

Messtechnik 2 – Übersicht

Grundlagen ✓

Geometrische und mechanische Größen ✓

Optische Größen
Messen aus Bildern



Schwerpunktthema ✓

Temperatur ✓

Druck ✓

Durchfluss, Füllstand, Dichte, Viskosität ✓

Akustische Größen

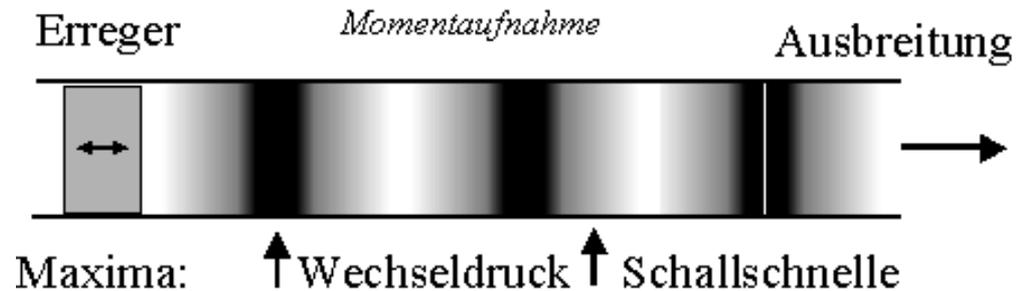
Ionisierende Strahlung

Akustische Größen

Schall – longitudinale Welle

Druck- / Dichteschwankungen, Schallgeschwindigkeit c

n Phon = n dB SPL bei 1kHz



[<http://www.ubicampus.mh-hannover.de/~physik/vorlesung/kap53/kap53.html>]

Effektivwert d.
Schalldruckes

Große Dynamik des Ohres:

$$\tilde{p} = 2 \cdot 10^{-5} \dots 100 \text{ Pa}, \quad I = 10^{-12} \dots 1 \text{ W/m}^2$$

Schall (1)

Schall – longitudinale Welle

Referenzdruck, Referenzintensität (Schallenergie)

$$\tilde{p}_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

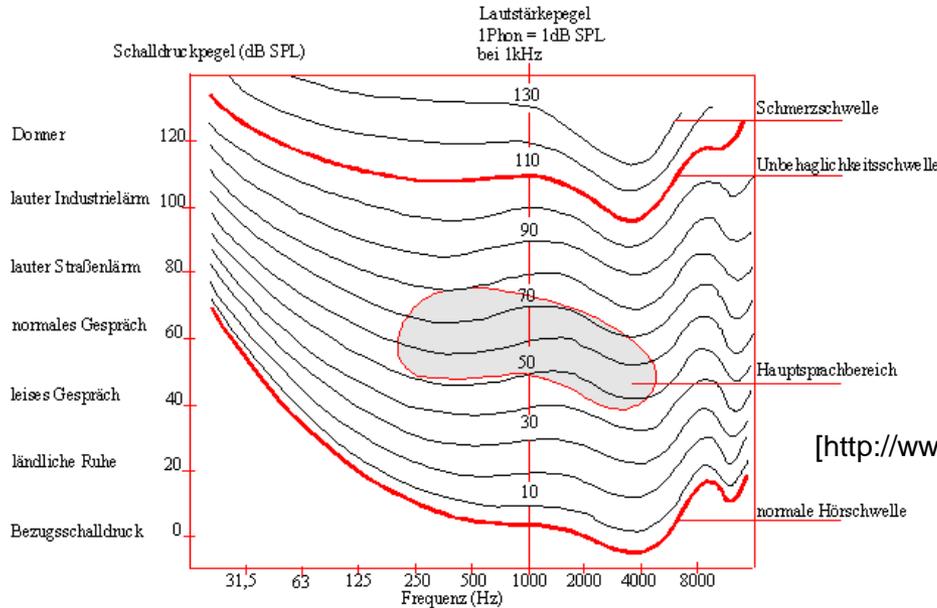
$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

SPL – „sound pressure level“ L_p

Schalldruckpegel, dimensionslos [dB]

$$L_p = \log \frac{I}{I_0} [\text{Bel}] = 10 \log \frac{\tilde{p}^2}{\tilde{p}_0^2} [\text{dB} = \text{Dezibel}] = 20 \log \frac{\tilde{p}}{\tilde{p}_0} [\text{dB}]$$

Schall (2)



[<http://www.ubicampus.mh-hannover.de/~physik/vorlesung/kap53/kap53.html>]

Physikalisches Maß: Schalldruckpegel L_p

Physiologisches Maß: Lautstärkepegel L_S

- Frequenzbewertung
- Isophone: Kurven gleichen Lautstärkeempfindens
- Bewertete Schalldruckpegel [dBA]
- vgl. $V(\lambda)$, lichttechnisch vs. strahlungsphysikalisch

Bewertete Schalldruckpegel (1)

Frequenzbewertung

- Frequenzabhängigkeit des Hörempfindens
- Unterschiedliche Bewertungen A, B, C (intensitätsabhängig)

Frequenzbewertung	Bezugsisophone
A	40 phon
B	80 phon
C	100 phon

Tabelle 3.8 Bezugsisophonen der Frequenzbewertungen A, B und C

[Hoffmann, TB der MT]

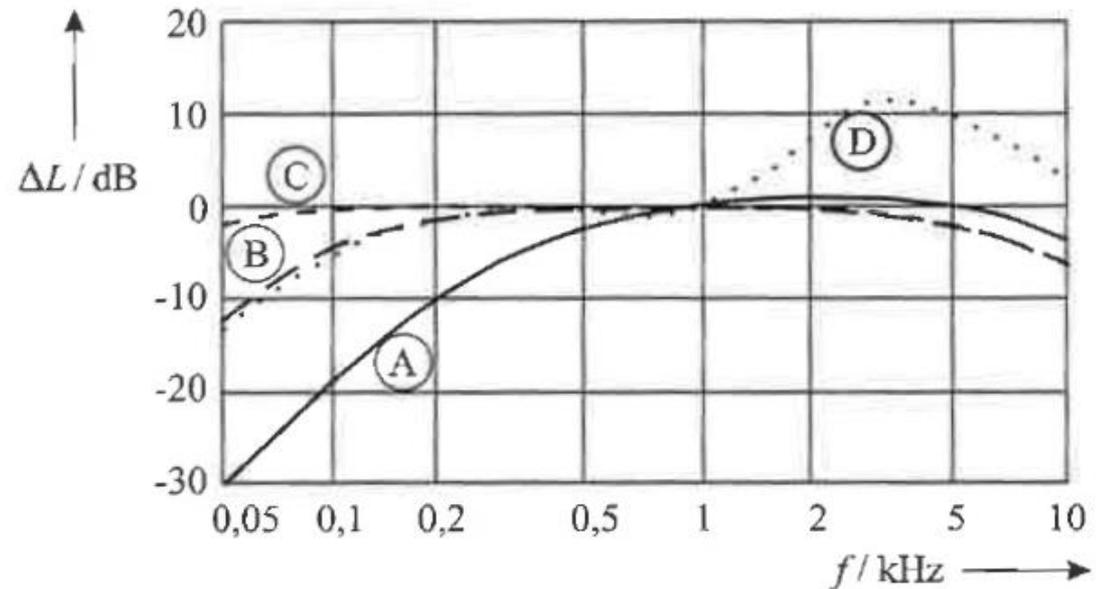


Bild 3.221 Prinzipverlauf der Frequenzbewertungen A, B, C und D

Bewertete Schalldruckpegel (2)

