

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (1)

Radiometrische Größe	Formel	Photometrische Größe	Formel
Strahlungsenergie Q_e , Strahlungsmenge [radiant energy; J]	$Q_e = n \cdot h \cdot f$	Lichtmenge Q_v [luminous energy; lm·s]	$Q_v = \int \phi_v \cdot dt$
Strahlungsleistung [radiant power; W], Strahlungsfluss ϕ_e [radiant flux]	$\phi_e = \frac{dQ_e}{dt}$	Lichtstrom ϕ_v [(luminous) flux ; lm]	$\phi_v = k_{\max} \cdot V(\lambda) \cdot \phi_e$
Strahl(ungs)stärke I_e [radiant intensity; W/sr]	$I_e = \frac{d\phi_e}{d\Omega}$	Lichtstärke I_v [(luminous) intensity; cd]	$I_v = \frac{d\phi_v}{d\Omega}$
Strahldichte L_e [radiance; W/(sr·m ²)]	$L_e = \frac{dI_e}{dA_{\perp}}$	Leuchtdichte L_v [luminance, brightness; cd/m ²]	$L_v = \frac{dI_v}{dA_{\perp}}$
Strahlungsflussdichte [radiant exitance; W/m ²], spezifische Ausstrahlung M_e [radiant emittance], (Intensität I)	$M_e = \frac{d\phi_e}{dA_1}$	Spezifische M_v Lichtausstrahlung [luminous exitance; lx]	$M_v = \frac{d\phi_v}{dA_1}$
Bestrahlungsstärke E_e [irradiance; W/m ²]	$E_e = \frac{d\phi_e \cdot \cos \alpha_2}{dA_2}$	Beleuchtungsstärke E_v [illuminance; lx]	$E_v = \frac{d\phi_v \cdot \cos \alpha_2}{dA_2}$

Wichtige radiometrische und photometrische Größen

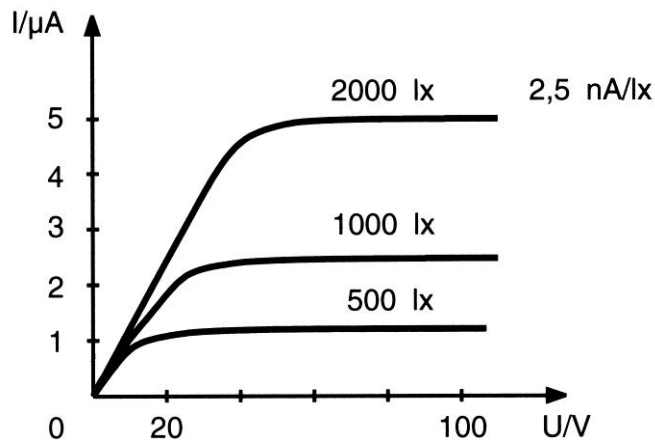
5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (2)

Äußerer Photoeffekt

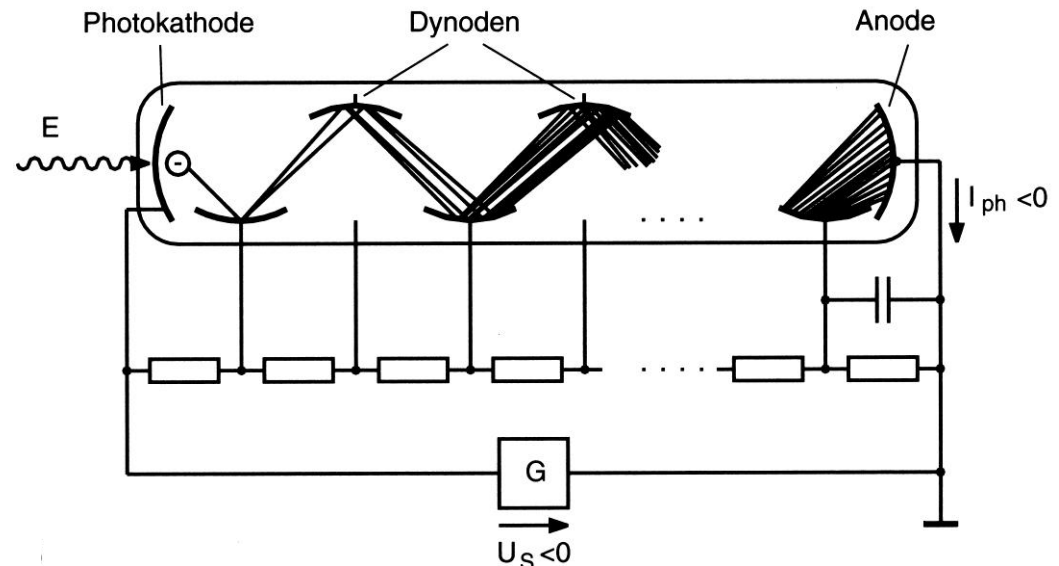
$$E_{\text{kin}} = h \cdot f - W_A$$

⇒ Messung der
Beleuchtungsstärke E_v



Kennlinie einer Photozelle

[J. Niebuhr, G. Lindner:
Physikalische Messtechnik mit Sensoren]



Sekundärelektronenvervielfacher

[J. Niebuhr, G. Lindner:
Physikalische Messtechnik mit Sensoren]

