

Messung ionisierender Strahlung

● Fach: Messtechnik II ● Studiengang: UT ● Referant: Thomas Pauli ●



Gliederung

- 1. Einführung
- 2. physikalische Grundlagen
 - 2.1 Allgemeine Begriffe
 - 2.2 Größen und Einheiten
 - 2.3 Umweltradioaktivität
- 3. Strahlenmessung
 - 3.1 Strahlungsdetektoren
- 4. Strahlenschutz
- 5. Quellenangabe



Einführung

- radioaktive Strahlung vom menschlichen Körper nicht wahrnehmbar
- auf Signale und Anzeigen von Messgeräte angewiesen
- Erkennen von radioaktiver Strahlung für den Schutz des menschlichen Körpers besonders wichtig



2. Physikalische Grundlagen



2.1. Allgemeine Begriffe

natürliche Radioaktivität

1896: Becquerel

Feststellen einer bis dahin
unbekannten Strahlung



Henri Becquerel (CIE 1998)

1898: Ehepaar Marie und Pierre Curie

Entdeckung der Elemente Radium
und Polonium
als Quellen radioaktiver Strahlung



2.1. Allgemeine Begriffe

Ursachen für radioaktiven Zerfall

- Abnahme der Stabilität der Kerne mit zunehmender Größe
- spontaner Zerfall von instabilen Kernen ($A > 208$)
- gleichzeitige Emission:
 - von Teilchenstrahlung
 - äußerst kurzwellige elektromagnetische Strahlung
- Änderung der Masse, Kernladung und Energie der Kerne



2.1. Allgemeine Begriffe

Ursachen für radioaktiven Zerfall

Periode	Hauptgruppe		Nebengruppe										Hauptgruppe					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
1	1 1,008 2.1 H Wasserstoff																2 4,00 He Helium	
2	3 6,94 1.0 Li Lithium	4 9,01 1.5 Be Beryllium											5 10,81 2.0 B Bor	6 12,01 2.5 C Kohlenstoff	7 14,007 3.0 N Stickstoff	8 15,999 3.5 O Sauerstoff	9 16,998 4,0 F Fluor	10 20,18 Ne Neon
3	11 22,99 0,9 Na Natrium	12 24,31 1,2 Mg Magnesium											13 26,98 1,5 Al Aluminium	14 28,09 1,8 Si Silicium	15 30,97 2,1 P Phosphor	16 32,06 2,5 S Schwefel	17 35,45 3,0 Cl Chlor	18 39,95 Ar Argon
4	19 39,10 0,8 K Kalium	20 40,08 1,0 Ca Calcium	21 44,96 1,3 Sc Scandium	22 47,90 1,5 Ti Titanium	23 50,94 1,6 V Vanadium	24 51,996 1,6 Cr Chromium	25 54,94 1,5 Mn Mangan	26 55,85 1,8 Fe Eisen	27 58,93 1,8 Co Cobalt	28 58,70 1,8 Ni Nickel	29 63,55 1,9 Cu Kupfer	30 65,38 1,6 Zn Zink	31 69,72 1,6 Ga Gallium	32 72,59 1,8 Ge Germanium	33 74,92 2,0 As Arsen	34 78,96 2,4 Se Selen	35 79,90 2,8 Br Brom	36 83,80 Kr Krypton
5	37 85,47 0,8 Rb Rubidium	38 87,62 1,0 Sr Strontium	39 88,91 1,3 Y Yttrium	40 91,22 1,4 Zr Zirkonium	41 92,91 1,6 Nb Niobium	42 95,94 1,8 Mo Molybdän	43 [97] 97,90 1,9 Tc* Technetium	44 101,07 2,2 Ru Ruthenium	45 102,91 2,2 Rh Rhodium	46 106,4 2,2 Pd Palladium	47 107,87 1,9 Ag Silber	48 112,41 1,7 Cd Cadmium	49 114,82 1,7 In Indium	50 118,69 1,8 Sn Zinn	51 121,75 1,9 Sb Antimon	52 127,60 2,1 Te Tellur	53 126,90 2,5 I Iod	54 131,30 Xe Xenon
6	55 132,91 0,7 Cs Caesium	56 137,33 0,9 Ba Barium	57 138,91 1,1 La Lanthan	72 178,49 1,3 Hf Hafnium	73 180,95 1,5 Ta Tantal	74 183,85 1,7 W Wolfram	75 186,21 1,9 Re Rhenium	76 190,2 2,2 Os Osmium	77 192,22 2,2 Ir Iridium	78 195,09 2,2 Pt Platin	79 196,97 2,4 Au Gold	80 200,59 1,9 Hg Quecksilber	81 204,37 1,8 Tl Thallium	82 207,2 1,8 Pb Blei	83 208,98 1,9 Bi Bismut	84 [209] 209 2,0 Po* Polonium	85 [210] 210 2,2 At* Astat	86 [222] 222 Rn* Radon
7	87 [223] 223 0,7 Fr* Francium	88 [226] 226 0,9 Ra* Radium	89 [227] 227 1,1 Ac* Actinium	104 [261] 261 Ku* Kurtatcovium	105 [262] 262 Ns* Niesbohrium													

H¹ : Gas
Br¹ : Flüssigkeit
Mg¹ : Feststoff
■ : Nichtmetall
■ : Halbmetall
■ : Metall
 * : Alle Isotope dieses Elements sind radioaktiv.

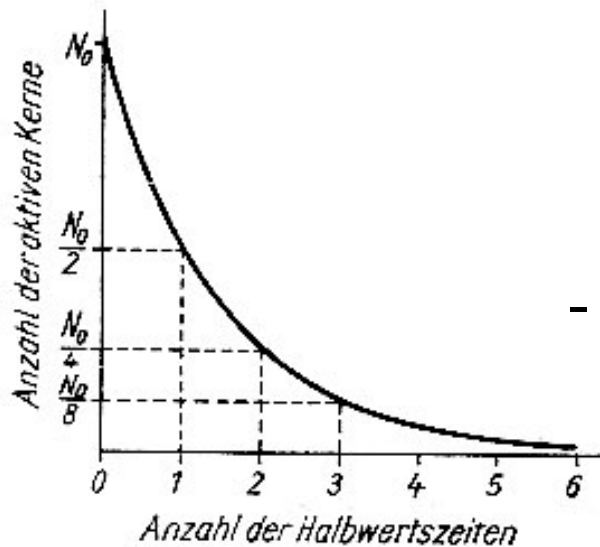
Ordnungszahl (Protonenzahl) — 5
 Atommasse in u (u = 1,66 · 10⁻²⁷ kg) — 10,81
 Elektronegativitätswert — 2,0
 Elementname — Bor



2.1. Allgemeine Begriffe

radioaktiver Zerfall

- unabhängig von äußeren Einflüssen
- nach statistischen Gesetzen
- quantitative Beschreibung des Zerfalls mittels



$$N(t) = N(0) \cdot e^{-\lambda t}$$

- radioaktiven Zerfallsgesetz -

2.1. Allgemeine Begriffe

Halbwertszeit

= Zeit T , nach der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen N_0 Atome zerfallen ist.
- für jedes radioaktive Isotop eine charakteristische, von äußeren Bedingungen unabhängige Konstante

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N(T) = 0,5N_0$$

$$0,5N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda T}$$

$$0,5 = e^{-\lambda T}$$

$$\ln 1 - \ln 2 = -\lambda T$$

$$T = \ln 2 / \lambda$$

2.1. Allgemeine Begriffe

Nulleffekt

- Grundrauschen bei Messgeräten durch Hintergrundstrahlung
- Registrieren von Impulsen, obwohl keine Strahlenquellen in der Nähe
- veränderlich

Ursache

- radioaktive Substanzen im Boden
- Höhenstrahlung

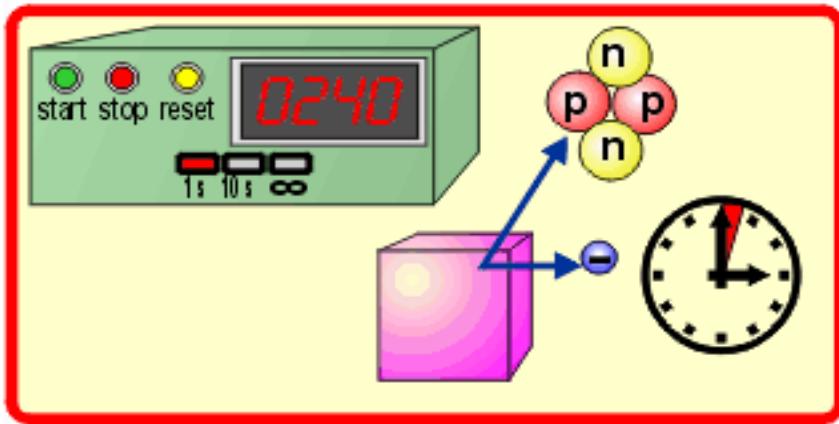
Berücksichtigung

- Aufnahme der Nullrate
- Abzug der Nullrate von den Messimpulsen



2.2 Physikalische Größen

1. Die Aktivität A:



Die Anzahl der Kernzerfälle pro Sekunde wird in der Maßeinheit **Becquerel** angegeben.
1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde
früher übliche Maßeinheit "Curie".