Zeitbewertung (slow, fast, impulse, peak)

- S, F, I, P
- Kurzzeitmittelung
- Zeitabhängigkeit des subjektiven Eindrucks
- Lästigkeit, Schädlichkeit

Tabelle 3.9 Zeitbewertungen

Zeitbewertung	Zeitkonstante	Anwendung
S (slow)	$\tau = 1 \text{ s}$	energetische Mittelung; Glättung des Anzeigewertes bei analoger Anzeige
F (fast)	$\tau = 125 \text{ ms}$	Nachbildung der Ohrträgheit der Lautstärkebildung
I (Impuls)	$\tau_{\text{an}} = 35 \text{ ms}$ $\tau_{\text{ab}} = 1,5 \text{ s}$	Lautstärkebildung (auch Lästigkeit oder Schädlichkeit); insbesondere bei Impulsen
Spitze (peak)	$\tau < 50 \text{ }\mu\text{s}$	unbewertete Kennzeichnung des Spitzenpegels von Impulsen

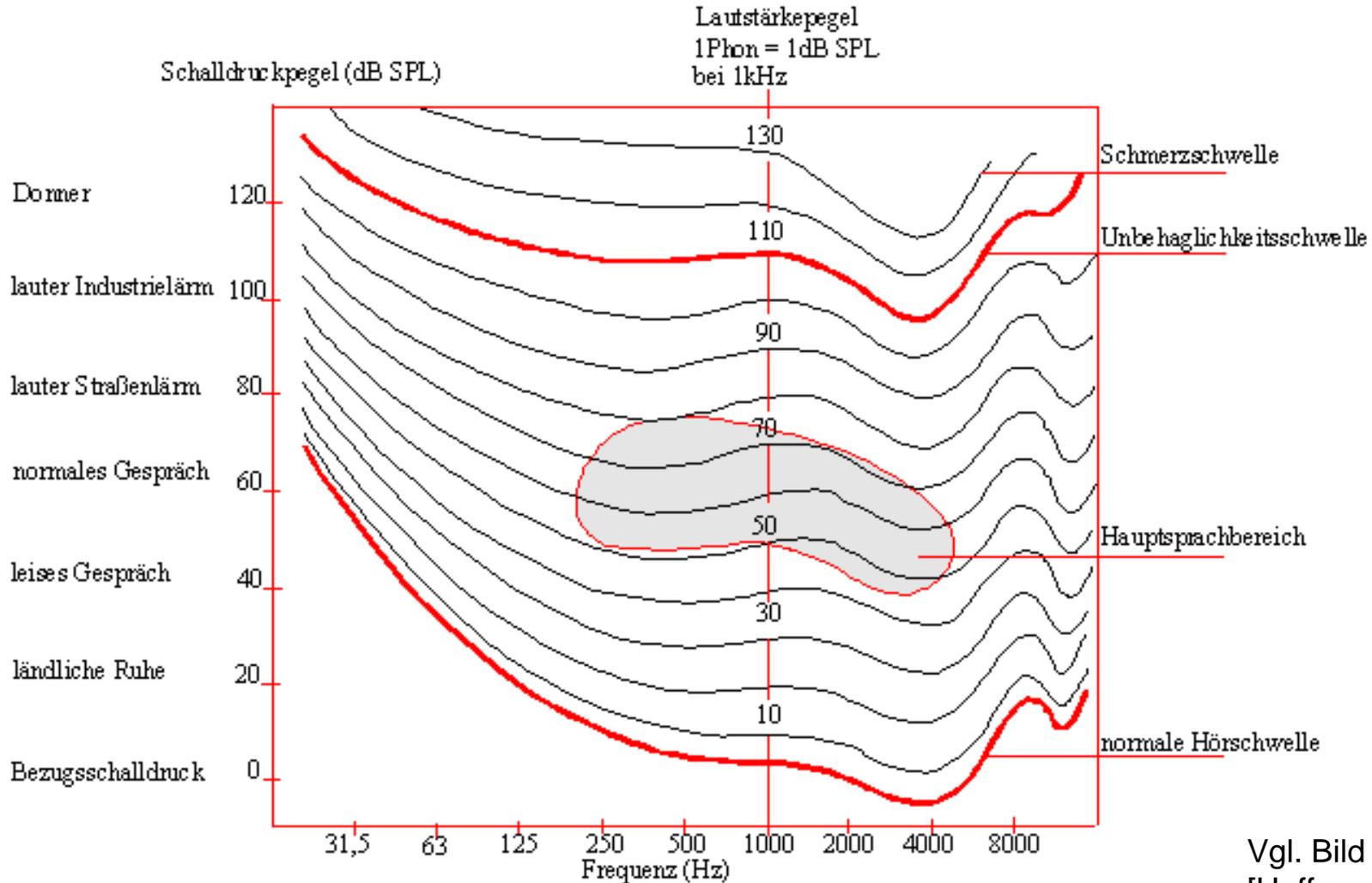
[Hoffmann, TB der MT]

Notation: z.B. $L_{pA}, L_{p,AS}$

A...Frequenzbewertung

S...Zeitbewertung

Schall (3), Frequenzbewertung A



<http://www.ubicampus.mh-hannover.de/~physik/vorlesung/kap53/kap53.html>

Vgl. Bild 3.224
[Hoffmann, TB der MT]

Addition, Mittelwert

Addition:

$$\tilde{p}_{ges}^2 = \sum_{i=1}^n \tilde{p}_i^2$$

$$L_{p,ges} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10}$$

Mittelwert:

$$\overline{\tilde{p}^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tilde{p}_i^2$$

$$\overline{L_p} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{p,i}/10} \right]$$

Vgl. Tabelle 3.12
[Hoffmann, TB der MT]

