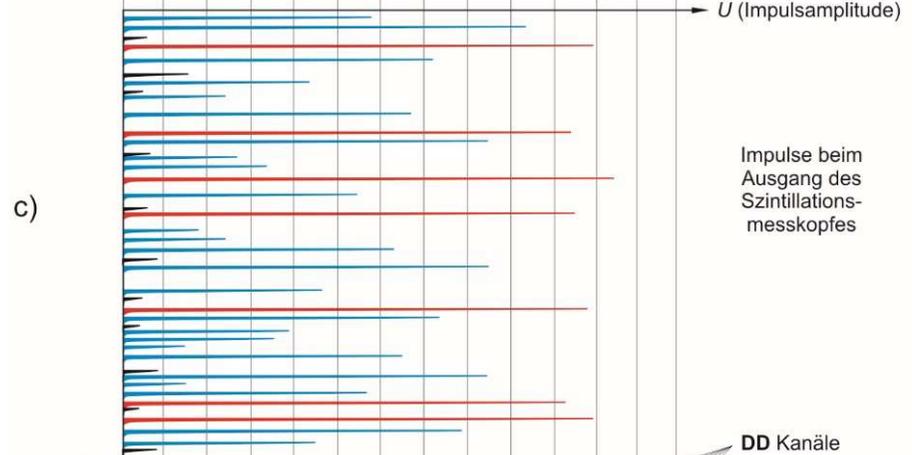
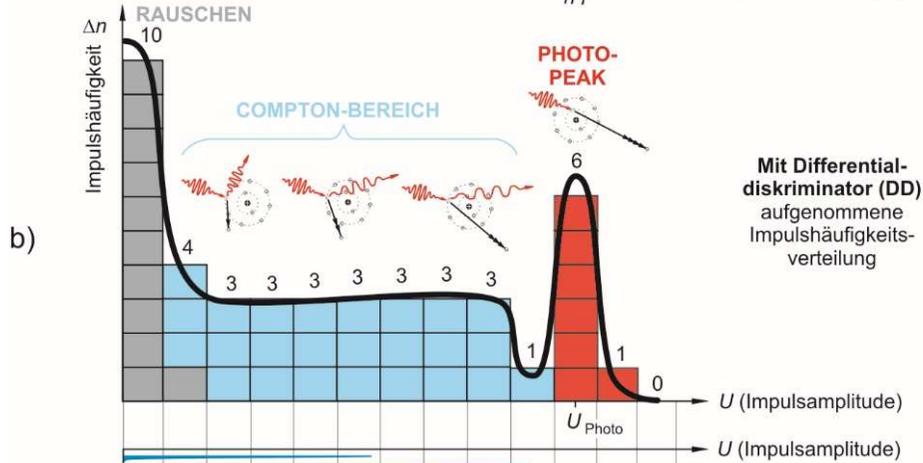
Szintillationszähler

PHOTOMULTIPLIERTOR
(SEKUNDÄRELEKTRONENVERVIELFÄCHER)

SZINTILLATOR
Na I (Tl)



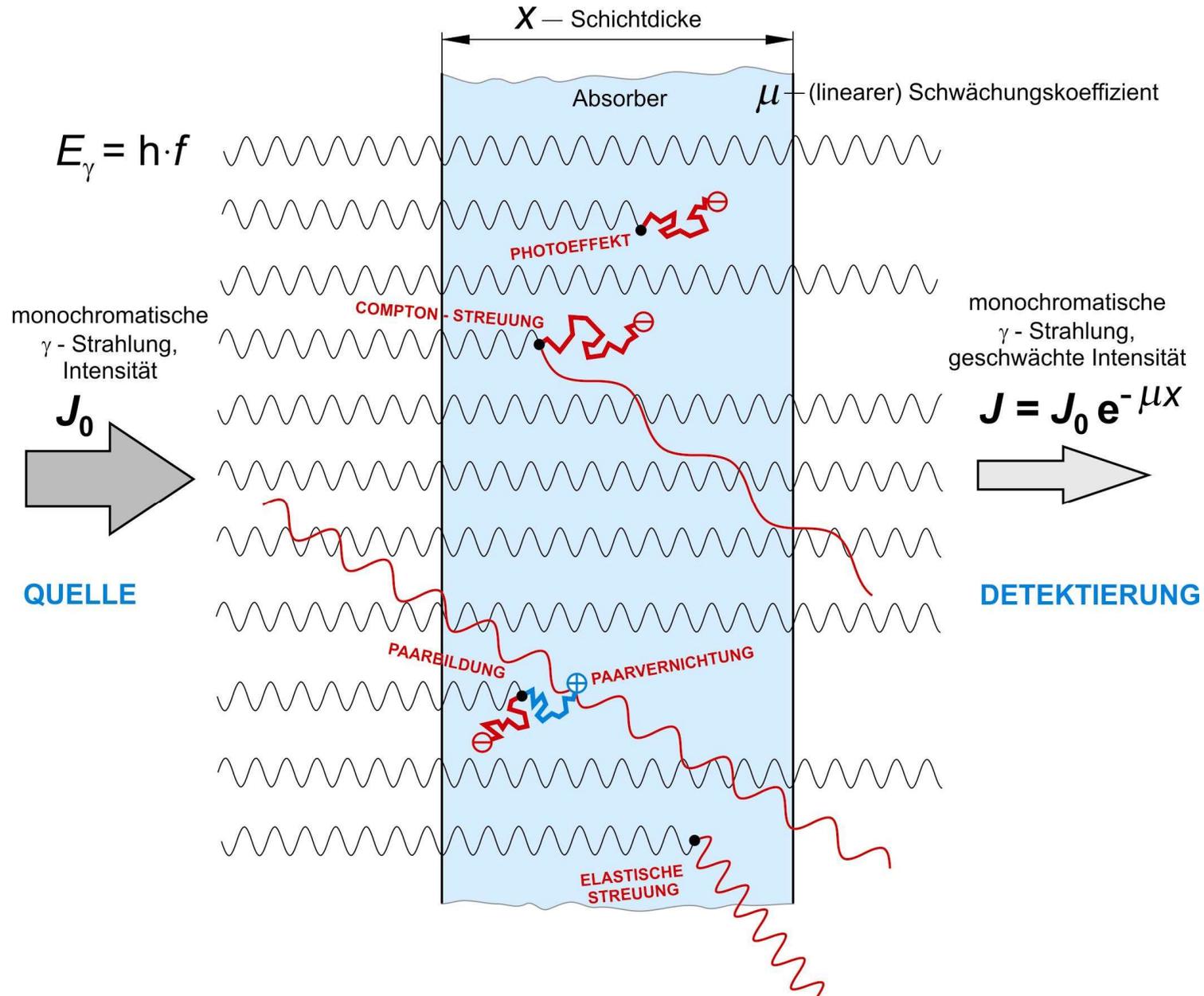
el. Spannungsimpuls ← **lawinenartige Vervielfachung der Elektronen** ← **"klassischer" Photoeffekt** ← **Lichtphoton Szintillation** ← **Photoeffekt, Compton-Streuung** ← γ -Photonen