Umrechnung:

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1\text{Bq} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ci}$$

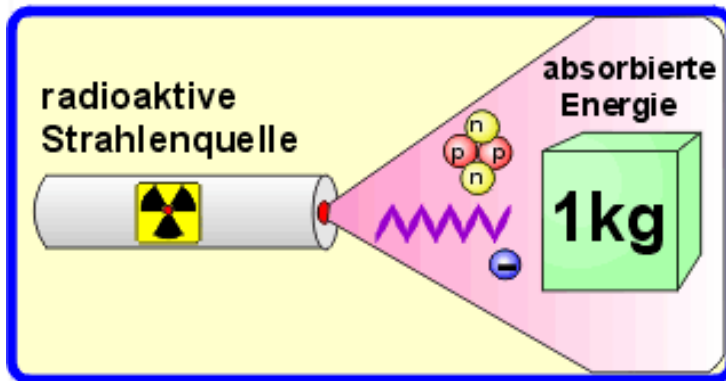
1Ci = Zerfälle in einem Gramm Ra pro Sekunde

Formel:

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

2.2 Physikalische Größen

2. Die Energiedosis D:



Die von 1kg Material aufgenommene Energie wird in der Maßeinheit **Gray** angegeben.

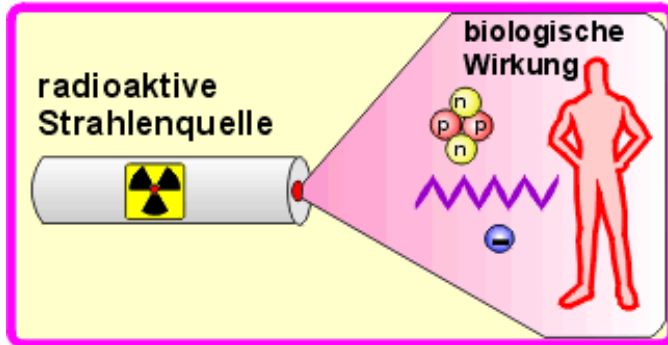
1 Gy = 1 Joule pro kg
früher übliche Maßeinheit "Rad".

$$\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Strahlungsenergie}}{\text{Masse}}$$

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ kg}} \quad [= 100 \text{ rd}]$$

2.2 Physikalische Größen

3. Die Äquivalentdosis H:



Die biologische Wirkung auf 1 kg Material wird in der Maßeinheit **Sievert** angegeben.
 $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Joule} \cdot \text{Wertungsfaktor pro kg}$
früher übliche Maßeinheit 'Rem'.

Durch den Bewertungsfaktor wird die Tatsache berücksichtigt, dass die einzelnen Strahlungen unterschiedliche Schädigungswirkungen haben.

Bewertungsfaktoren einiger Strahlungen:

- 1 Röntgenstrahlen, Gammastrahlen
- 1 Beta- und Elektronenstrahlungen
- 2,3 thermische Neutronen ("langsame" Neutronen)
- 10 schnelle Neutronen und Protonen
- 20 α -Strahlen

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} \cdot \text{RBW-Faktor}$$

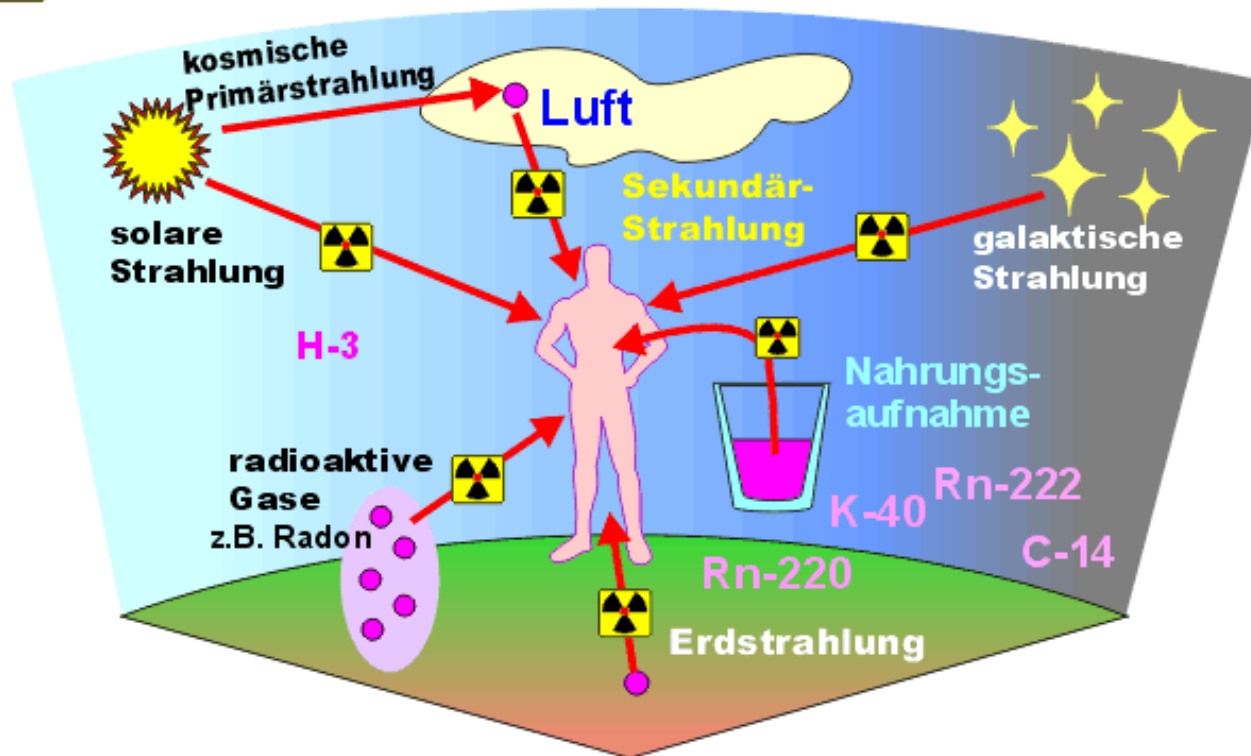
$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

2.3 Umweltradioaktivität

Umweltradioaktivität



Radioaktive Strahlung gibt es nicht erst seit es Kernkraftwerke gibt.



2.3 Umweltradioaktivität

terrestische Strahlung

Bundesland	ODL in nSv/h
Bayern	69
Berlin	31
Brandenburg	28
Bremen	42
Hamburg	56
Hessen	60
Nordrhein-Westfalen	59
Rheinland-Pfalz	68
Saarland	79
Sachsen	57
Schleswig-Holstein	52
Thüringen	63