Messung von L_p

Messtechnische Ermittlung von L_p

Vielzahl von Schallpegelmessern

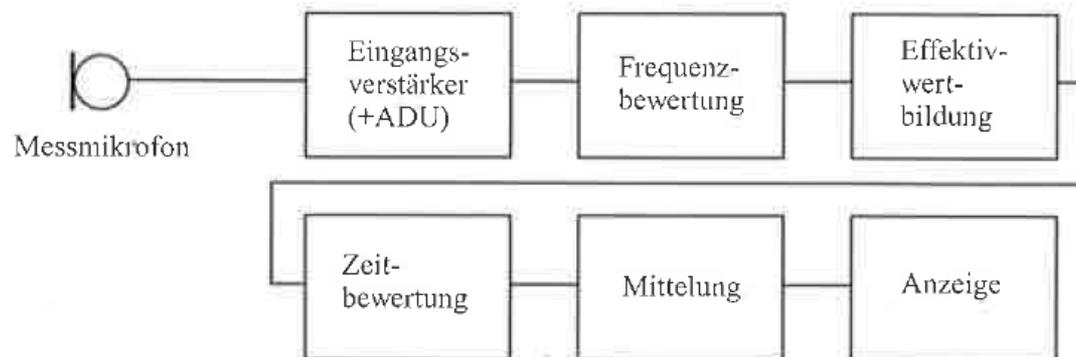
Normung (z.B. DIN EN 60651)

Messmikrophone

- Kondensatormikrophon
- Elektretmikrophon: Kondensatormikrophon mit elektrisch polarisierter „Elektretfolie“ → keine Versorgungsspannung nötig

Kalibrierung vor jeder Messung

- Akustische Quelle (bekannter Pegel)



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.222 Grundfunktionsstufen eines Schallpegelmessers

Mikrophone

Physikalische Effekte:

- R, C, L variiert
- Piezoelektrisch

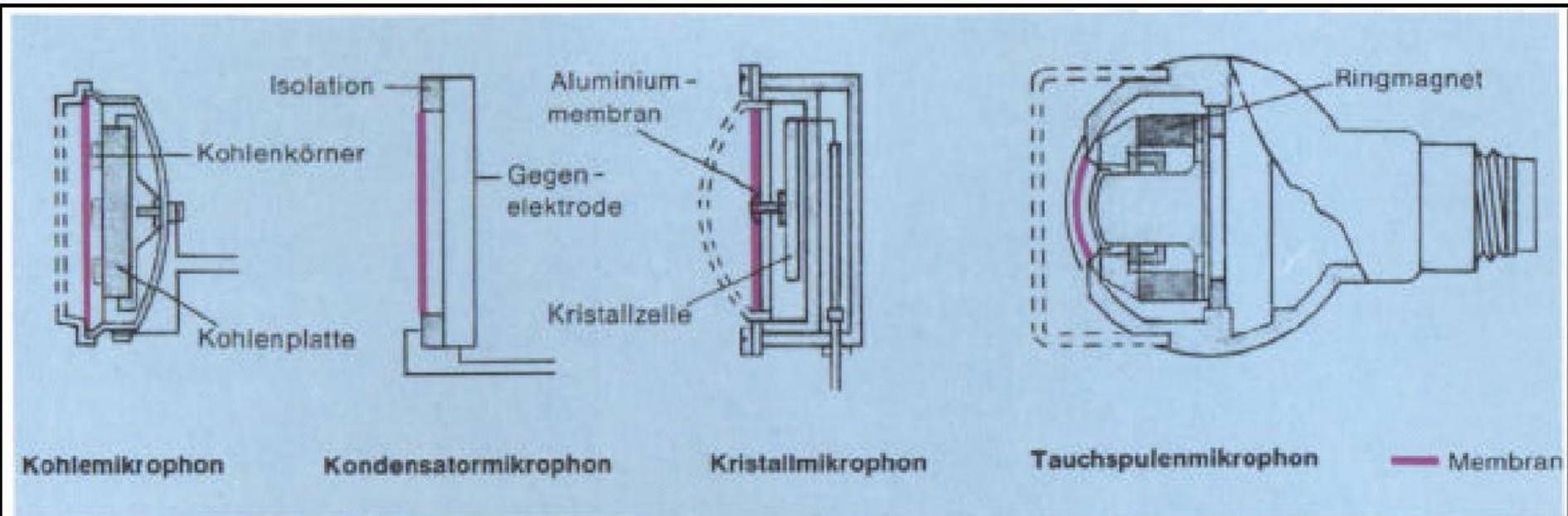


Abbildung 1: Schematischer Aufbau verschiedener Mikrophone (Bertelsmann Lexikothek, Band 6, 369)

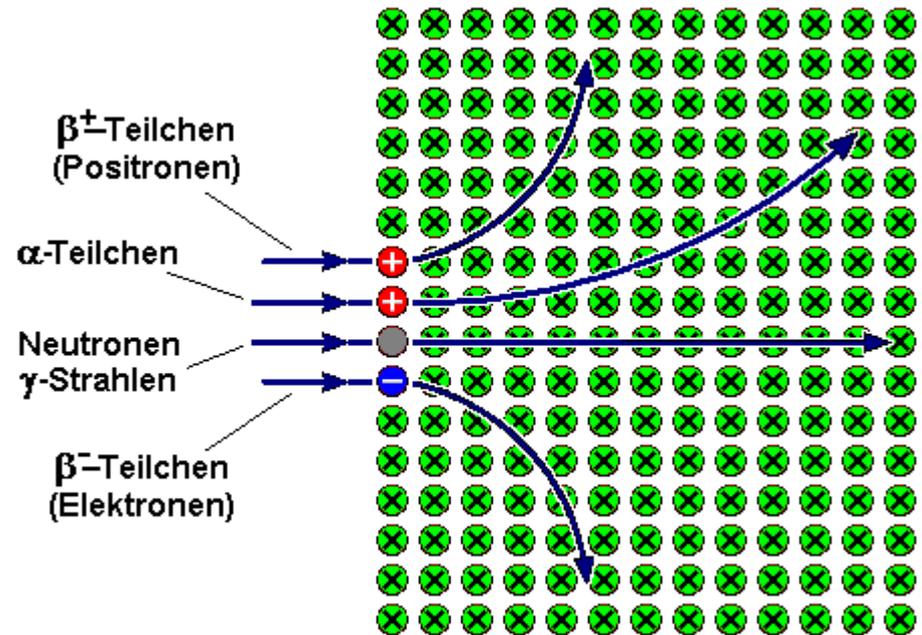
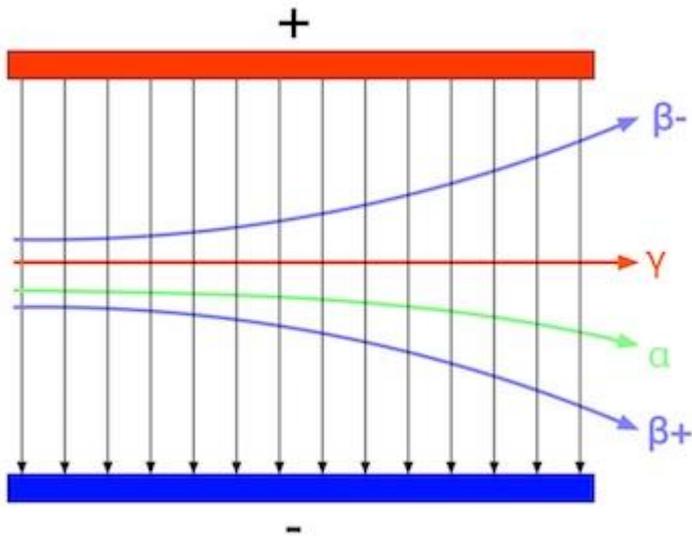
Ionisierende Strahlung (1)