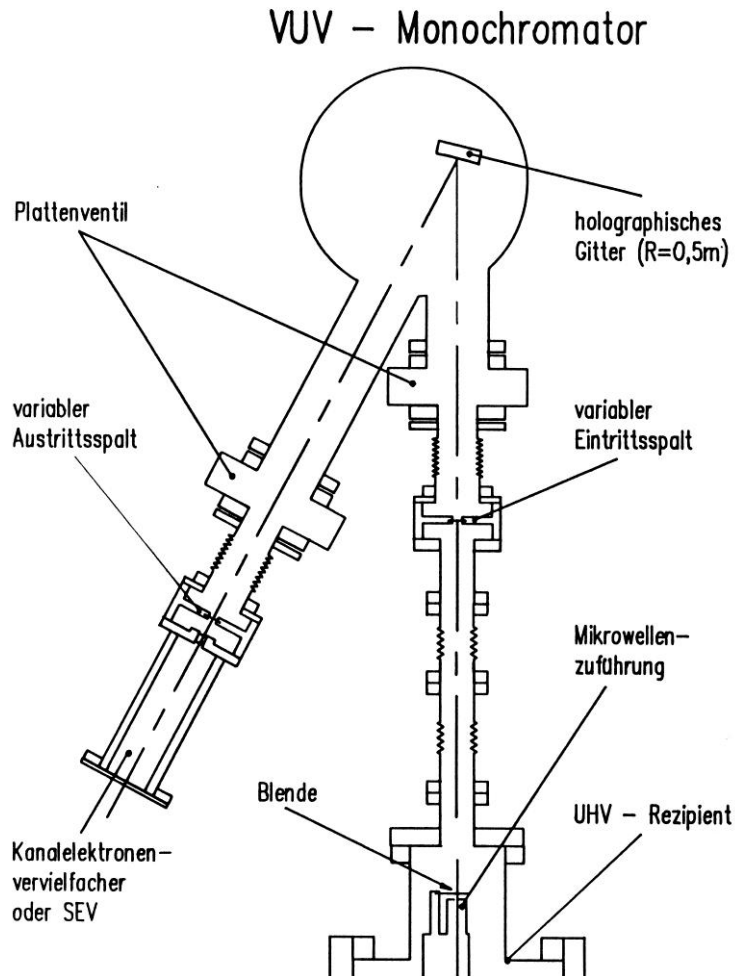


Kanalelektronenvervielfacher

[PHOTONIS]

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (3)

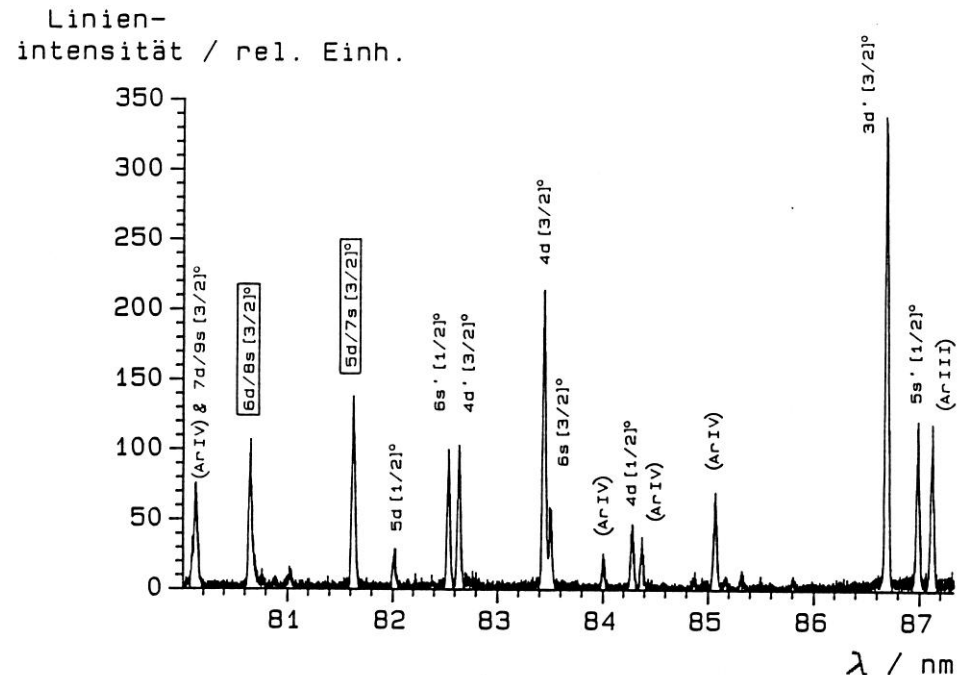


Applikation von Photovervielfachern: Spektroskopie

links: **Gerätetechnischer Aufbau**

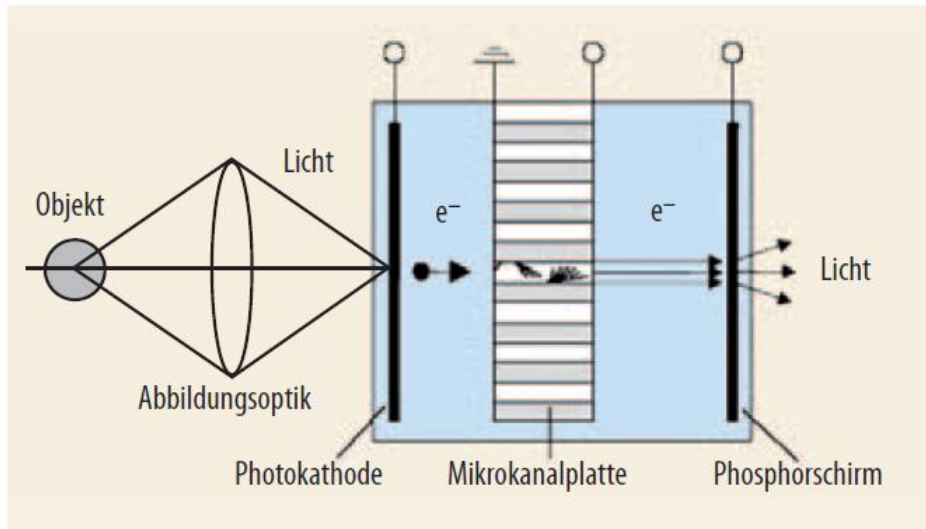
unten: **Emissionsspektrum**

[Ruhruniversität Bochum]



5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (4)



Applikation von Photovervielfachern: Nachtsichtgerät (Prinzip)

[K. Bammel: Wenn die Nacht zum Tage wird]

Bild des Phosphorschirms

[www.nachtoptik.de]