Tabelle 1: Ländermittelwerte der Ortsdosisleistung

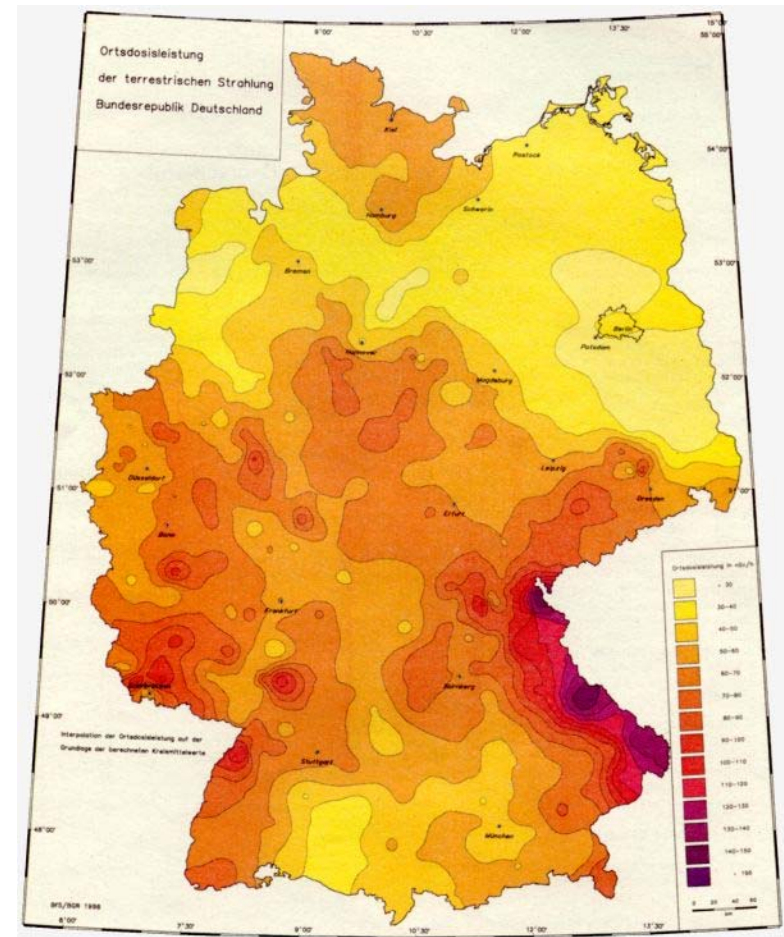
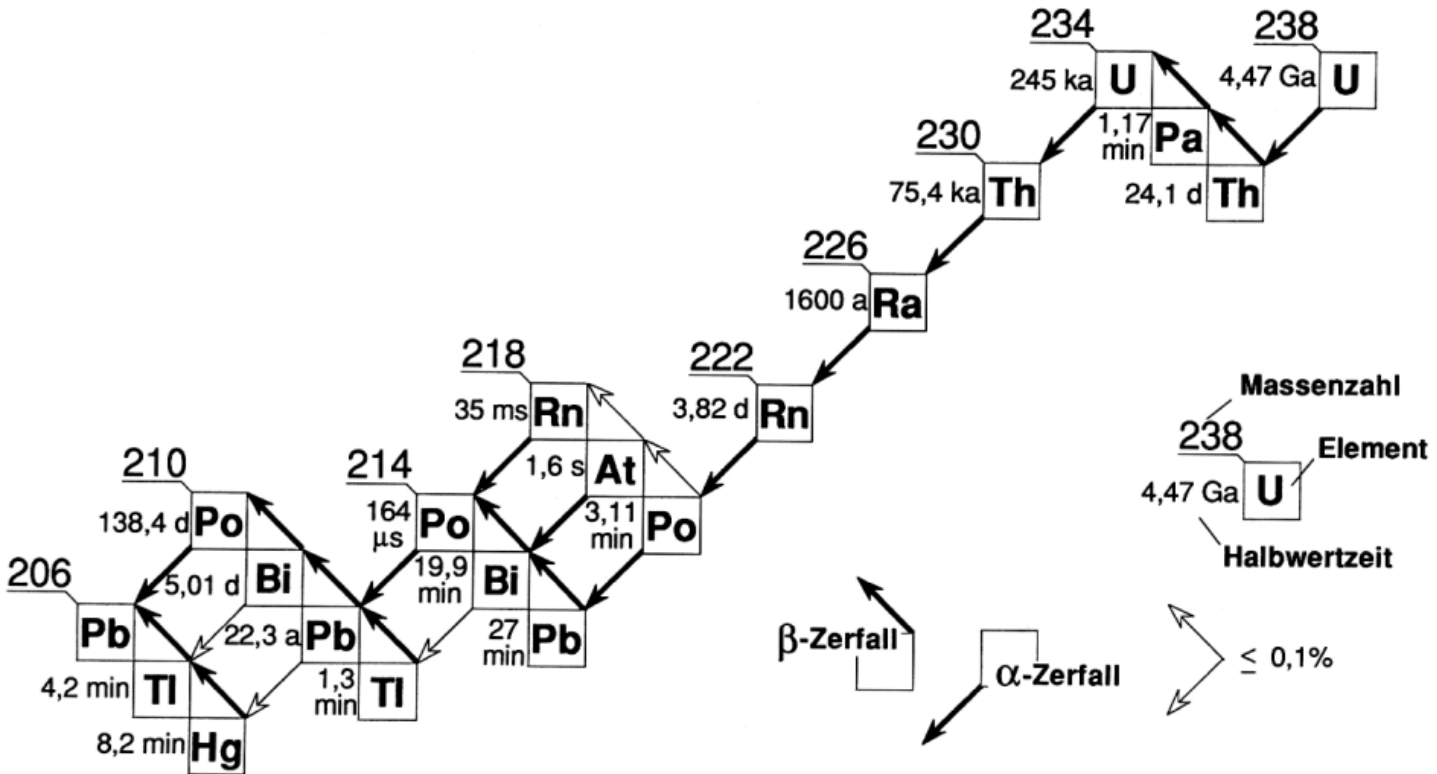


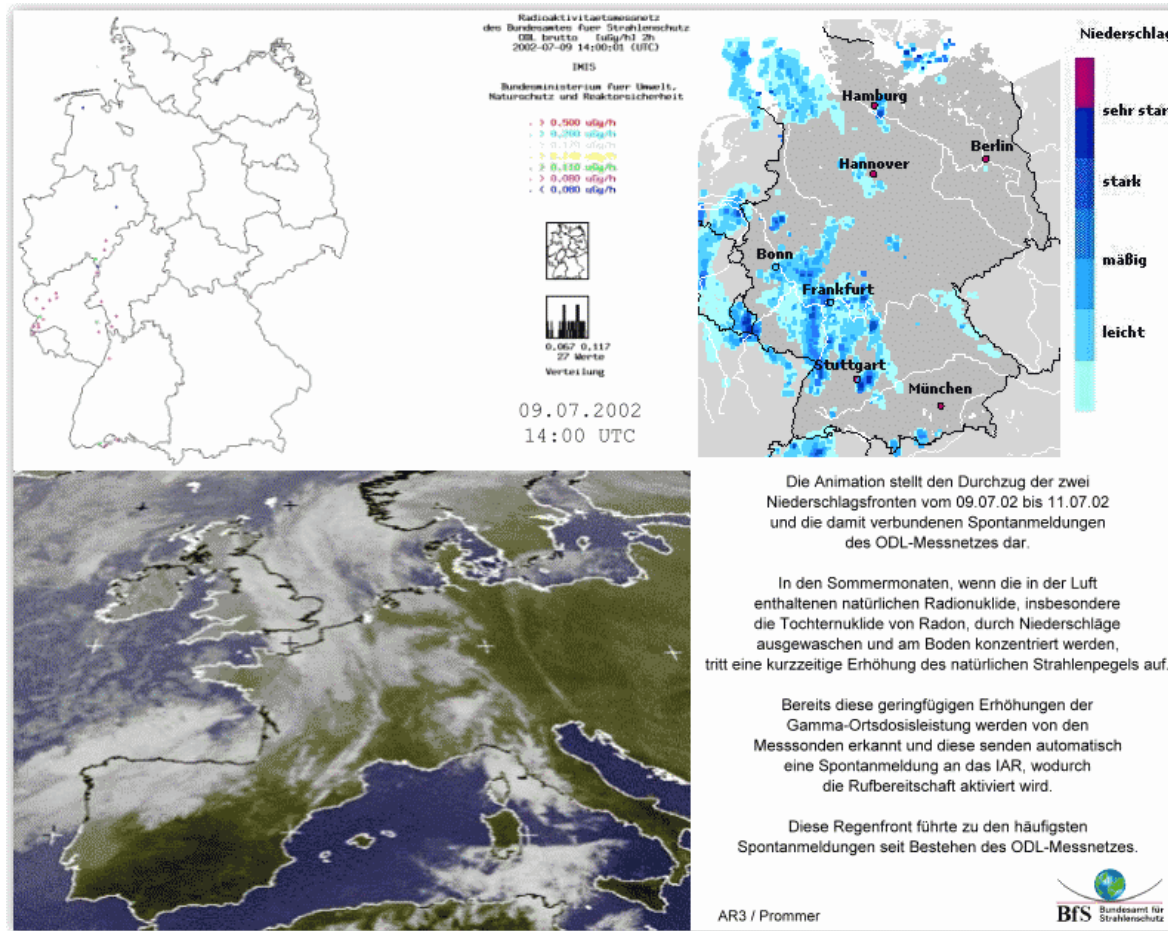
Abb1: Ortsdosisleistung in Klassen von 10 nSv/h

2.3 Umweltradioaktivität

natürliche Zerfallsreihe des Urans



2.3 Umweltradioaktivität



Daten vom BfS-Ortsdosisleistungsmessnetz zur Überwachung der Umweltradioaktivität