Mögliche Arten der Strahlungsemission:

- Angeregtes Elektron geht auf ein niedrigeres Energieniveau → Strahlungsquant
 - Elektromagnet. Strahlung: Licht, Röntgenstrahlung
- Radioaktiver Zerfall – Kern wandelt sich unter Aussenden von Strahlung um
 - α -Strahlung: α -Teilchen (Heliumkerne), +, $\sim 10^7$ m/s
 - β -Strahlung: Elektronen, -, 10^8 m/s ... $0.999 c$
 - γ -Strahlung: elektromagnetische Strahlung, in Feldern nicht ablenkbar. γ -Quant = Photon !
 - β^+ -Strahlung: Positronen, +, „positive Elektronen“
 - Neutronenfluss

Ionisierende Strahlung (2)

Ablenkung der Teilchen im elektrischen / magnetischen Feld

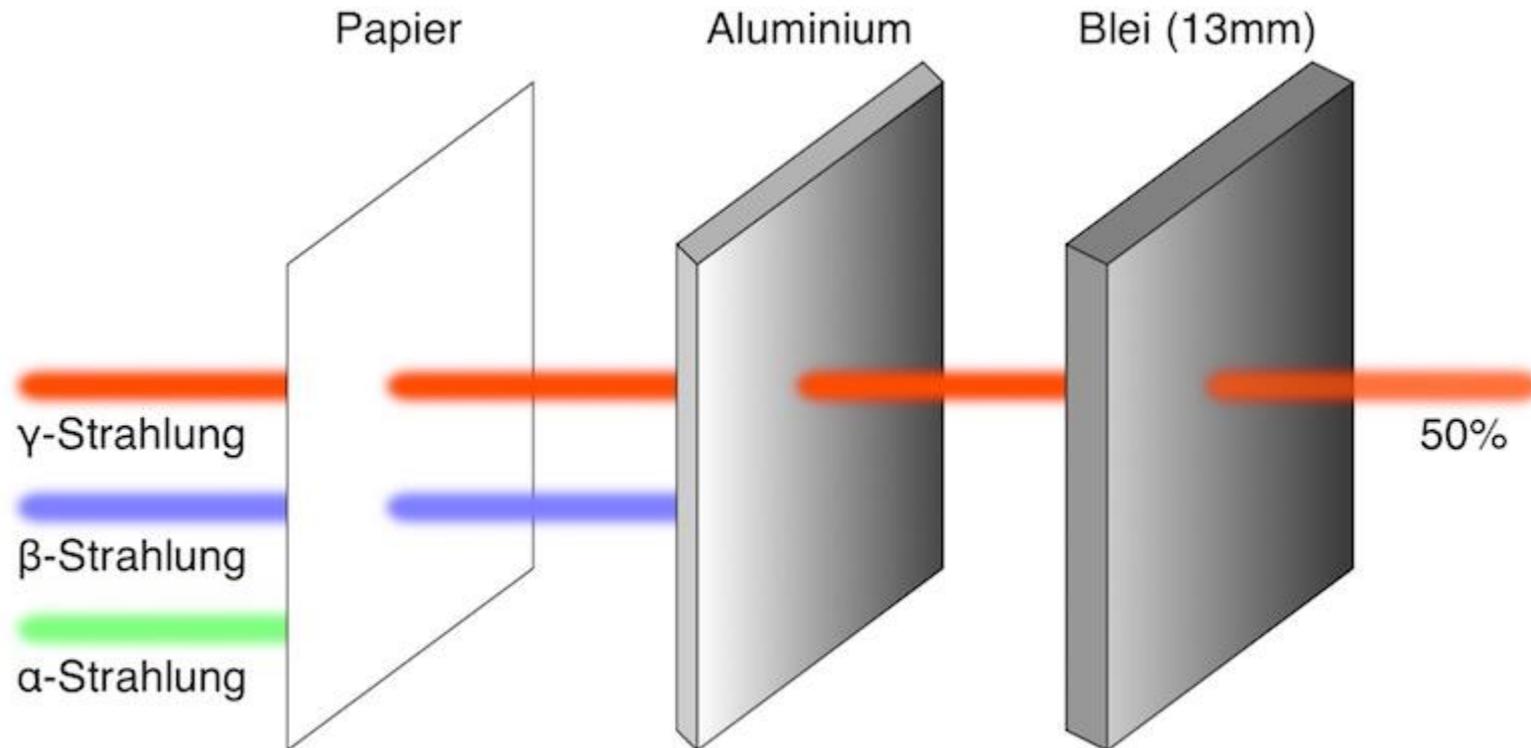


[<http://physikunterricht-online.de/wp-content/uploads/2015/12/Ablenkung-elektrisches-Feld.jpg>]

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/bc/Deflection_of_nuclear_radiation_in_a_magnetic_field_de.png]