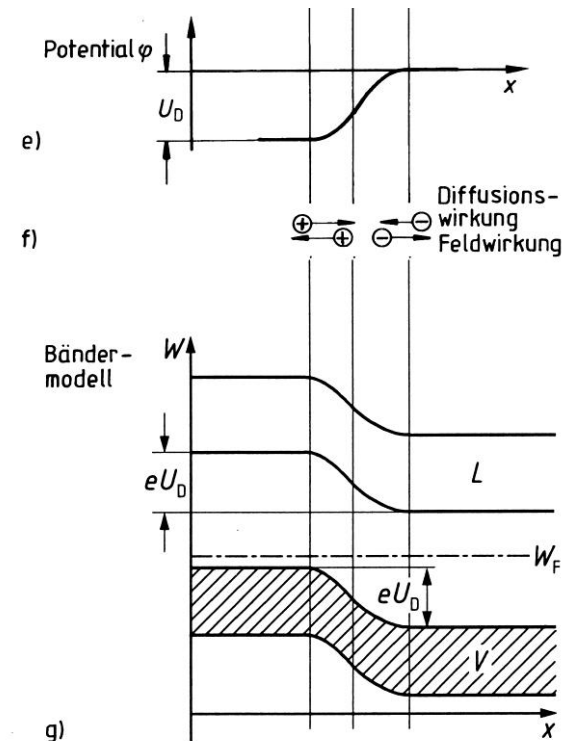
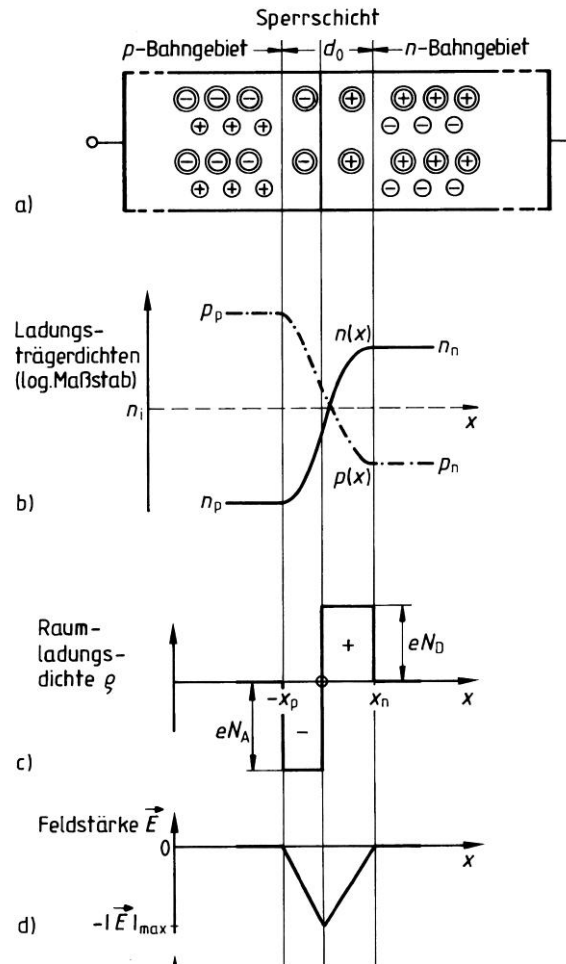
Aktives Nachtsichtgerät

[www.bushnell.com]



5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (5)

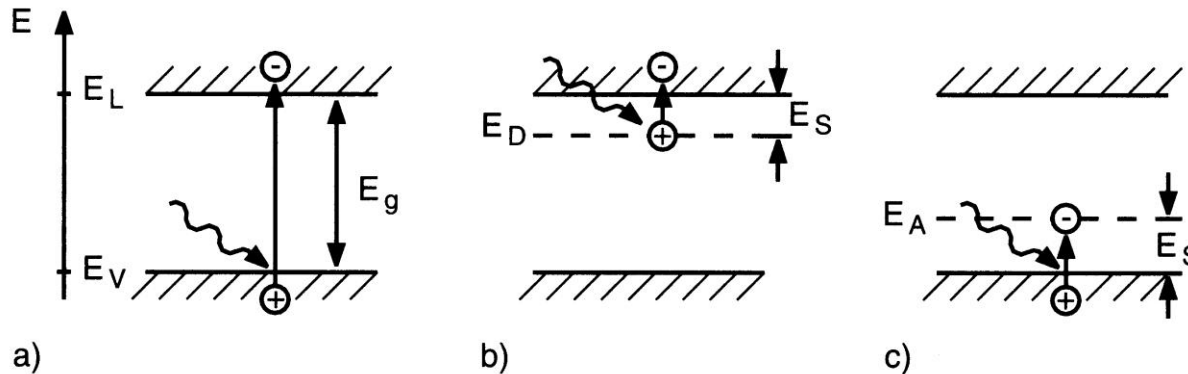


pn-Übergang (stromloser Zustand)

[H. Frohne, K.-H. Löcherer, H. Müller:
Moeller Grundlagen der Elektrotechnik]

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (6)



Strahlungsabsorption
im Halbleiter:

$$\phi_e(\lambda, x) = \phi_e(\lambda, 0) \cdot e^{-\alpha(\lambda) \cdot x}$$

Innerer Photoeffekt im Bändermodell:

a: undotierter Halbleiter

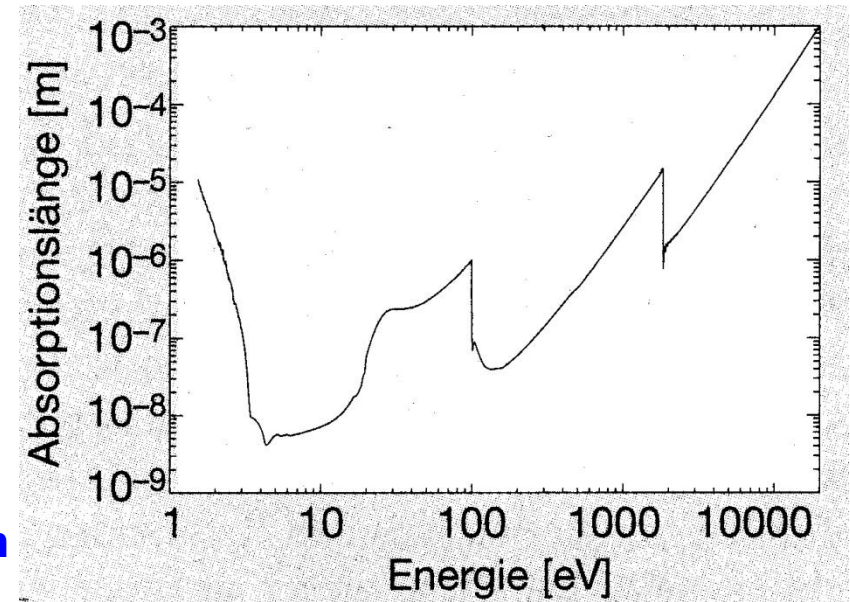
b: p-dotierter Halbleiter

c: n-dotierter Halbleiter

[J. Niebuhr, G. Lindner: Physikalische Messtechnik mit Sensoren]