2150 Messstellen mit Geiger-Müllerzählrohren ausgerüstet

Messung ionisierender Strahlung

2.3 Umweltradioaktivität

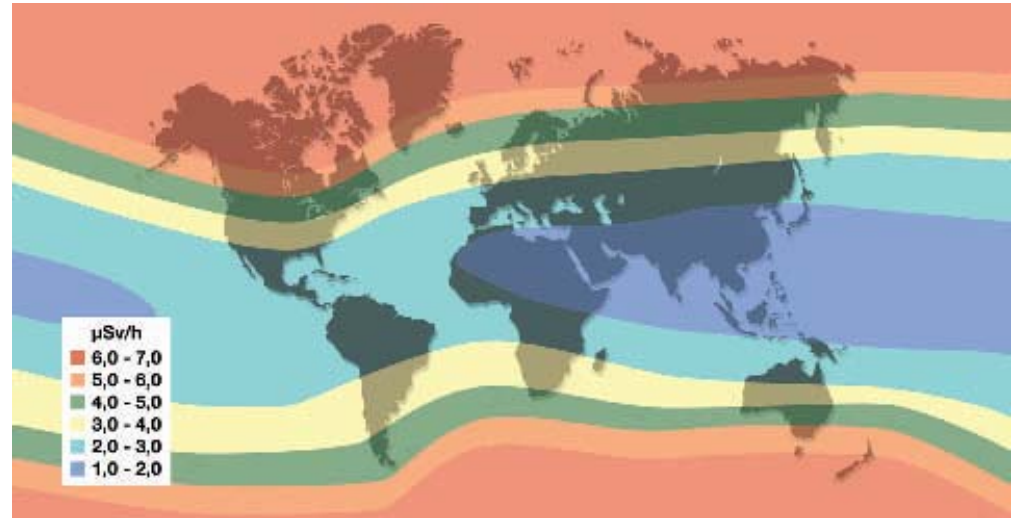
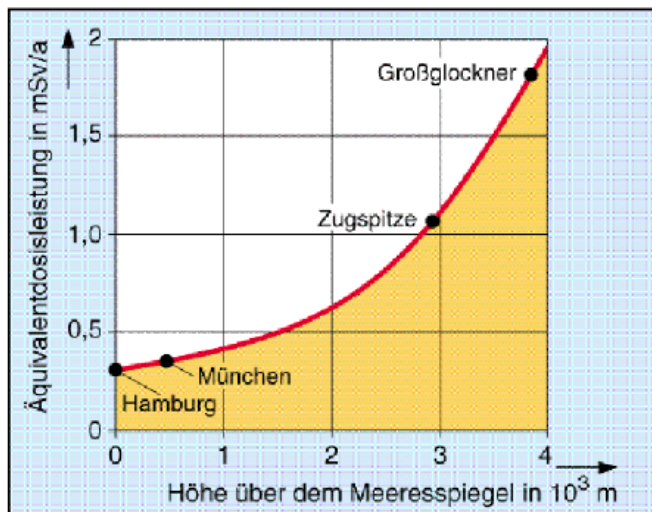
kosmische Höhenstrahlung

Anteile der kosmischen Primär-Strahlung:

ca. 93% Protonen

ca. 6% Heliumkerne (α -Strahlung)

ca. 1% schwerere Kerne



Zonen mit unterschiedlicher Höhenstrahlung (11 km Höhe, Dezember 2002, μ Sv/h)

Effektive Dosis durch Höhenstrahlung [μ Sv]

Frankfurt - New York: 32 - 75

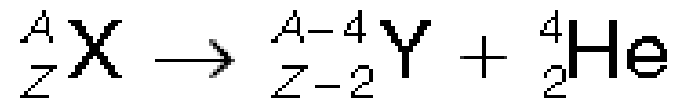
Frankfurt - Rio de Janeiro: 17 - 28

Frankfurt - Rom: 3 - 6:

2.4 Strahlungsarten

1. Alpha-Strahlung

- Teilchenstrahlung aus vollkommen ionisierten Heliumatomen
- Alpha-Teilchen = zweifach positiv geladener Atomkern

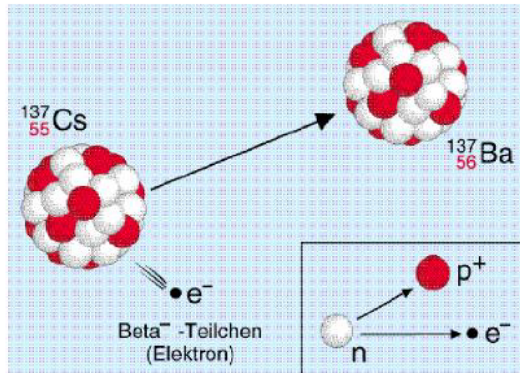


- ab Kernmassen von $A=145$
- sehr unterschiedliche Zerfallszeiten: $10^{-7} - 10^{10}$ Jahre
- diskretes Energiespektrum
- starke Absorption beim Durchdringen von Materie

2.4 Strahlungsarten

2. Beta-Strahlung

Beta Zerfall

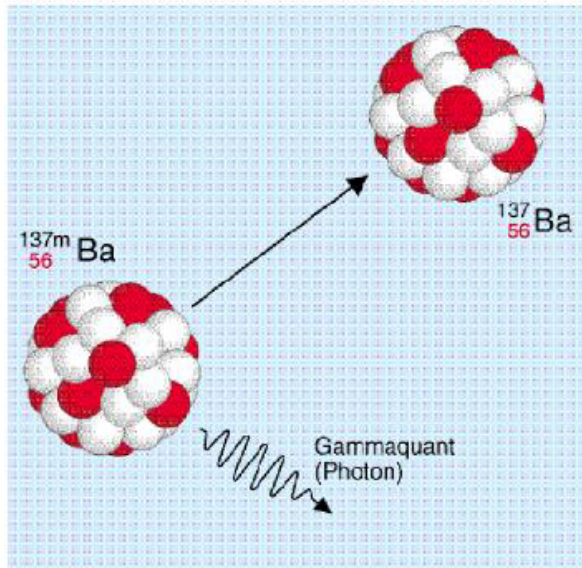


- ionisierende Teilchenstrahlung
- emittiertes Elektron oder Positron
- Entstehung bei Kernumwandlung
- kein diskretes Energiespektrum
 - Geschwindigkeit: 10^8m/s bis $3 \cdot 10^9\text{m/s}$
- Reichweite in Luft bis zu einigen Metern
- Lebensdauer von Betastrahlern sehr unterschiedlich: $T = 1\text{min} - 10^{10}$ Jahren

2.4 Strahlungsarten

3. Gamma-Strahlung

Gamma Zerfall

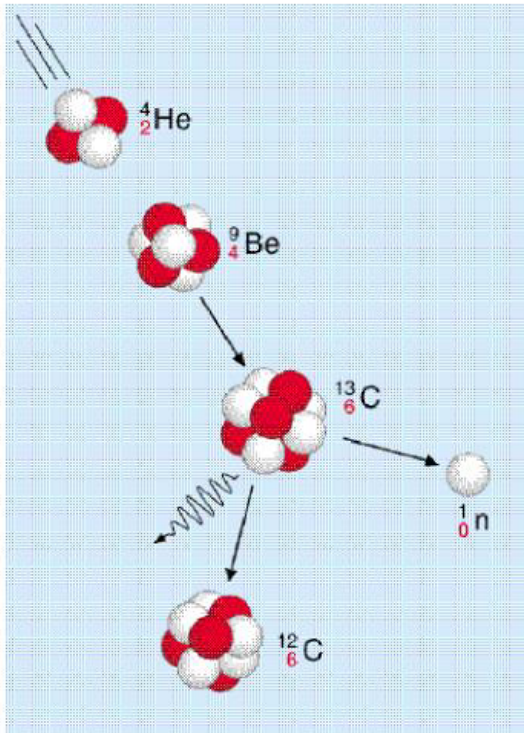


- elektromagnetische Strahlung
- außerordentlich kurzwellig
 - energiereicher als Röntgenstrahlung
- sehr geringe Absorption in Materie

2.4 Strahlungsarten

4. Neutronen-Strahlung

Neutronen Strahlen



- Teilchenstrahlung aus Neutronen
- wenige bekannte Neutronenstrahler mit kurzen Halbwertszeiten
- Entstehung beim Zerfall von Kernen
- neutrale Ladung
- hohe Durchdringung von Materie
- langsame und schnelle Neutronen