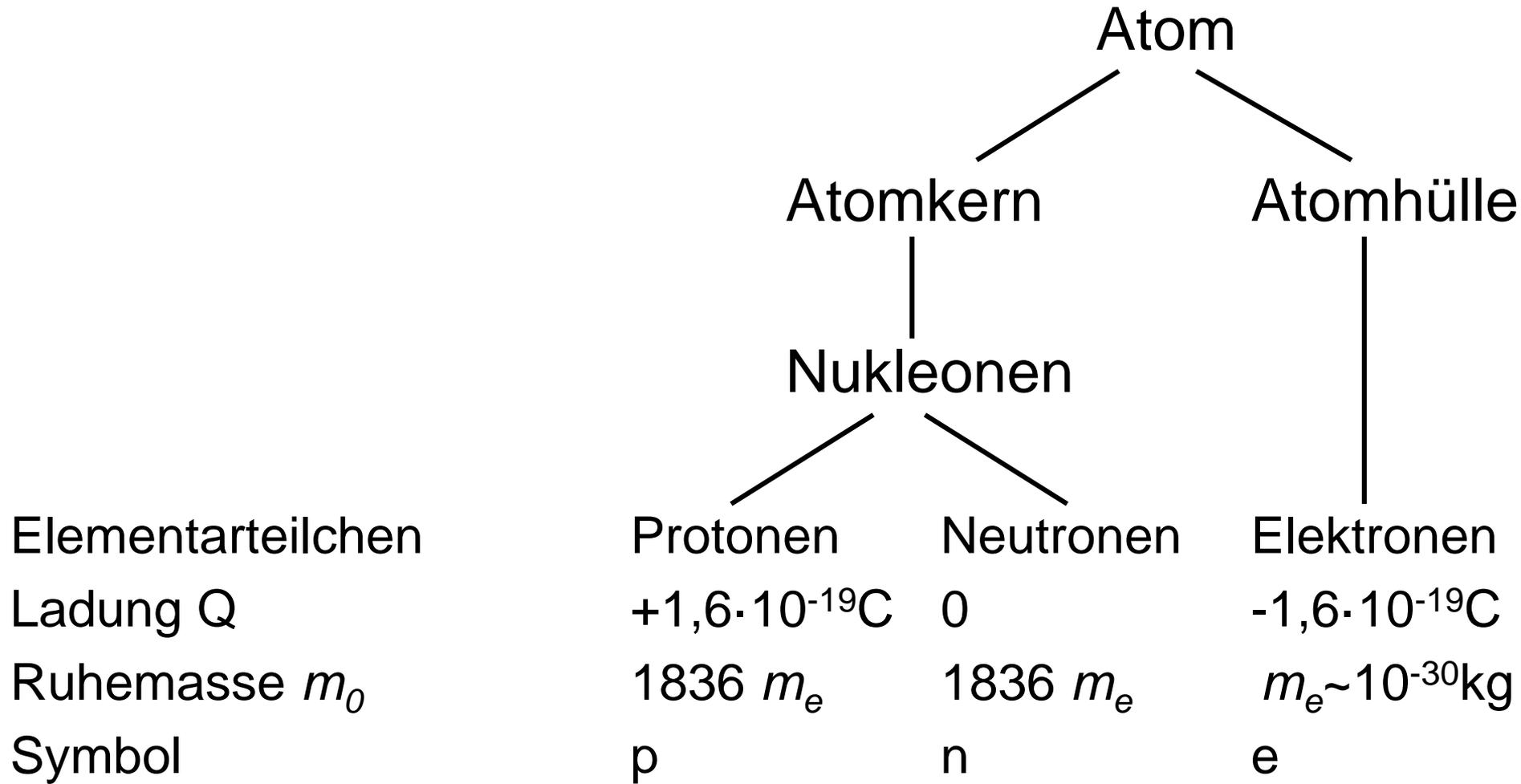
Ionisierende Strahlung (3)

Absorption / Eindringtiefe von ionisierender Strahlung



[<http://physikunterricht-online.de/wp-content/uploads/2015/12/Absorption-Strahlung.jpg>]

Aufbau des Atoms



www.orf.at, 24.4.2015: **Tokyoter Spielplatz wegen Radioaktivität gesperrt**

Nach der Messung einer extrem hohen Radioaktivitätsbelastung haben die Behörden in der japanischen Hauptstadt Tokio einen Spielplatz gesperrt.

Im Boden des Geländes im Nordwesten der Stadt wurde nach Behördenangaben ein Wert von **480 Millisievert pro Stunde** gemessen. Bei dieser Belastung würde ein Mensch binnen zwei Stunden so viel Radioaktivität aufnehmen, wie die japanische Regierung pro Jahr für vertretbar hält. Die Belastung war laut Behörden örtlich begrenzt. Vermutet wurde, dass strahlendes Material in der Erde liegen könnte.

Grenzwert extrem überschritten

Der gemessene Wert liegt mehr als **2.000-mal über demjenigen** den Japan als Höchstgrenze für die Gebiete rund um das havarierte Atomkraftwerk Fukushima I nach deren Dekontaminierung festlegte. Der Wert gilt allerdings für Messungen **einen halben Meter über der Erde** - auf dem Spielplatz wurde im Erdreich selbst gemessen.

In Fukushima war infolge eines Erdbebens und eines anschließenden Tsunamis im März 2011 das Kühlsystem ausgefallen, was in drei Reaktoren zu Kernschmelzen führte. Es war das schlimmste Atomunglück in der Geschichte Japans. Die Säuberung des gesamten Fukushima-Werks dürfte sich noch über Jahrzehnte hinziehen.

Ionisierende Strahlung

Messgrößen (1)

- Aktivität: Anzahl der je Sekunde zerfallenden Atomkerne
 - 1 Bequerel [Bq] = 1 Zerfall / s
 - 1 Curie [Ci] = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
 - 1 Curie: Zerfälle in 1 Gramm Radium
- Strahlendosis
 - Energiedosis 1 Gray [Gy] = 1 J/kg = 100 rad [rd] (radiation absorbed dose)
 - Absorbierte Strahlungsenergie / Masse
 - Äquivalentdosis 1 Sievert [Sv] = 1 Gy · RBW = 100 rem (roentgen equivalent in man)
 - RBW – relative biologische Wirksamkeit
 - RBW (Röntgen, γ) = 1

Ionisierende Strahlung

Messgrößen (2)

Dosisleistung

- Dosis / Zeit [$\text{Gy}\cdot\text{s}^{-1}$]

Teilchenfluss Φ

- Zahl der Teilchen die pro Zeiteinheit durch ein Flächenelement gehen [$\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$]

Partikelenergie $E=hf$

- Wechselwirkung → Ladungsträger
- Strahlungsnachweis

Intensität $I = \Phi E$

Physikalische Effekte

α -, β -Teilchen, γ -Quant (Photon) mit $E=hf$
Wechselwirkung mit Materie

Fotoeffekt ($E < 0,5 \text{ MeV}$)

- Photon setzt ein Elektron frei, wird absorbiert

Compton-Effekt

- Photon überträgt Energie an ein äußeres Hüllenelektron, setzt dieses frei
- Richtungsänderung (Compton-Streuung)
- Verringerung von E und f

Paarbildung ($E > 1,02 \text{ MeV}$)

- Photon dringt bis in unmittelbare Kernnähe vor
- Es wandelt sich in ein Elektron-Positron-Paar um