Absorptionslänge von Photonen in Silizium

[L. Strüder, C. von Zanthier]



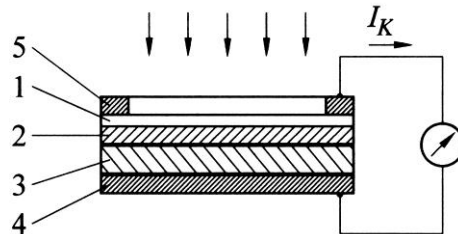
5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (7)

Photostrom (Kurzschlussstrom)

$$I_K = I_{ph} = \frac{n}{t} \cdot e \cdot \eta(\lambda) = \frac{\phi(\lambda) \cdot e}{h \cdot f} \cdot \eta(\lambda)$$

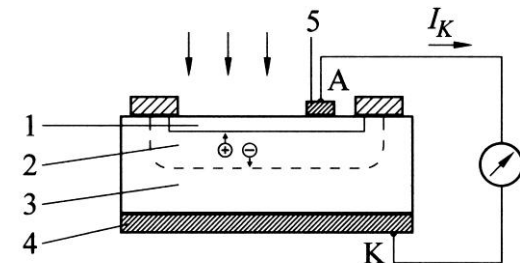
⇒ Bestimmung der Beleuchtungsstärke E_v



Se-Photoelement (Prinzip)

[E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik]

- 1: Metallelektrode (transparent)
- 2: CdS-Schicht
- 3: Se-Schicht (dazwischen: **Sperrschicht**)
- 4: Trägermetall
- 5: Kontaktring



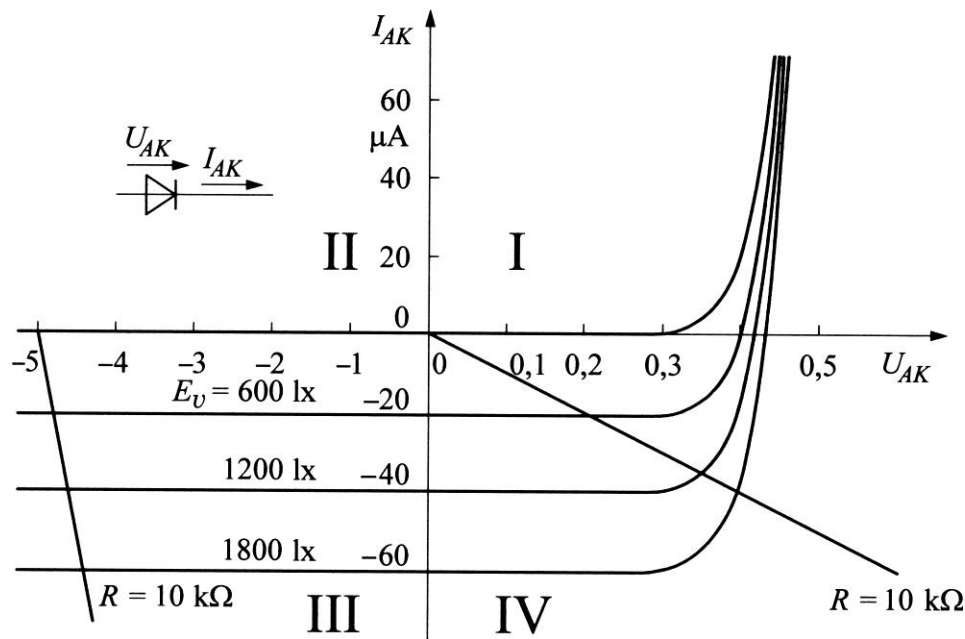
Si-Photoelement (Prinzip)

[E. Schrüfer: Elektrischer Messtechnik]

- 1: p-Bahngebiet
- 2: Sperrschicht**
- 3: n-Bahngebiet
- 4: Kontaktierung
- 5: Kontaktierung

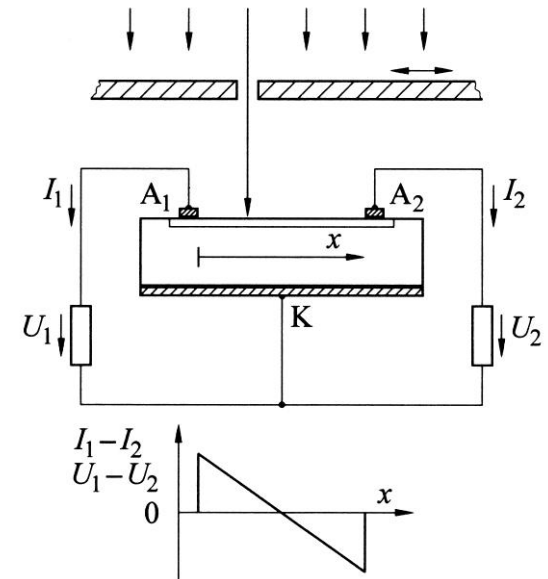
5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (8)



Kennlinienfeld der Si-Photodiode BPW20

[E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik]