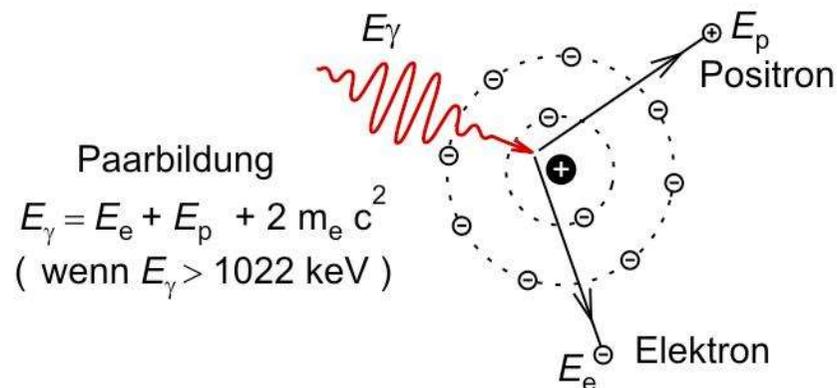
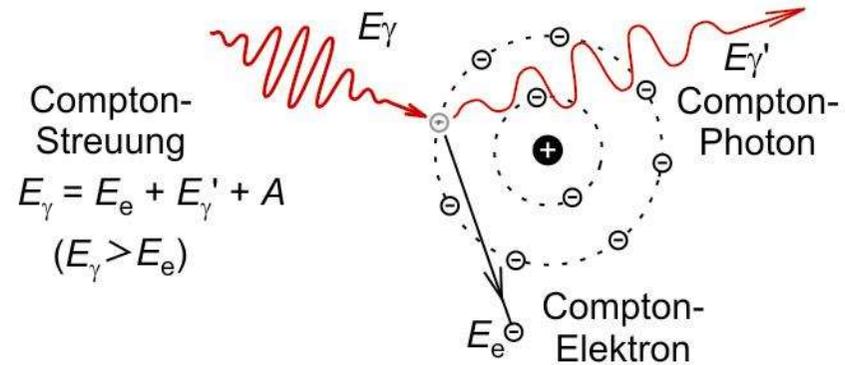
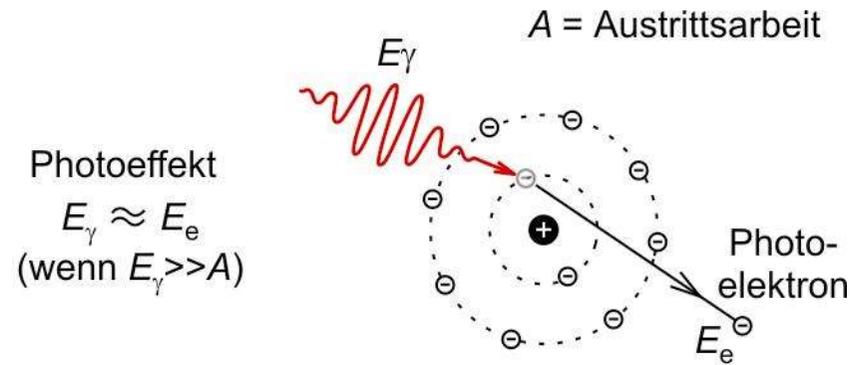
$$U_{Photo} \sim E$$

siehe Praktikum: Gamma-Energie

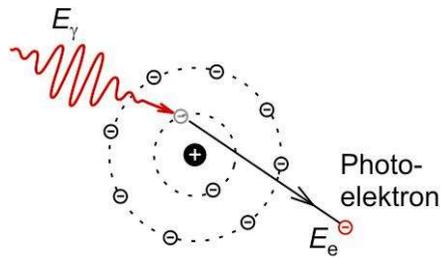
Szintillationsdetektor



Elementarprozesse der Schwächung

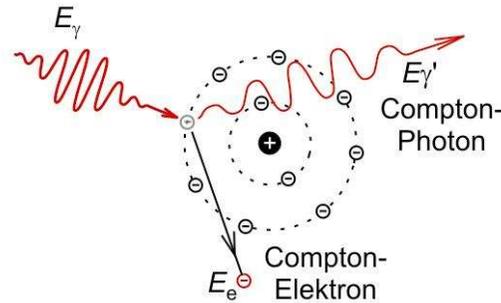


Elementarprozesse der Schwächung



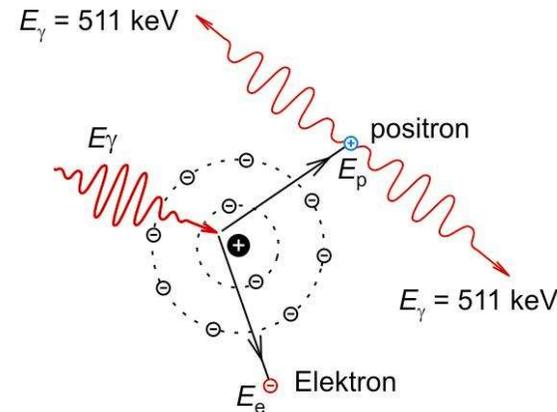
a.) **Photoeffekt**
 $E_\gamma = A + E_e$
 A = Austrittsarbeit