3. Strahlenmessung



3. Strahlenmessung

Messaufgaben

- Personendosen und Inkorporationen am Arbeitsplatz oder der Umgebung
- Ortsdosisleistung in Strahlungsfeldern
- Aktivität radioaktiver Stoffe

Messprinzip

- keine direkte Messung möglich
- Nutzen der unterschiedlichen Wechselwirkungen der verschiedenen Strahlungsarten mit Materie
- Messung leicht nachweisbarer physikalischer Effekte



3. Strahlenmessung

geeignete Effekte

- Erzeugung beweglicher elektrischer Ladungen
- Auslösen von Lichtblitzen
- Schwärzung von Filmemulsionen
- Bildung von Lumineszenzzentren
- Trübung in Gläsern und Kristallpulvern

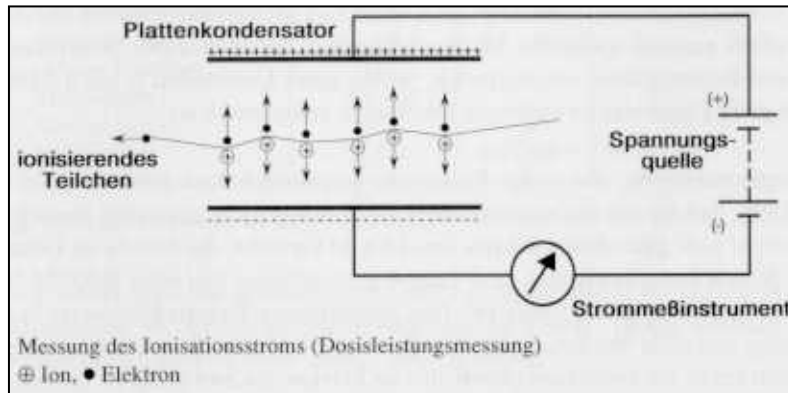


3.1.1 Ionisationskammer



3.1 Strahlungsdetektoren

Ionisationskammer



Messprinzip:

- elektrischer Plattenkondensator mit hoher Spannung
- Entstehung eines starken elektrischen Feldes

Funktionsweise:

- bei Eintritt eines direkt ionisierenden Teilchens Erzeugung von Ladungsträgern (Ionen und Elektronen)
- Wandern der Ladungsträger zur entgegen gesetzten Elektrode
- Messung der einzelnen Ladungsimpuls mittels **Impulskammer**

3.1 Strahlungsdetektoren

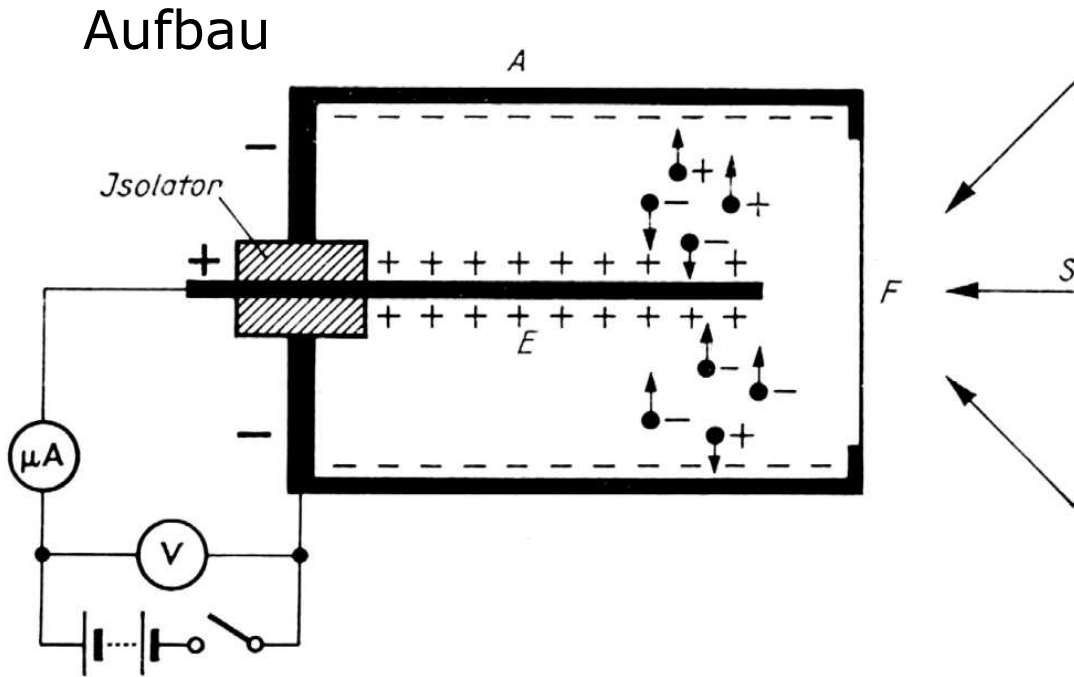
Ionisationskammer

- vielen Ladungsteilchen pro Zeiteinheit:
 - Überlagerung der Ladungsimpulse zu einem elektrischen Strom
- Messung mittels **Strommessgerät**
 - Stromstärke \sim Dosisleistung
- bei entsprechender Skalierung unmittelbar ablesbar



3.1 Strahlungsdetektoren

Ionisationskammer



Prinzip der Ionisationskammer.

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| <i>F</i> Eintrittsfenster; | <i>A</i> Abschirmung; |
| <i>E</i> Innenelektrode; | kV Spannungsmesser; |
| <i>I</i> Isolator; | <i>A</i> Strommesser |

Ausführung als:

Plattenkondensator
Zylinderkammer

Innenelektrode:

Sammelelektrode

Außenelektrode:

Spannungselektrode
(meist Gehäusewand)

Wandmaterial:

Messing, Kupfer, Graphit, ...

Füllgas:

Luft, Wasserstoff, Stickstoff,
Bortrifluorid

Volumen: 1mm^3 - 100dm^3

Spannung:

100V - 1000V

3.1 Strahlungsdetektoren

Ionisationskammer

Signalverarbeitung

Stromkammer

Integrationskammer

Impulskammer



3.1 Strahlungsdetektoren

Ionisationskammer

Signalverarbeitung
Integrationskammer

Messung der während der Messzeit erzeugten elektrischen Signalladungen Q

Auflademethode:

- Entladen des Elektrometers
- Aufladen der Systemkapazität durch Ionisationsstrom

Entlademethode:

- Aufladen des Elektrometers
- Entladung durch Ionisationsstrom

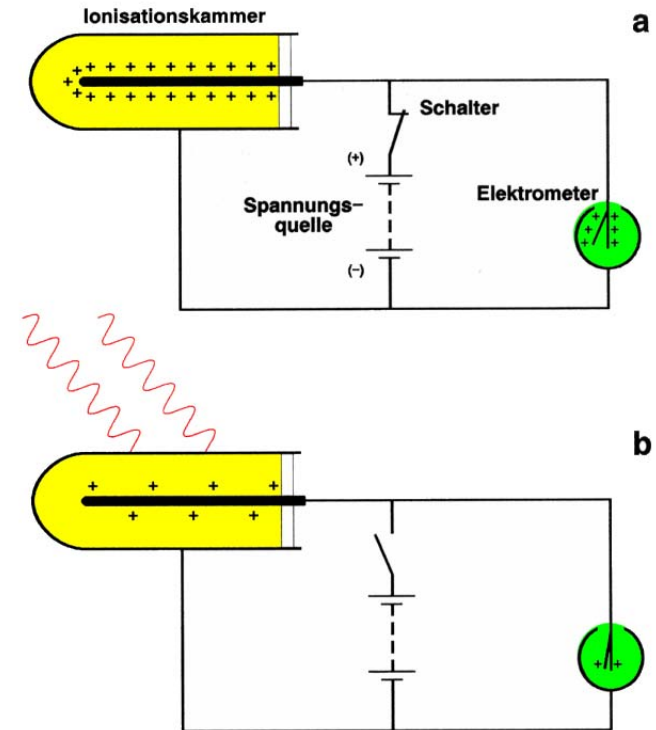
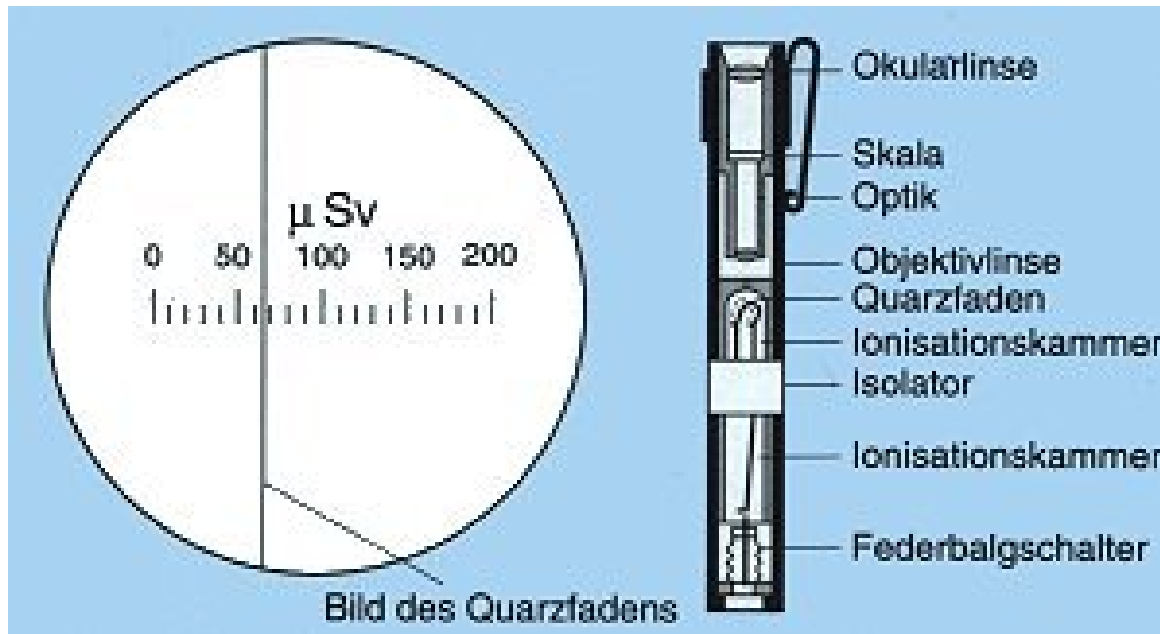