Lateraleffekt-Photodiode

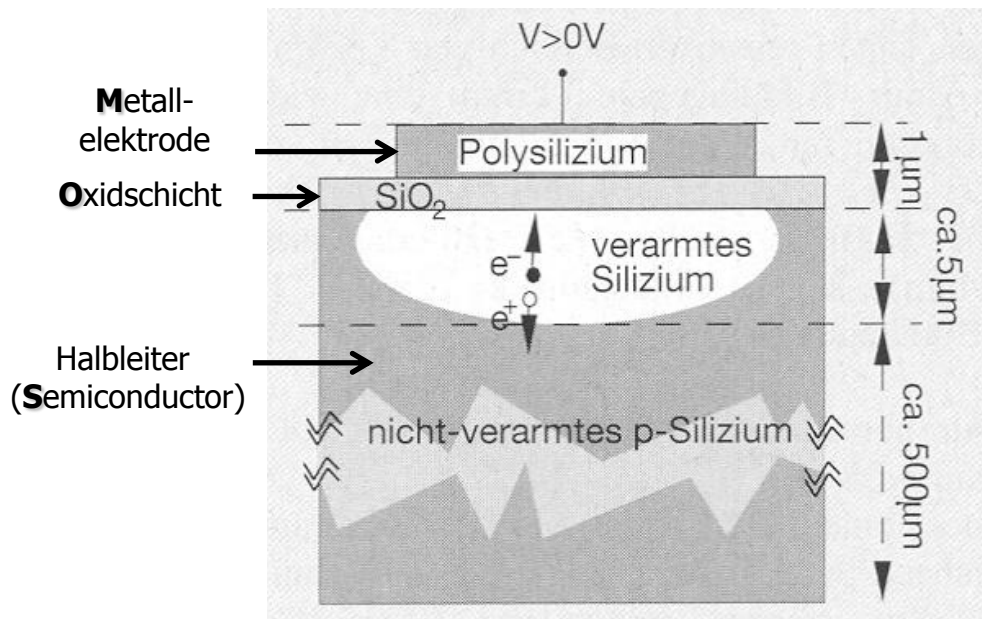
[E. Schrüfer: Elektrische Messtechnik]

A1, A2: p-Kontakte

K: n-Kontakt

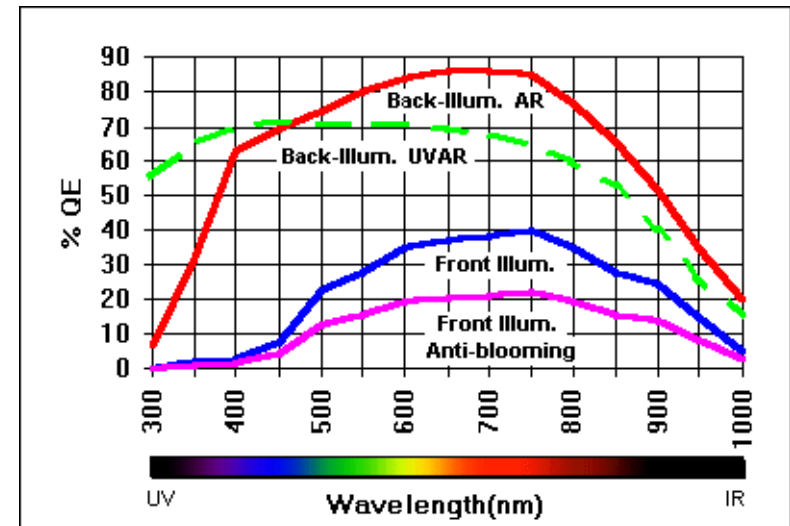
5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (9)



MOS-Pixelaufbau eines CCD-Sensors

[L. Strüder, C. von Zanthier]

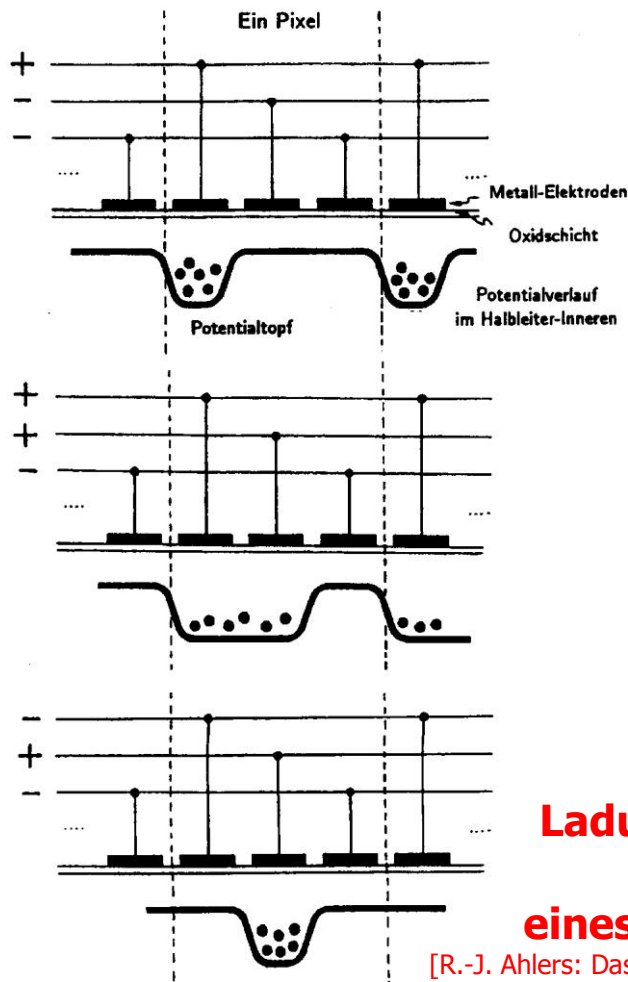


Quanteneffizienz verschiedener CCD-Typen

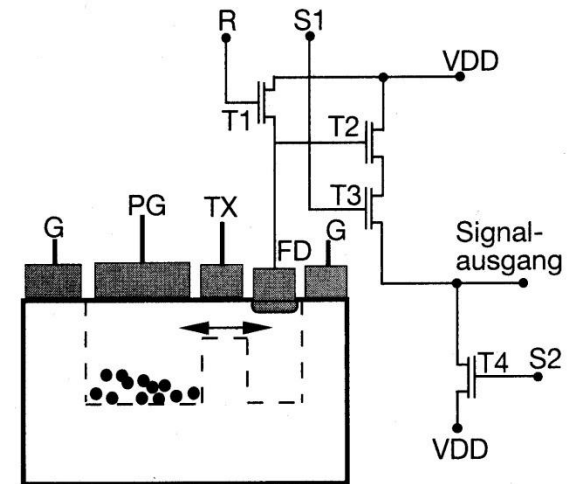
[Apogee Instruments Inc.]