τ



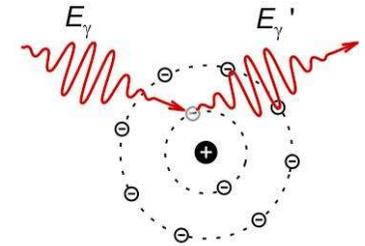
b.) **Compton-Streuung**
 $E_\gamma = A + E_e + E'_\gamma$

σ



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

κ



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: γ -Absorption ⁹

Physikalische Größen, die den μ beeinflussen

- ✓ Qualität des Absorbents (Q)
- ✓ Dichte des Mediums/Absorbents (ρ)
- ✓ Strahlungsart: EMW, Teilchenstrahlung. (γ , X; α , β , p, n,...)
- ✓ Photonenenergie, Teilchenenergie (ε)

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

Massenschwächungskoeffizient:

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

μ_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 μ_m umschreiben :

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



$$x_m = x \cdot \rho$$

Maßeinheit:

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

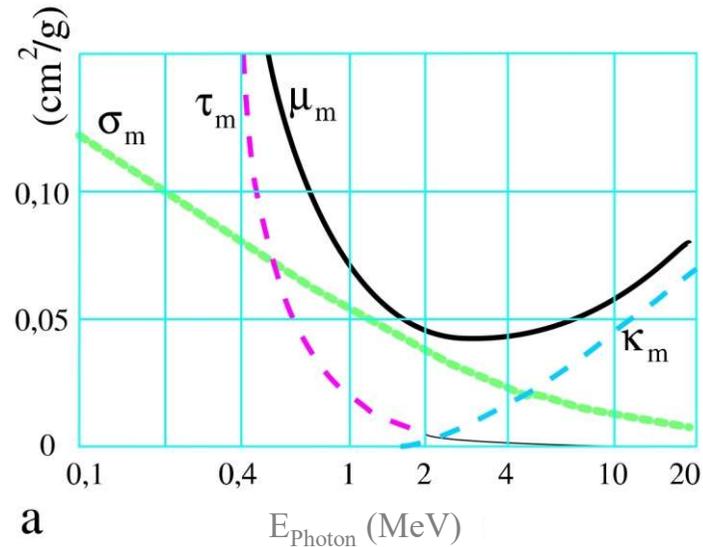
Massenbedeckung x_m

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

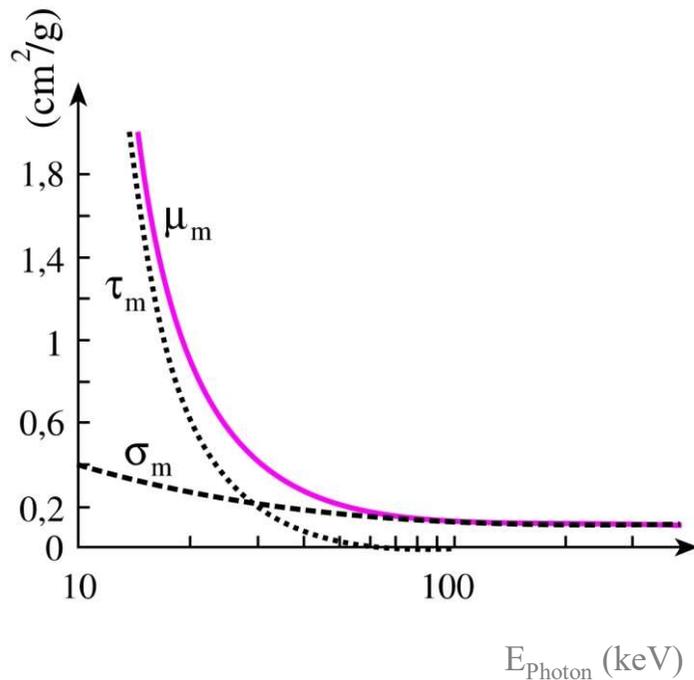
$$D_m = D \cdot \rho \quad D_m: \text{Halbwertsmasse}$$

Benützung von μ_m ist vorgezogen im Vergleich zum μ .

Elementarprozesse der Schwächung

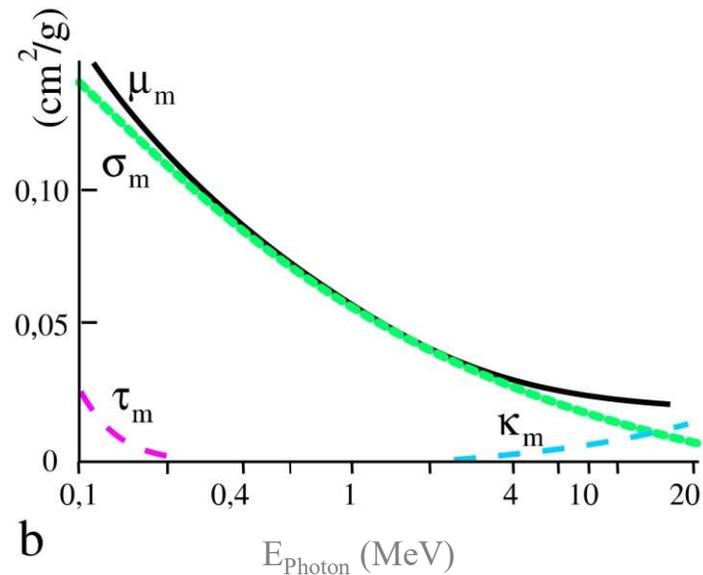


Pb Absorbent
Strahlenschutz



H₂O Absorbent

Modell für
weiche Gewebe



siehe Praktikum: γ -Absorption

Vorteil:

- Szintillationszähler besitzen eine hohe Nachweiseffektivität für γ -Strahlung:

Wirkungsgrade für verschiedene Radionuklide Mittelwerte aus Messungen mit 100 cm ² 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 α	ca. 22%
P-238 α	ca. 12%
U-238 α	ca. 26%



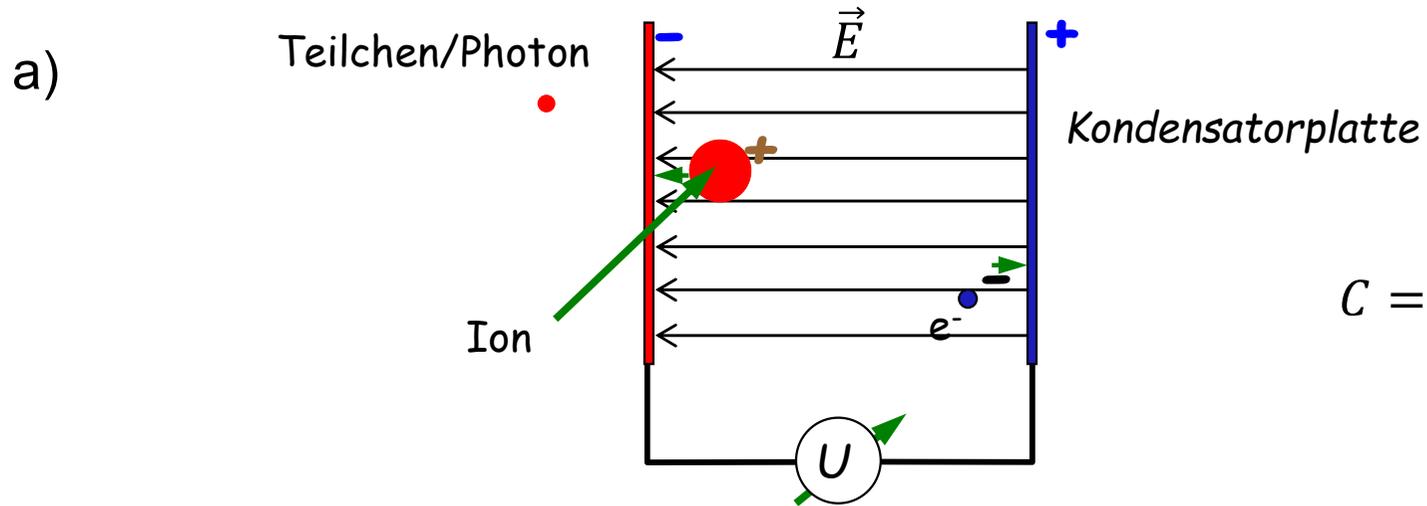
<http://www.graetz.com/como-170.html>

Nachteil:

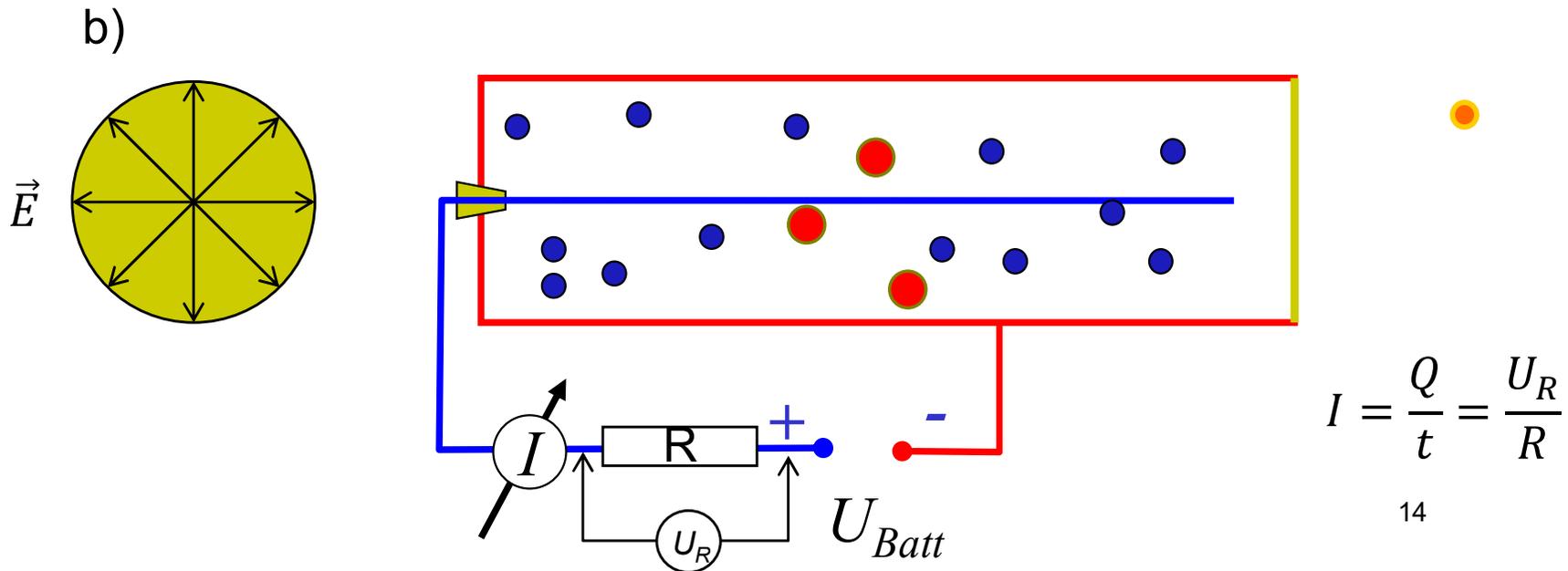
- Ihr Nachteil besteht in der relativ geringen Energieauflösung $\Delta E/E$ von ca. 10%.