Abb. 8.2: Messung der durch Ionisation bewirkten Ladungsänderung einer Ionisationskammer (Dosismessung)
a) Aufladen und b) Entladen der Ionisationskammer

3.1 Strahlungsdetektoren

Ionisationskammer

Messgeräte



Stabdosimeter

- Aufladen an einer Spannungsquelle
- Abspreizen des Quarzfädchens
- bei Strahlungseinfall: Rückgang der Spannung
- Rückgang des Fadens
- direktes Ablesen der Äquivalentdosis möglich

3.1 Strahlungsdetektoren

Ionisationskammer

Anwendung

häufiger Einsatz zur Messung radioaktiver Strahlung

- einfacher, robuster Aufbau
- hohe Zuverlässigkeit

Hauptanwendungsgebiete

- Betriebsmess-, Steuer- und Regelungstechnik
- Dosimetrie und Strahlenschutz
- Reaktormesstechnik
- Spektrometrie in der Kernphysik



3.1 Strahlungsdetektoren

Ionisationskammer

Nachweis von

Besonderheit der Bauform

- direkt ionisierender
Teilchenstrahlung
(Beta/Alpha-Strahlung)

- dünne Kammerwände und
Eintrittsfenster

- Einbringen der radioaktiven
Quellen in das Innere der
Kammer

- Gamma/Röntgen-Strahlung

- hohe Wanddicke
- erhöhter Füllgasdruck

- Neutronenstrahlung

- Gasfüllungen und Wandbeläge
mit geeigneten Materialien



3.1.2 Proportionalitätszählrohre



3.1 Strahlungsdetektoren

Proportionalitätszählrohre

Messprinzip:

- Vervielfachung der erzeugten Ladungsträger
- Nutzen von Stoßionisation (Gasverstärkung)

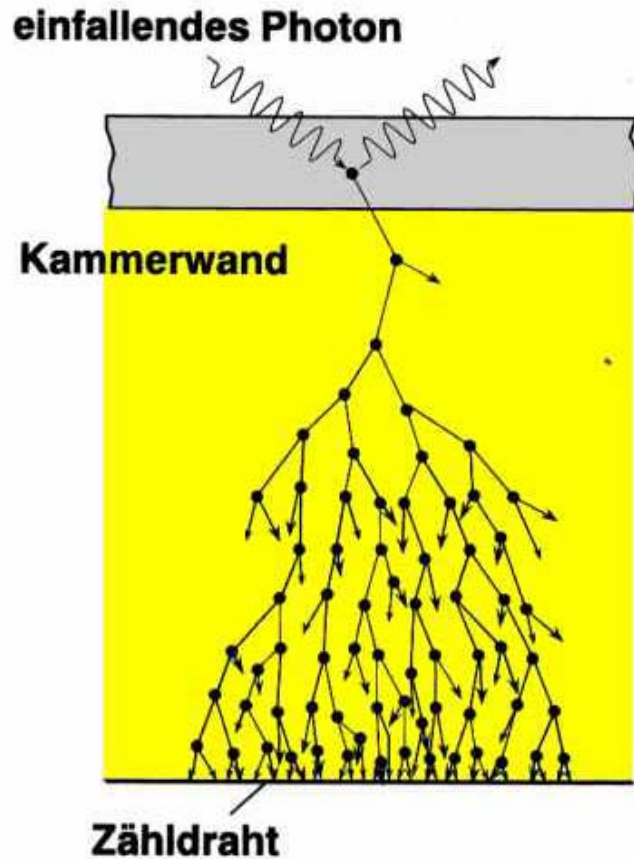
Funktionsweise:

- hohe angelegte Spannung
- starke Beschleunigung der Ionen und Elektronen
- bei Zusammenstoß mit Gasmolekülen Ionisierung dieser Moleküle
- Entstehung einer Elektronenlawine



3.1 Strahlungsdetektoren

Proportionalitätszählrohre



Gasverstärkungsfaktor:

Erhöhung mit zunehmender
Spannung

in der Praxis: 10^6

3.1 Strahlungsdetektoren

Proportionalitätszählrohre

Aufbau

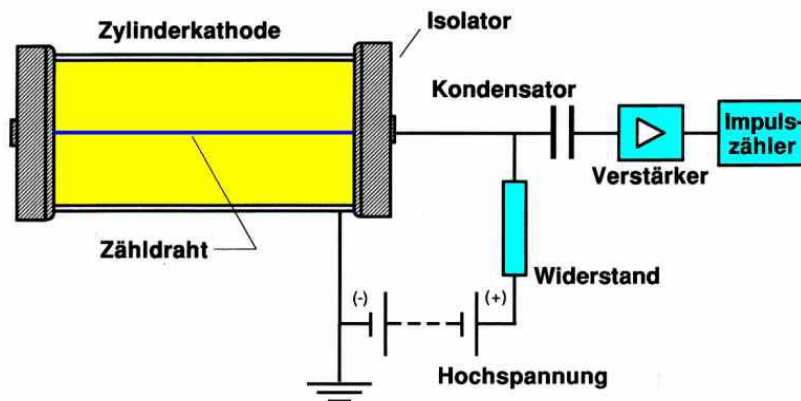


Abb. 8.3: Prinzip des Zählrohrs

Ausführung als:

Zylinder-/Kugel-
/Halbkugelkammer

Innenelektrode:

Sammelelektrode
aus Wolfram/Stahl

Außenelektrode:

Katode (meist Gehäusewand)

Füllgas:

Edelgase mit Zusätzen,
reines Methan, Propan, Ethan,
Bortriflurid

Spannung:

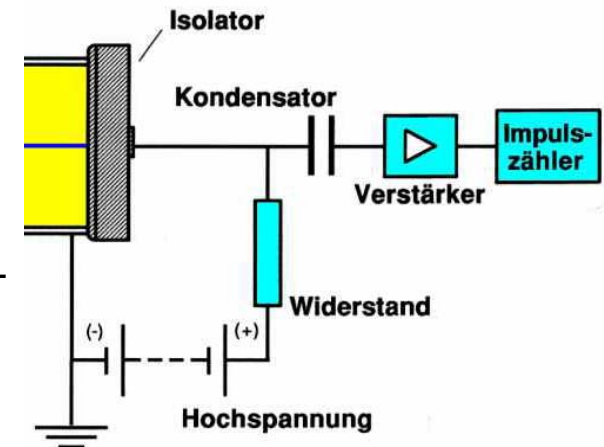
2000-4000V

3.1 Strahlungsdetektoren

Proportionalitätszählrohre

Signalverarbeitung

- nur noch geringfügige zusätzliche Verstärkung
- Messsignal: kurzzeitige Ladungsimpulse
 - Praxis: überwiegend Impulsmesser
- Impulshöhe \sim Primärionisation
 - Unterscheidung der Teilchenarten und -energien
- Diskriminator: Filterung der Messsignale
- fast keine Totzeit: unter $1\mu\text{s}$