Ionisationskammer

2 Elektroden

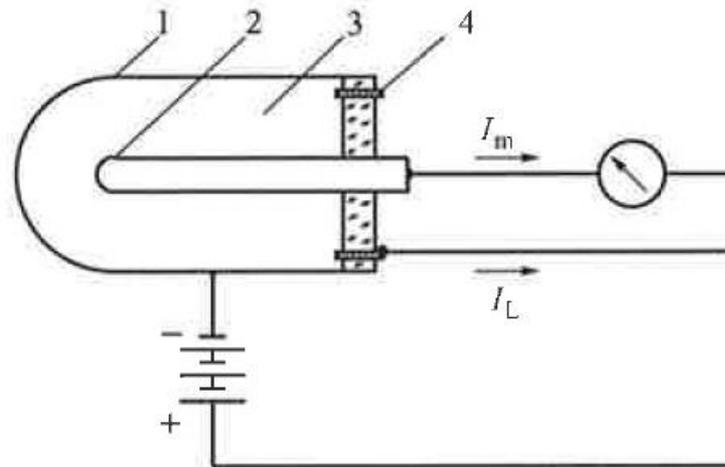
Gasgefüllte Kammer

Strahlung ionisiert das Gas

Elektroden \rightarrow E-Feld \rightarrow Ladungstrennung

Ionisationskammerstrom $I_m \propto$ Dosisleistung

$\int I_m dt \propto$ Dosis



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.189 Ionisationskammer; 1 Außenelektrode, 2 Innenelektrode 3 Gasfüllung, 4 Schutzring, I_m Messstrom, I_L Leckstrom

Auslösezählrohr

„Geiger-Müller-Zähler“

Rotationssymmetrischer Aufbau

Zylinder, dünner Draht \rightarrow hohes E-Feld

Radioaktives Teilchen \rightarrow Ionisation des Füllgases

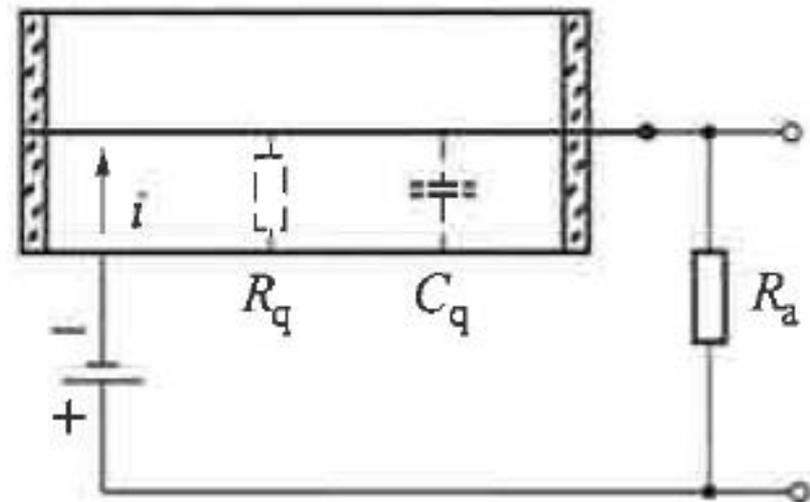
Lawineneffekt \rightarrow Entladung des Rohres

Totzeit $\sim 0,1\text{ms}$

Aktivitätsnachweis

[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.190 Prinzipschaltung eines Auslösezählrohres



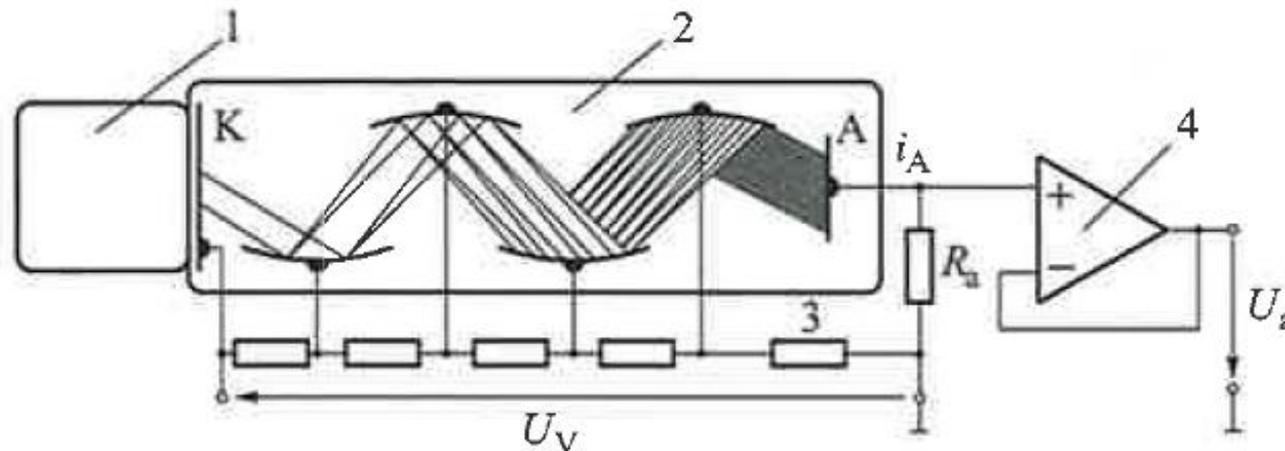
Szintillationszähler

Absorption von Teilchen \rightarrow Photonen

Photovervielfacher \rightarrow Spannungsimpulse

Zahl der Impulse \rightarrow Zahl der Teilchen

Aktivitätsnachweis



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.191 Szintillationsmesskopf

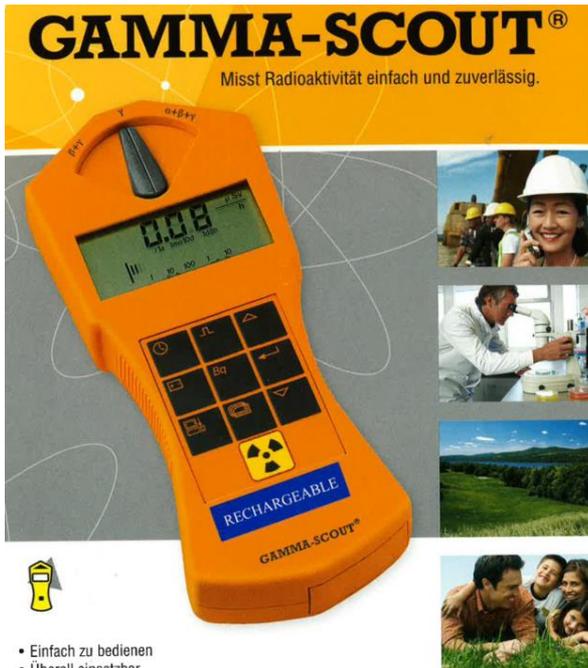
1 Szintillator, 2 Fotovervielfacher, 3 Spannungsteiler, 4 Impedanzwandler

Dosisleistungs-Messung: Demo

Dank an Strahlenmesstechnik Graz, Frau Dr. Pichl!