Gasionisationsdetektoren

Messprinzip: die Gasionisation liefert elektrisches Signal

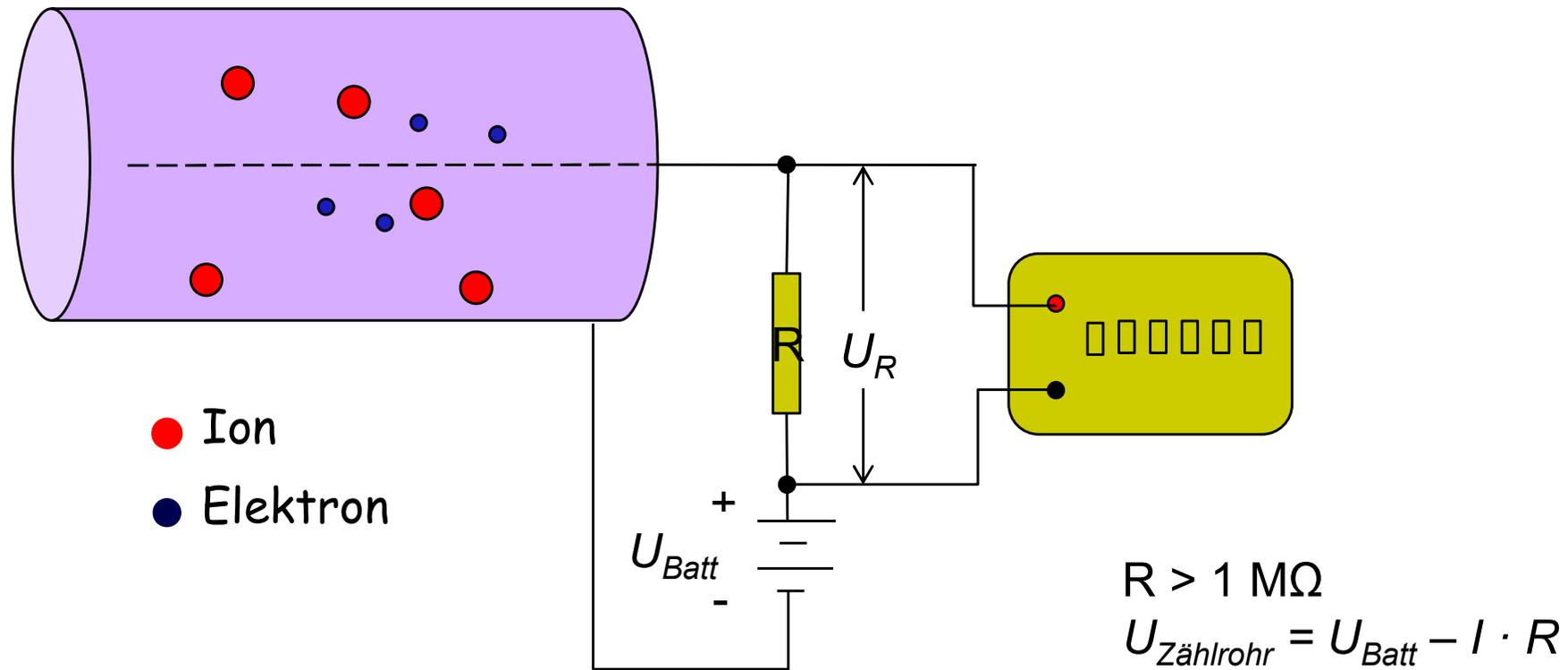


$$C = \frac{Q}{U}$$



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

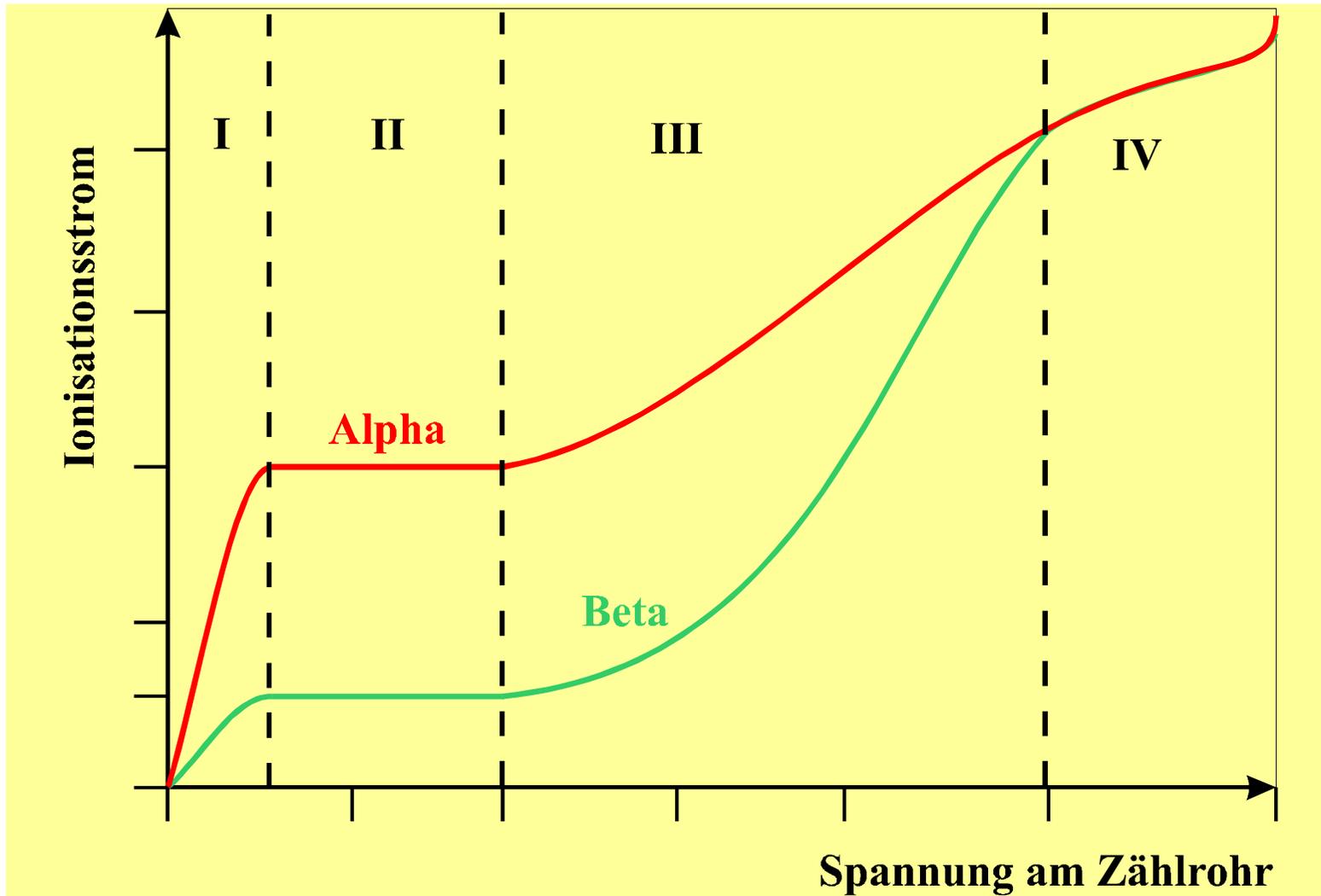
Ionisationskammer



z.B. Ar (90%) und Ethanol (10%)

(Zählgas + Löschgas)

Spannung-Strom Charakteristik des Ionisationsdetektors



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

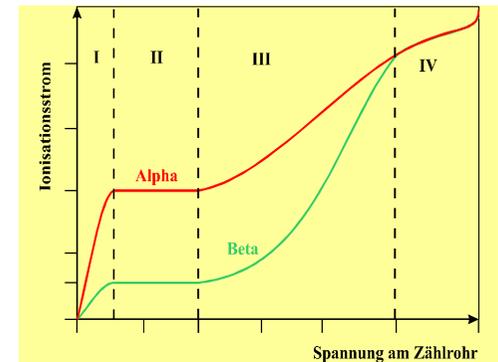
Spannungsbereiche für Ionisationskammer