3.1 Strahlungsdetektoren

Proportionalitätszählrohre

Anwendung

- reine Teilchenzähler, keine Dosisleistung
- am häufigsten genutzte Strahlungsdetektoren
 - niedriger Preis
 - bescheidene Anforderungen an Messelektronik
 - einfache Betriebsweise
- Anwendung bei einfachen Impulsratenbestimmung
 - Strahlenschutz
 - Reaktormesstechnik
 - radiometrische Altersbestimmung



3.1 Strahlungsdetektoren

Proportionalitätszählrohre

Nachweis von	Besonderheit der Bauform
- energiearme Beta-Strahlung und niederenergetischer Gammastrahlung	- Proportionalitätszählrohr mit dünnen Eintrittsfenster aus Glimmer ($<10\mu\text{m}$)
- Alpha/Beta-Strahlung	- Gasdurchflusszählrohre mit reinem Methan im Unterdruck
- Neutronenstrahlung	- Bor-Zählrohre <ul style="list-style-type: none">- Gasfüllungen: Bohrtriflourid- Kathodenbelag aus Bohr
- radioaktive Flüssigkeiten	- Becher-/Eintauch-/Durchflusszählrohre

3.1 Strahlungsdetektoren

Proportionalitätszählrohre

Lebensdauer

- Verschlechterung der Zählrohreigenschaften
- Ursachen:
 - Dissoziation der Löschgasmoleküle
 - Zerstörung des Löschgases
- organisch gelöschte Zählrohre: bis 10^8 Impulsen
- Halogenzählrohre: bis $> 10^{10}$ Impulsen



3.1.3. Auslösezählrohr



3.1 Strahlungsdetektoren

Auslösezählrohr

- = Geiger-Müller-Zählrohr
- Bauweise ähnlich wie Proportionalitätszählrohr
- spezielle Gasfüllung: Argon/Neon + Löschzusatz
- Unterdruck: 0.1 bar
- geringere Arbeitsspannung: einige 100V



3.1 Strahlungsdetektoren

Auslösezählrohr

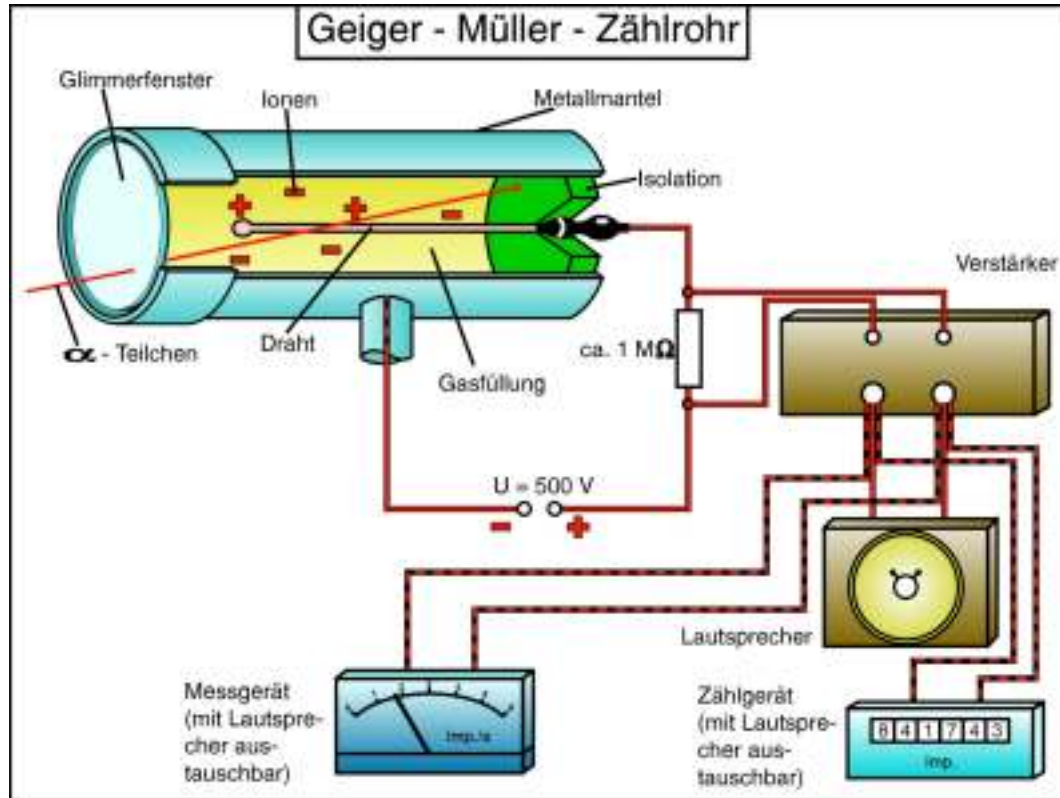
Arbeitsweise

- Ausbreiten der Elektronenlawine entlang des gesamten Zähldrahtes
- Gasverstärkungsfaktor: $A = 10^6 - 10^8$
- Entstehung gleich großer Ladungsimpulse: 1 - 100V
- keine Proportionalität zwischen absorbierte Strahlungsenergie und Höhe der Signalladung



3.1 Strahlungsdetektoren

Auslösezählrohr



⇐ prinzipieller Aufbau des Auslösezählrohrs



↑ Frontansicht: Eintrittsfenster

3.1 Strahlungsdetektoren

Auslösezählrohr

Abbruch des Entladevorgangs

Totzeit: vergehende Zeit zwischen Entladung und der Registrierung eines neuen Impulses (0.01 – 1ms)

selbstlöschende Zählrohre

Abbruch durch
Zählgasbemischungen:
organische Dämpfe
oft: Argon und Ethanol im
Verhältnis 10 : 1

nichtselbstlöschende Zählrohre

Abbruch durch elektronische
Löschkreise
im praktischen Strahlenschutz
kaum in Gebrauch
Erfassung kleiner Impulsraten

3.1 Strahlungsdetektoren

Auslösezählrohr

Zählrohrcharakteristik

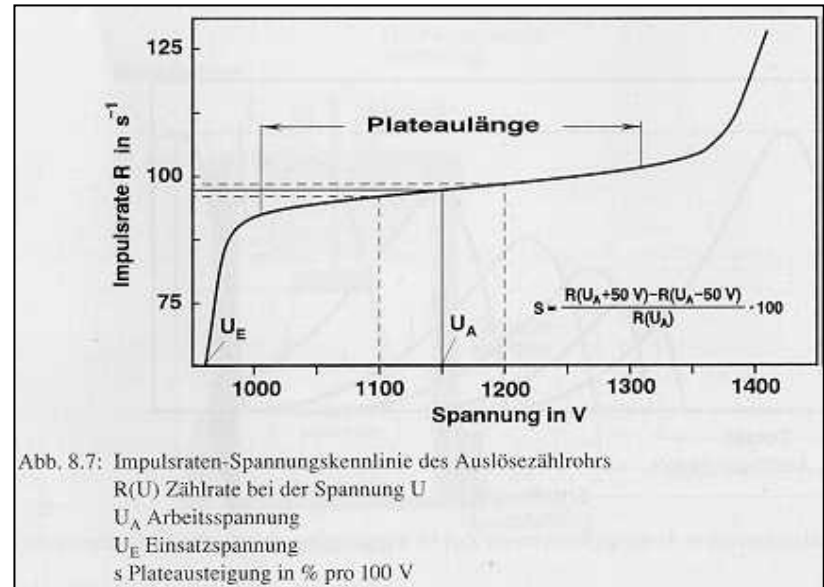
= Abhängigkeit der Impulsrate von der Zählrohrspannung

- Ermittlung der geeigneten Betriebsspannung des Zählrohrs durch Aufnahme der Zählrohrcharakteristik

- Wahl der Betriebsspannung:

etwa 50V über Einsatzspannung

$$U_A = U_E + 50V$$



3.1 Strahlungsdetektoren

Auslösezählrohr

Nachweiseffektivität

Alpha/Beta-Strahlung:	100%
energiereiche Gamma-Strahlung	1%

Anwendung

reine Teilchenzähler

allgemein für alle Aktivitätsmessung

am häufigsten verwendeten Strahlungsdetektoren



3.1.3 Anregungsdetektoren



3.1 Strahlungsdetektoren

Anregungsdetektoren

physikalisches Prinzip

- Anregung von Hüllenelektronen durch ionisierende Strahlung
- bei Rückkehr in den Grundzustand Emission elektromagnetischer Strahlung