Filter manuell wählen (α, β, γ)

Zählrohr, Randbedingungen → Signalverarbeitung [Bq] → [$\mu\text{Sv/h}$]

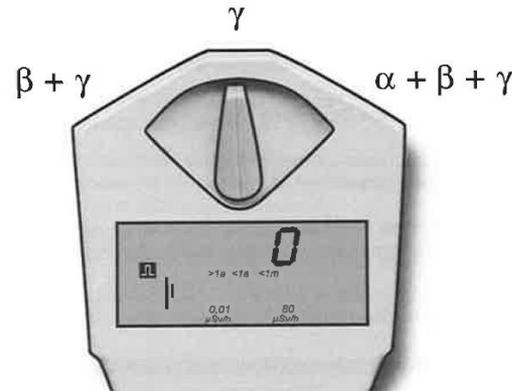


- Einfach zu bedienen
- Überall einsetzbar
- Sammelt alle Daten Tag und Nacht
- PC-Anbindung inkl. Software „Toolbox“

gamma-scout.com

Zuverlässige Aussagen zur aktuellen Strahlenbelastung nach internationalem Standard

TÜV US-amerikanischer FCC-15 Standard



Strahlenarten	α	ab 4 MeV
	β	ab 0,2 MeV
	γ	ab 30 keV
Wahlblende	$\alpha + \beta + \gamma$	ohne Blende
	$\beta + \gamma$	Al-Folie ca. 0,1 mm, schirmt α voll ab
	γ	Al-Schirm ca. 3 mm, schirmt α voll und β bis 2 MeV ab, schwächt γ weniger als 7% bezogen auf Cs 137

Halbleiter-Detektor

Wie Photodiode

Geringer Sperrstrom

Hohe Spannungsfestigkeit

Erzeugter Strom \sim Energie des absorbierten Teilchens

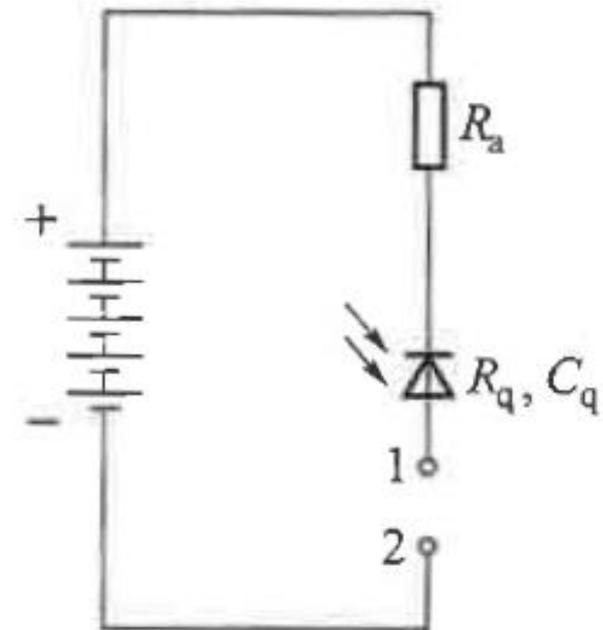
Absorption bei Ge besser als bei Si

Kühlung erforderlich

Impulshöhenanalyse

[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.192 Prinzipschaltung eines Halbleiter-Strahlungsdetektors mit dem Innenwiderstand R_q und der Kapazität C_q ; 1,2 Anschlussklemmen für die Messung der Ladung.



Impulshöhenanalyse

Impulshöhe ~ Energie des Teilchens

Zahl der Impulse ~ Zahl der Teilchen

Identifizierung unbekannter Nuklide

Bestimmung der Aktivität

Detektoren für β -Strahlung

Elektronen

Geringere Energie \rightarrow geringe Reichweite

- Bei 1MeV: 4mm in Wasser, 4m in Luft

Dünnwandige Fenster

Ionisationskammer

Zählrohr

Szintillationszähler

Detektoren für α -Strahlung

Ionisierte Helium Kerne

Starke Absorption \rightarrow *sehr* geringe Reichweite

Radioaktiven Stoff direkt einbringen in

- Durchfluss-Ionisationskammer
- Durchfluss-Zählrohr

α -Strahlung ionisiert stärker

- Proportionalzählrohr: Impulshöhe hängt von der Ladung ab
- Lässt sich auch in Gegenwart von β - und γ -Strahlung nachweisen

Neutronenfluss-Messung

Neutronen sind nicht stabil

Zerfallen in Protonen und β -Teilchen

HW-Zeit ~ 13 Minuten

Wichtige Messgröße für Reaktorzustand

Sehr großer Messbereich wird benötigt

Mehrere Detektoren, gestaffelte Empfindlichkeiten

Messprinzip:

- Wechselwirkung des Neutrons mit Materie (Bor, Uran, etc.)
- Strahlung entsteht und kann gemessen werden

BF₃-Zählrohr

Mit BF₃-Gas gefüllt

Bor fängt Neutron ein

Zwischenkern zerfällt (→ α-Teilchen)

→ Lithiumkern

α-Teilchen ionisiert das Gas → Zählimpuls

Der Impuls ist höher als bei einem γ-Quant

→ spezifischer Nachweis von Neutronen !

Spaltkammer

Eine Elektrode mit Uran beschichtet

Neutronen spalten das Uran

→ Spaltprodukte ionisieren stark

Keine γ -Kompensation nötig

Einbau direkt bei den Brennelementen von Reaktoren

Messung des örtlichen Neutronenflusses

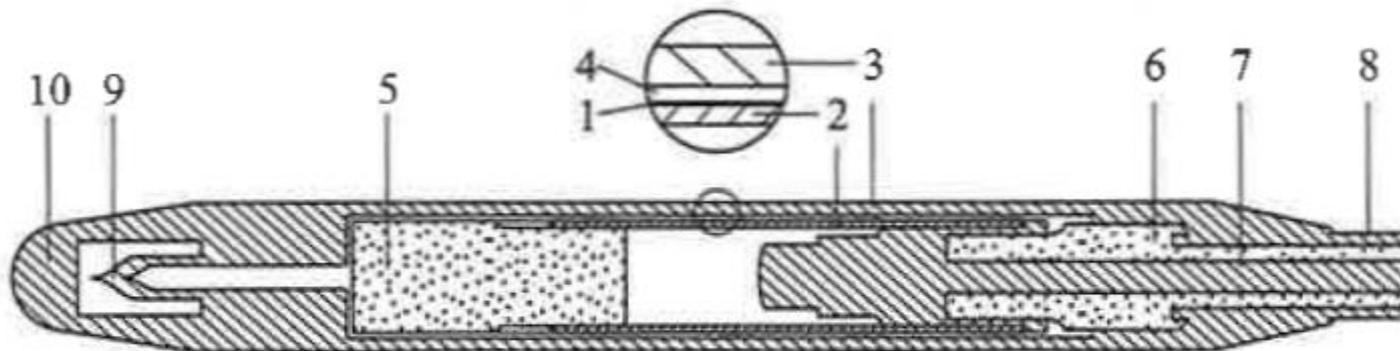


Bild 3.193 Schnitt unter eine Spaltkammer

[Hoffmann, TB der MT]