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

ad. I.:

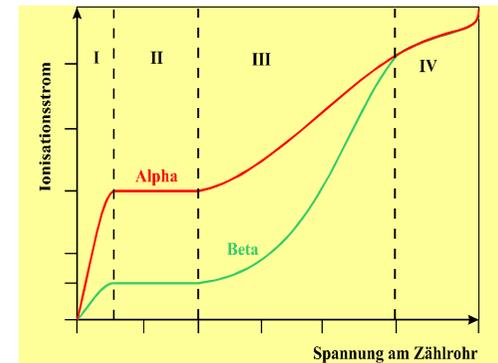
✓ Die angelegte Spannung ist zu klein und die entstandenen Ladungen können die Elektroden nicht erreichen.

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



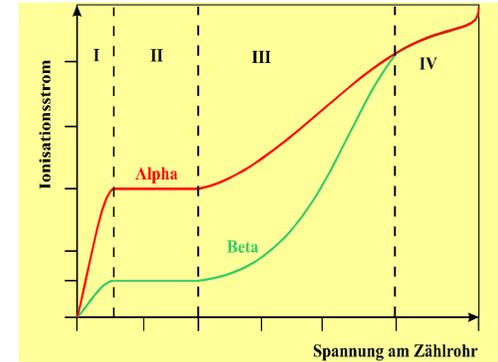
II. Sättigungsbereich (Ionisationskammer-Bereich)

- 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 α -Teilchen ist wegen der unterschiedlichen Ionisationsfähigkeiten grösser als der Sättigungsstrom der β -Teilchen.