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (10)



**Ladungstransfer-
prinzip
eines CCD-Sensors**
[R.-J. Ahlers: Das Handbuch der Bildverarbeitung]

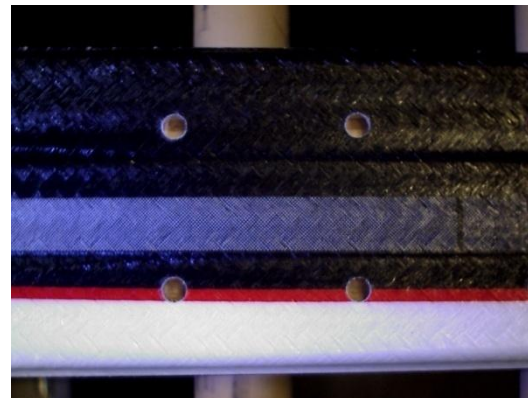


**Ladungstransferprinzip
eines CMOS-Sensors**

[L. Strüder, C. von Zanthier]

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

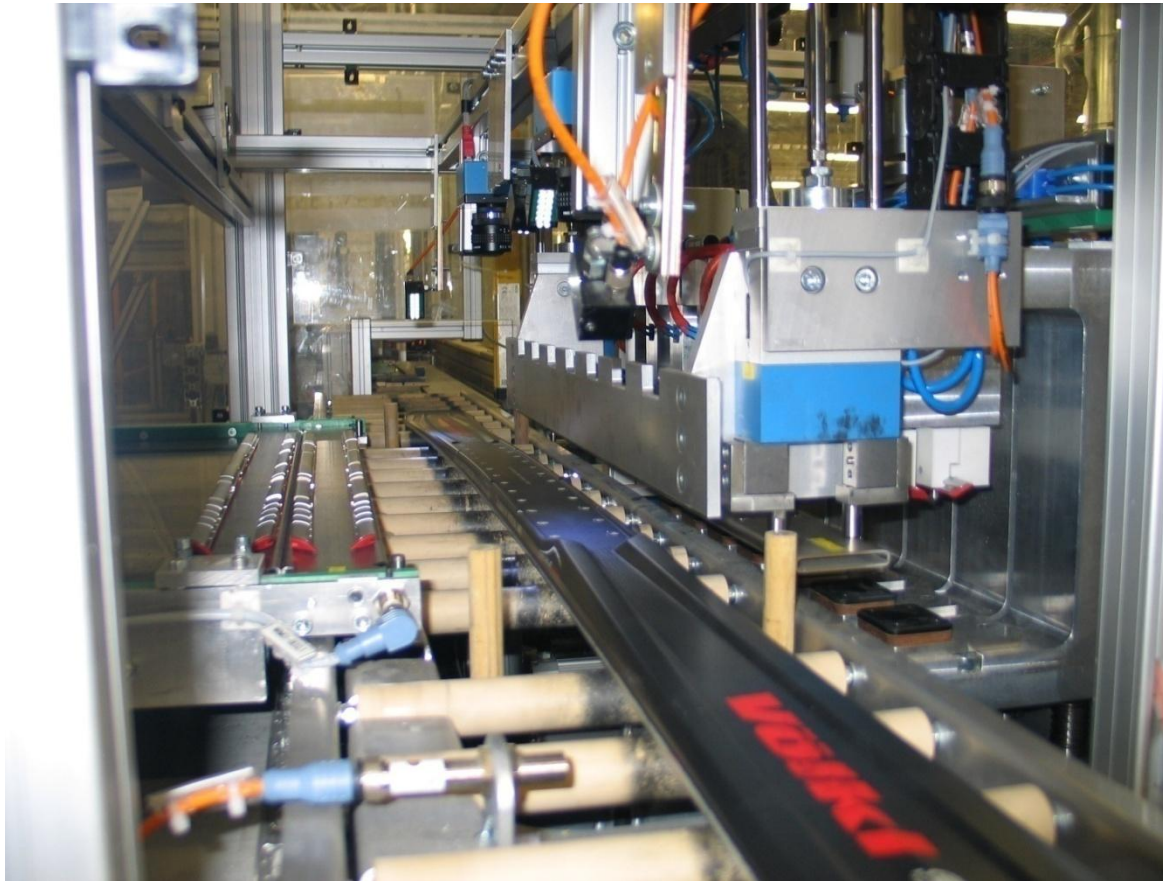
5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (11)



Prüflinge einer Ski-Montage-Teilautomatisierung

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (12)



Ski-Montage-Teilautomatisierungssystem mit Prüfling (Detailansicht)

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

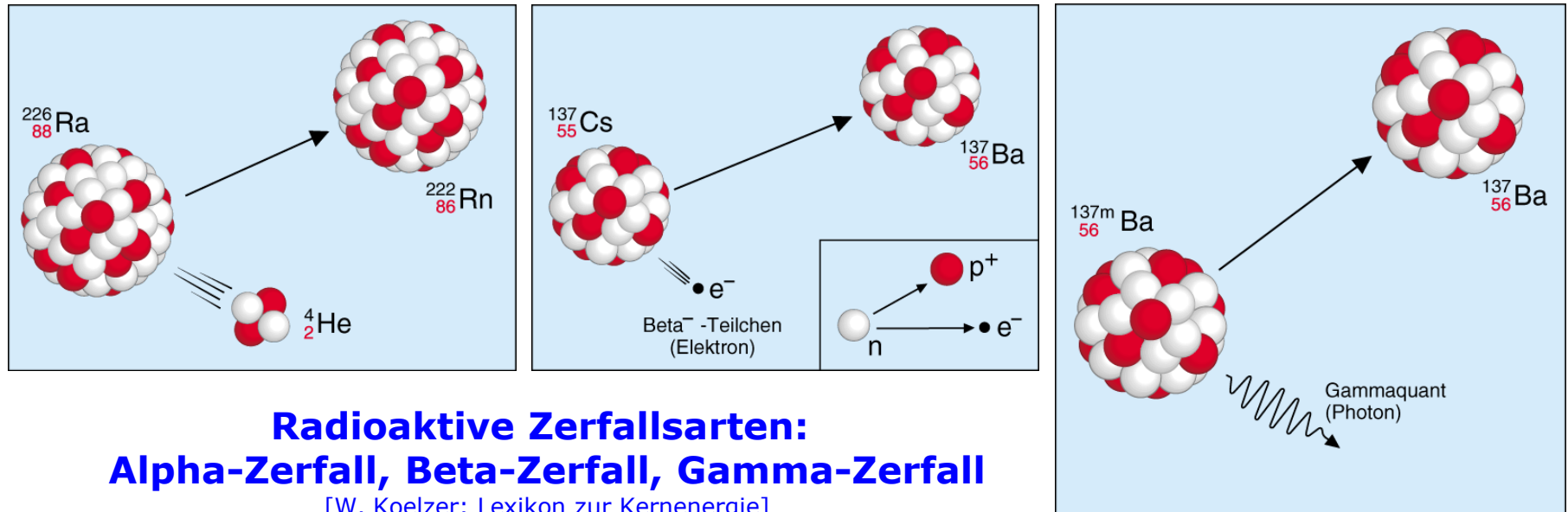
5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (13)