1 Uranschicht, 2 Innenelektrode, 3 Außenelektrode, 4 empfindliches Volumen,
5, 6 Isolatoren, 7, 8 mineralisiertes Anschlusskabel, 9 Füllstutzen, 10 Abdeckkappe

Neutronen-Beta-Detektoren

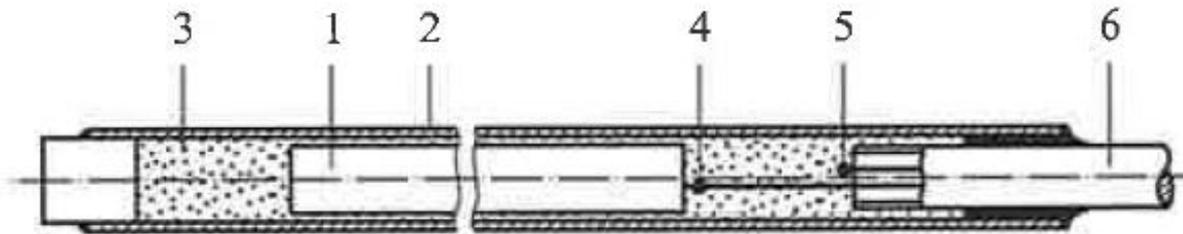
“self-powered” → liefern Strom, ohne dass Spannung angelegt werden muss

Enthalten einen Emitter in dem eine Kernreaktion stattfindet
Neutronen → Emitter → β -Teilchen → Elektronenstrom

Achtung! β -Zerfall kann verzögert erfolgen:

- HW-Zeit 42s (Rhodium)... 3,76min(Vanadium)

Messung des Neutronenflusses im Reaktorkern



[Hoffmann, TB der MT]

Bild 3.194 Neutronen-Beta-Detektor

1 Emitter, 2 Außenhülle, 3 Isolator, 4 Emitterleitung, 5 Kompensationsleitung, 6 mineralisoliertes Mantelkabel

Dosismessung

Energiedosis → Dosimeter

Filmdosimeter

- Verschiedene Filter
- Unterschiedliche Schwärzung

Ionisationskammer-Dosimeter

- Direkt ablesbar

Halbleiter-Dosimeter

- Integration von Ladungsträgerpaaren (ähnlich CCD)

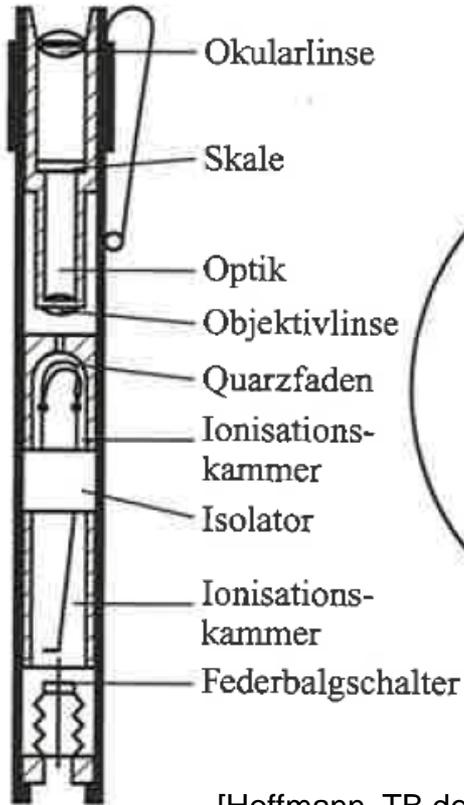
Phosphatglas-Dosimeter

- Betrachtung im UV-Licht → Lumineszenz \propto Dosis

Thermolumineszenz-Dosimeter

- Erhitzen → Licht \propto Dosis

Ionisationskammer-Dosimeter



[Hoffmann, TB der MT]

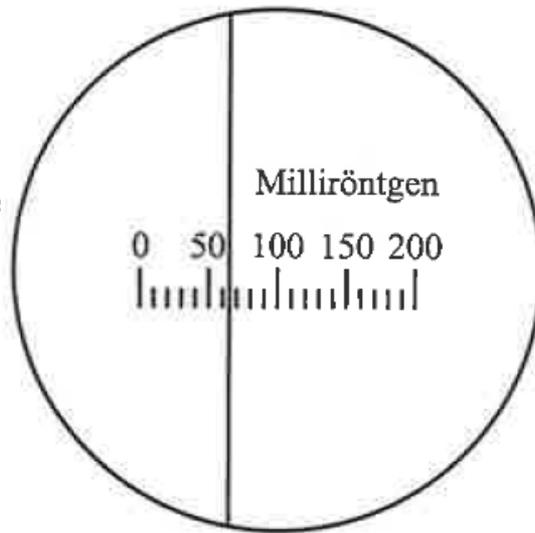


Bild 3.195 Direkt ablesbares Ionisationskammer-Dosimeter



[http://www.uranmaschine.de/80180.Stabdosimeter_FH39]

Zusammenfassung MT 2

Sensorik, Messen nichtelektrischer Größen

Grundlagen ✓

Geometrische und mechanische Größen ✓

Optische Größen ✓

Messen aus Bildern ✓

Temperatur ✓

Druck ✓

Durchfluss, Füllstand, Dichte, Viskosität ✓

Akustische Größen ✓

Ionisierende Strahlung ✓

Prüfung

Schriftlich

Zur Orientierung: Liste typischer Fragen

Offene Fragen / Probleme / Vorbereitung:

- jetzt gleich
- per email: axel.pinz@tugraz.at

Erste Termine: (2.6.), **23.6.**, **30.6.**

Während des Semesters:

- Regelmäßige Termine
- Laufend in TUGOnline, vorauss.:
 - 29.9.
 - 20.10.
 - 17.11.
 - 15.12.