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

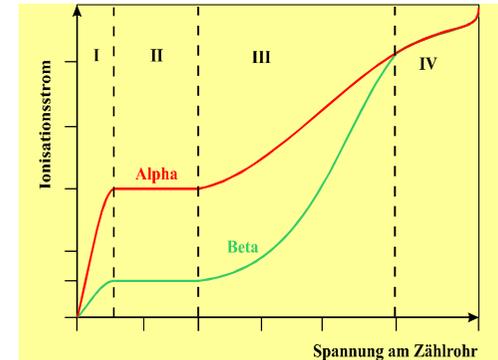
III. Proportionalitätsbereich



- 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

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

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

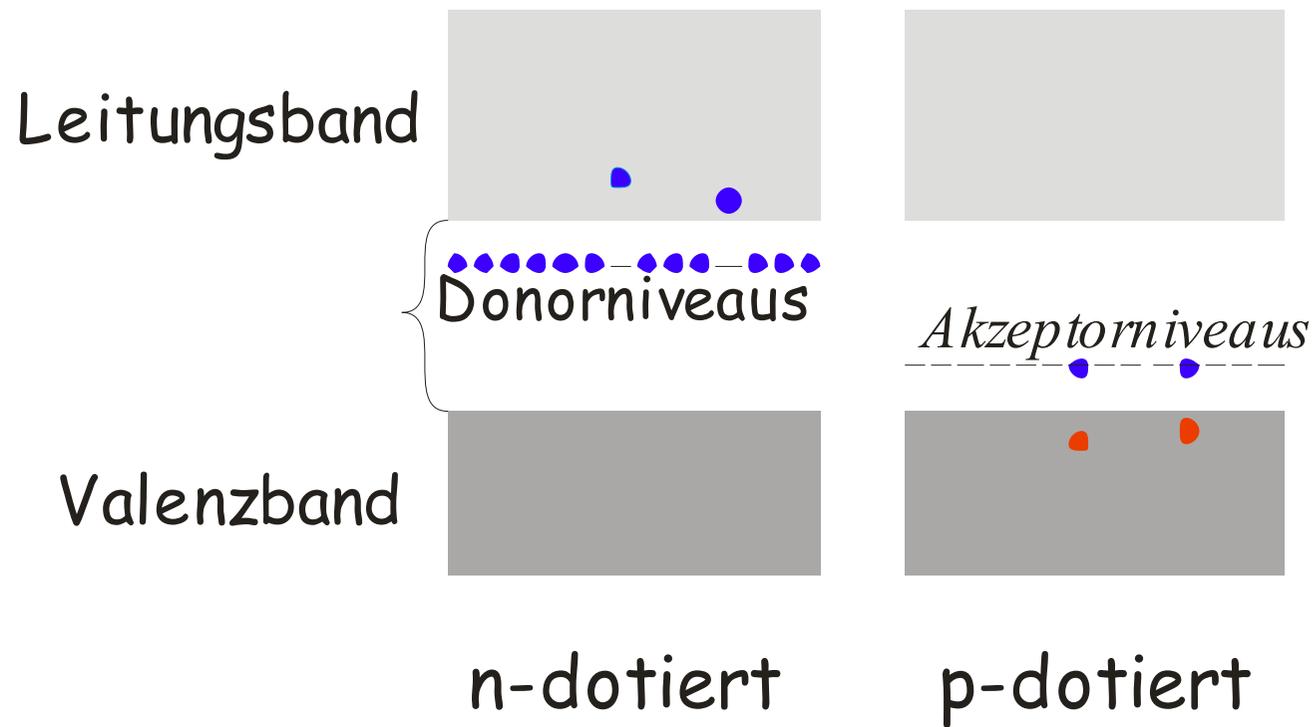
Wegen des Durchdringungsvermögens der Gamma/Röntgen-Strahlungen besitzt die GM-Röhre nur einen Wirkungsgrad von 0,1% .

Vorteile:

- *seit mehr als 100 Jahren sind die Ionisationsvorgänge untersucht — ausführliche theoretische und praktische Kenntnisse;*
- *Messvolumen von mm³ - 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