**Dreidimensionale Lageerkennung
zur Roboterführung (links)
und Unterstützung von Schiedsrichterentscheidungen (rechts)**
[QUISS, www.ingenieur.de]

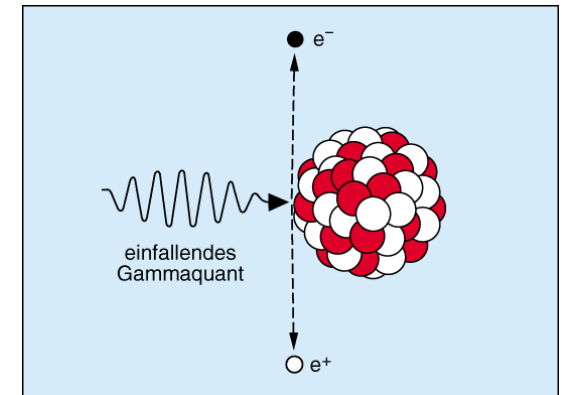
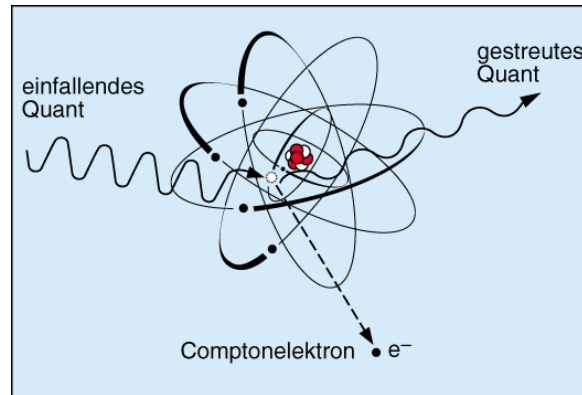
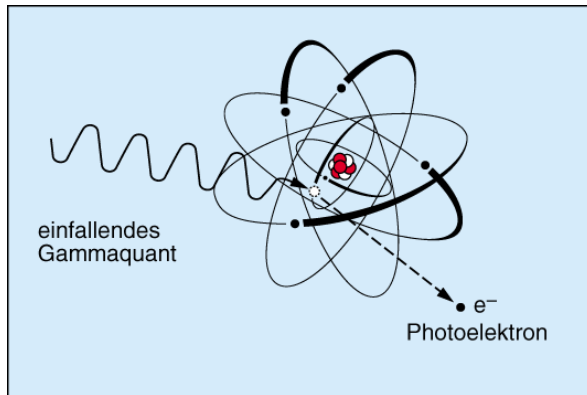
5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (14)



5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (15)



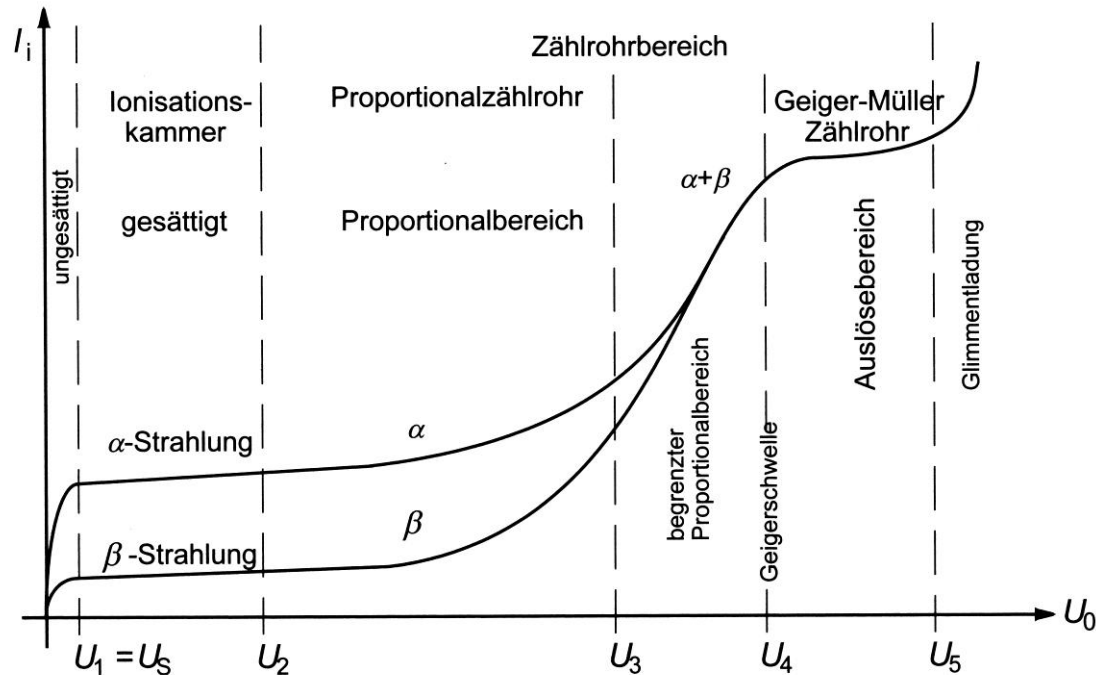
Wechselwirkung von γ -Strahlung mit Materie:

Photoeffekt (< 1 MeV), Compton-Streuung (0,2 ... 8 MeV), Paarbildung (> 1 MeV)

[W. Koelzer: Lexikon zur Kernenergie]

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (16)

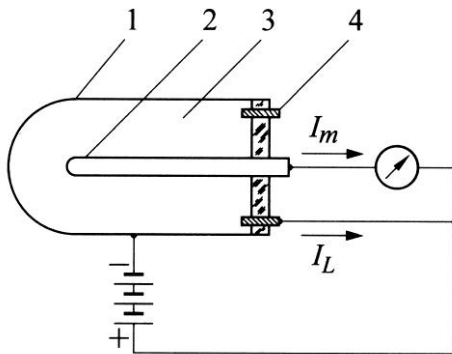


U-I-Charakteristik von Ionisationsdetektoren

[E. Schiessle: Industriesensorik]