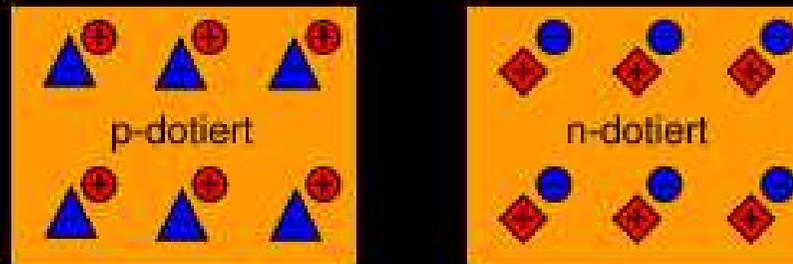


Halbleiter-Sperrschicht Detektor

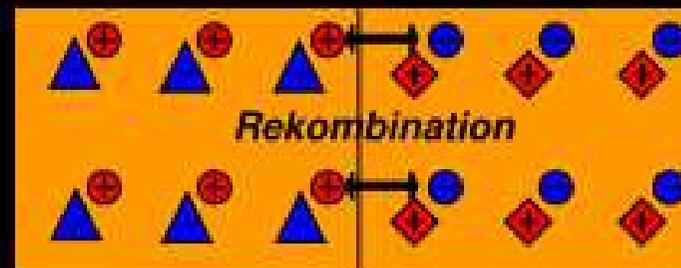
p-n Übergang

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

vor Kontakt



Kontakt



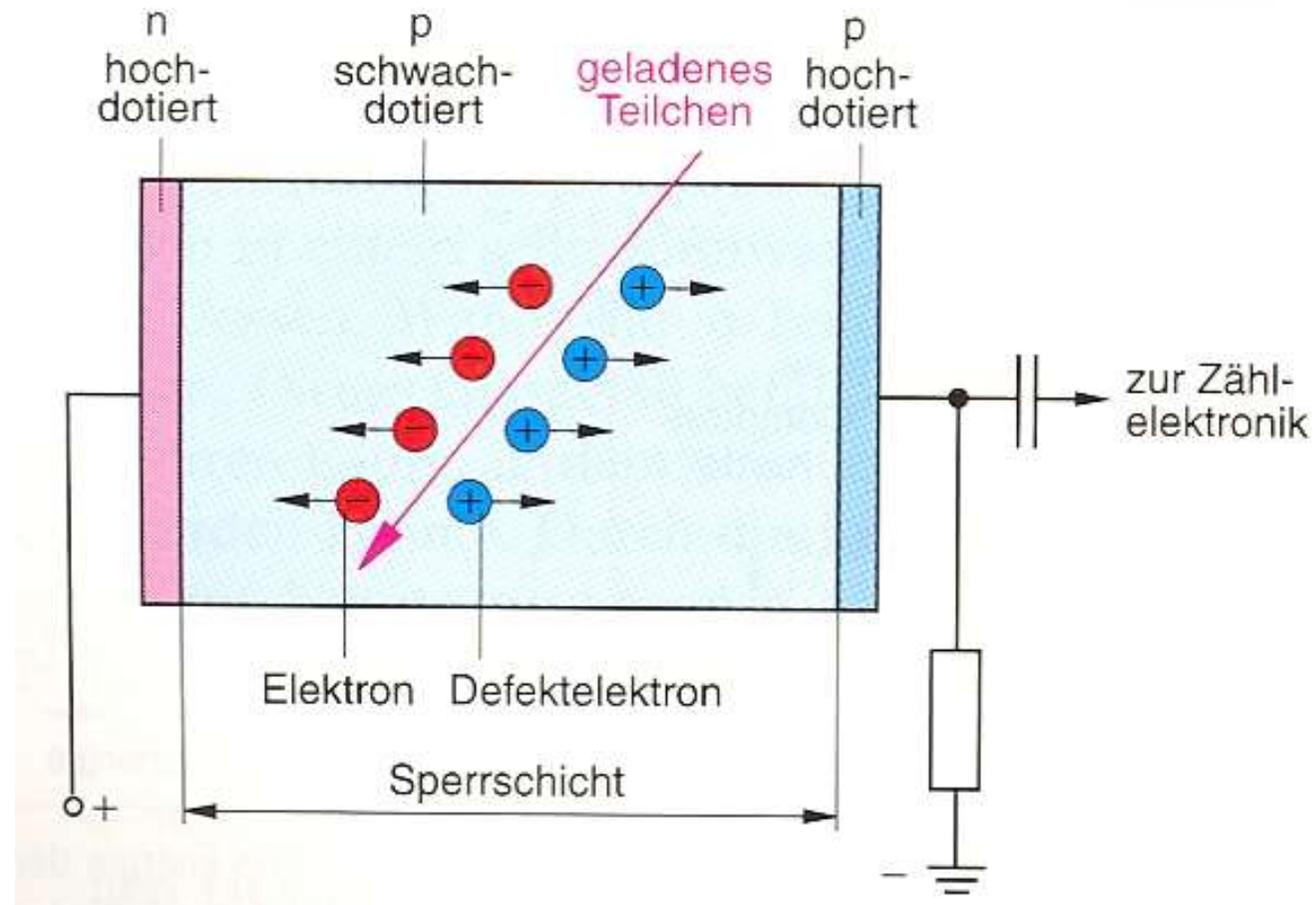
nach Kontakt



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.

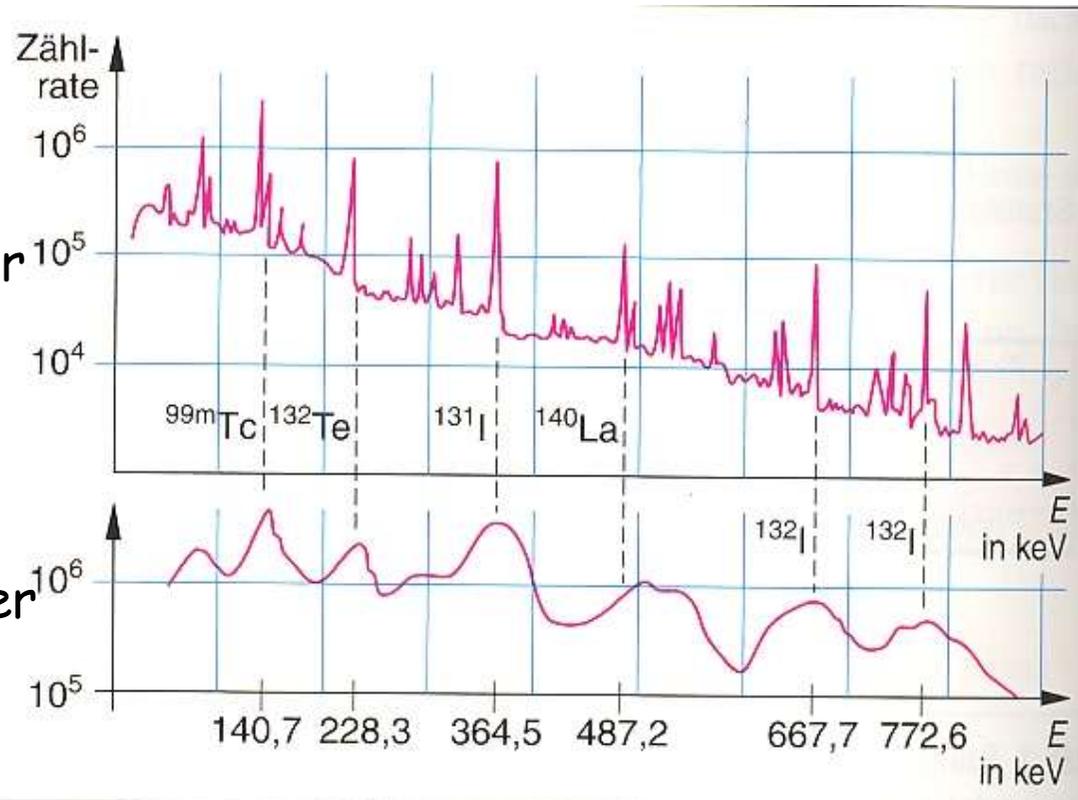
Ein el. Ladung tragendes Teilchen erzeugt in dieser Sperrschicht Elektronen und Defektelektronen. → Es kommt zu einem kurzzeitigem Strom.

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%.*

Germanium-Detektor



Szintillationszähler

Nachteil:

- *Sie sind sehr temperaturempfindlich.*