5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (17)



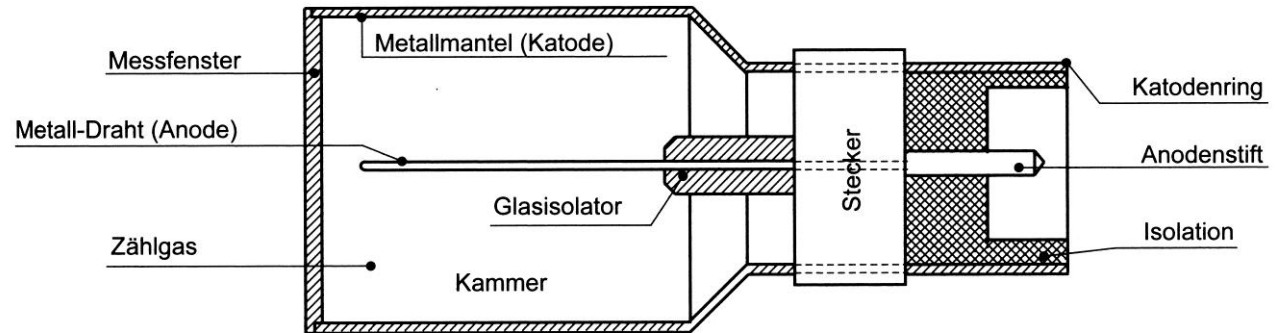
Ionisationskammer

[E. Schröder: Elektrische Messtechnik]

- 1: Außenelektrode
- 2: Innenelektrode
- 3: Gasfüllung
- 4: Schutzring

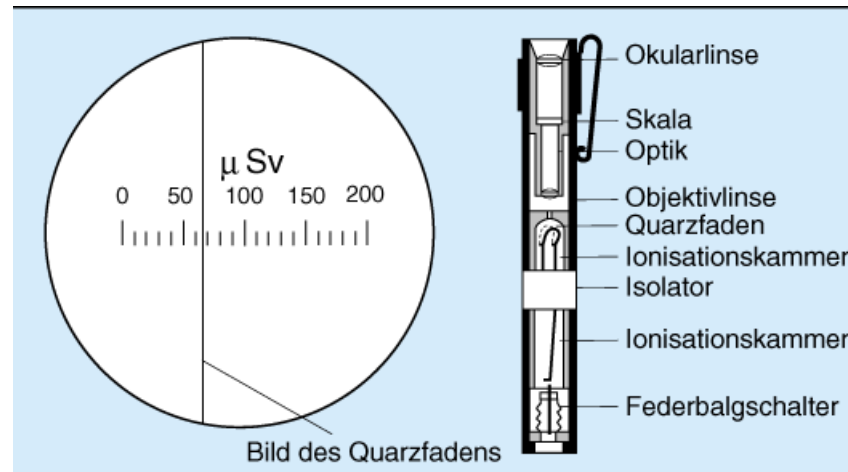
Stabdosisimeter

[W. Koelzer: Lexikon zur Kernenergie]



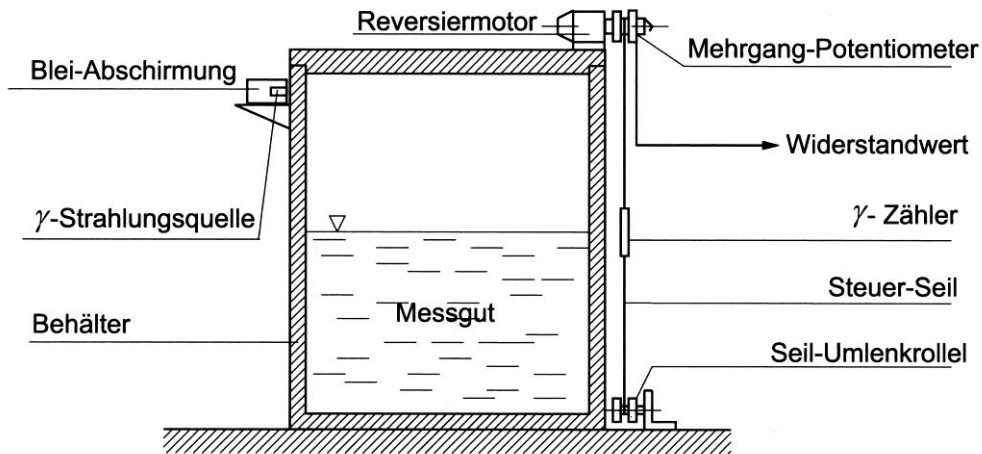
Geiger-Müller-Zählrohr

[E. Schiessle: Industriesensorik]



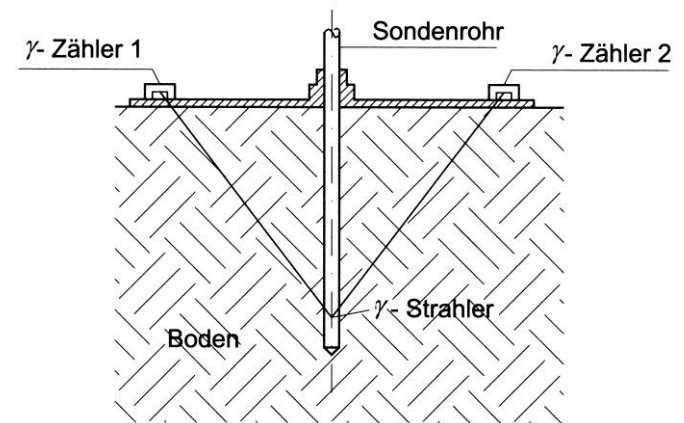
5. SENSORPRINZIPIEN DER AUSBREITUNG ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN UND DER OPTIK

5.3 SENSORPRINZIPIEN DER UMWANDLUNG ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG (18)



Anwendung Füllstandsmessung

[E. Schiessle: Industriesensorik]



Anwendung Dichtemessung

[E. Schiessle: Industriesensorik]