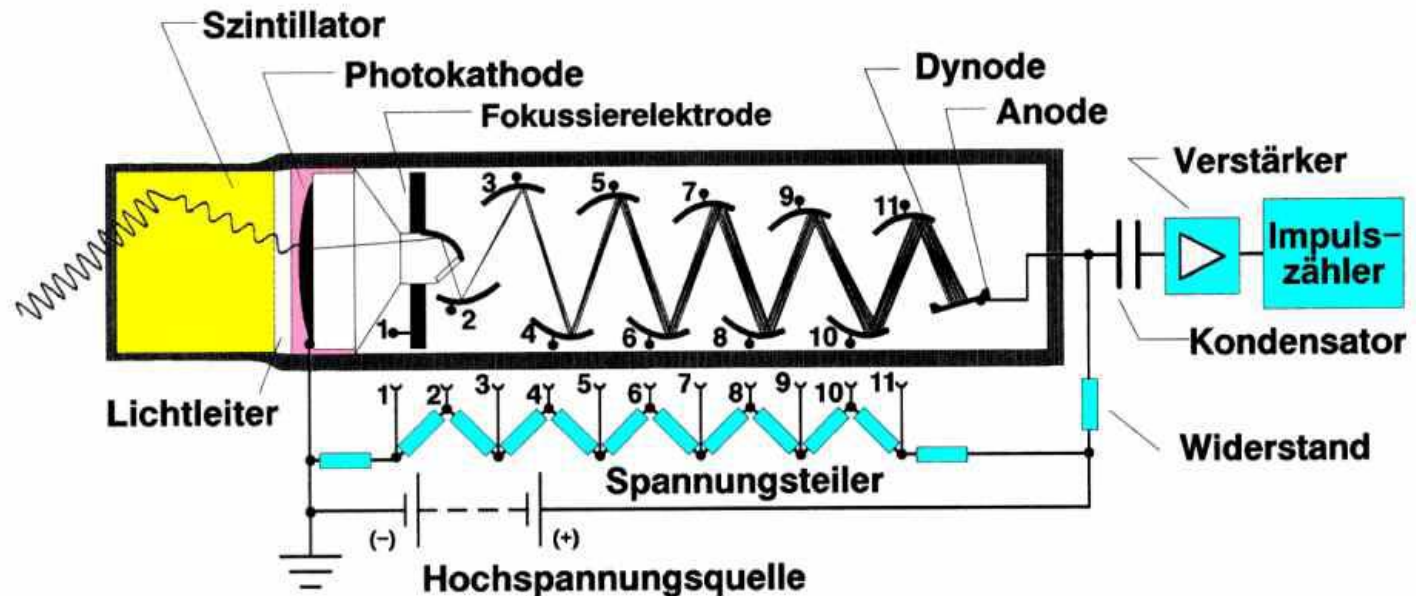
- (i) Szintillationszähler: Lichtimpulse
- (ii) Thermolumineszenzdetektoren: Lumineszenzlicht
- (iii) Cerenkov-Zähler: Cerenkov-Licht



3.1 Strahlungsdetektoren

Szintillationszähler

Aufbau



Szintillator: Erzeugung von Lumineszenzlicht

Photomultiplier: Wandlung der Lichtblitze in elektrische Impulse

3.1 Strahlungsdetektoren

Szintillationszähler

Wirkungsweise

Szintillator:

Energieaufnahme

Auslösen von Anregungs- und Ionisationsprozessen

Emission von Licht als Lichtblitze

Lichtleiter:

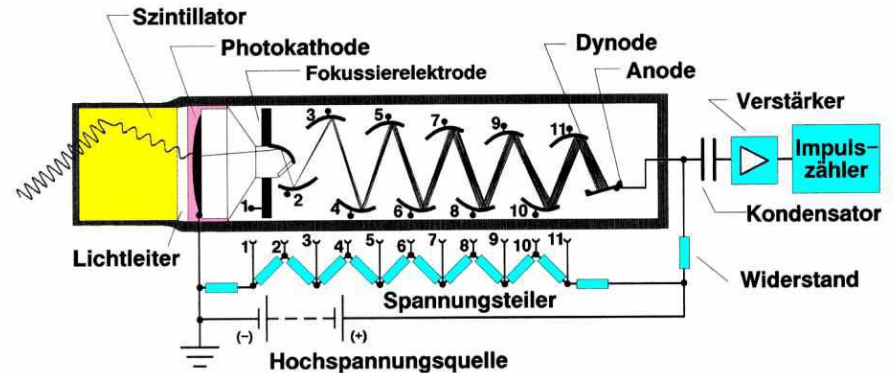
Leiten des Lichtes auf Photokathode

Herauslösen von Elektronen

Photoverstärker:

schrittweise Erhöhung der Elektronenanzahl

bis genügend großer Stromimpuls am Ausgang



3.1 Strahlungsdetektoren

Szintillationszähler

Szintillatorsubstanzen

gewünschte Eigenschaften

hohe Szintillationsausbeute

kurze Lumineszenzabklingzeit

gute Abstimmung auf Photokatode des Vervielfachers



3.1 Strahlungsdetektoren

Szintillationszähler

Szintillatorsubstanzen

anorganische Kristall- und Glasszintillatoren:

häufig: Na[Tl], LiJ

seltener: CsJ[Tl]

organische Kristallszintillatoren:

Lumineszenzverhalten auch im gelösten Zustand

wichtigster Vertreter: Anthracen

Gaszintillatoren:

Edelgase: He, Ar, Kr, Xe



3.1 Strahlungsdetektoren

Szintillationszähler

Charakteristik

Nulleffekt

- zusätzliches thermisches Rauschen des Photovervielfachers
- Verhinderung:
 - günstige Wahl der Diskriminatorspannung
 - Szintillatorgröße
 - Bleiabschirmung

Zeitauflösung

- je nach Abklingzeit des Szintillators (10^{-6} – 10^{-9} s)

3.1 Strahlungsdetektoren

Szintillationszähler

Nachweiseffektivität

geladene Teilchen	100%
Gammastrahlung	0,5%



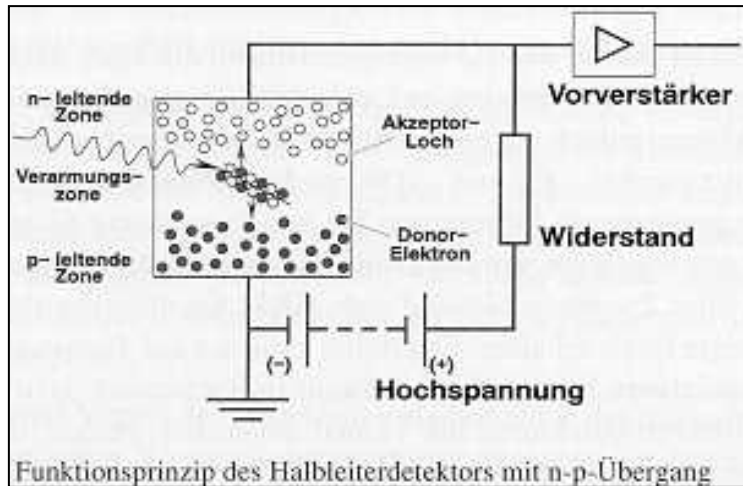
3.1.4. Halbleiterdetektoren



3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Arbeitsweise



Festkörperionisationskammer
anstelle des Füllgases:

hochohmiger Halbleiterkristall
mit breiter verbotener Zone als
empfindliches Detektormedium

- Bildung freibewegliche Elektron-Defektelektronen-Paare
- Absaugen der Ladungsträger
- auswertbarer Spannungsimpuls über Arbeitswiderstand

3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Vorteile gegenüber der Ionisationskammer

- geringerer Energieaufwand zur Erzeugung von Ladungsträgern
- zehnmal größere elektrische Ladung
- wesentlich kleinere Detektorvolumina

Aufbau

Grundmaterial:

- Elementarhalbleiter (Si/Ge)
- binäre Verbindungen (HgI_2)

3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Detektortypen

Halbleiterdetektoren mit inneren p-n-Übergang

- Halbleiterblock aus Si (p-dotiert)
- dünne n-leitende Schicht
 - Ladungsträgerdiffusion an der Kontaktstelle beider Schichten
 - Entstehung der Sperrschicht
- Polung in Sperrrichtung
- verarmte Raumladungszone = empfindliches Detektorvolumen

3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Detektortypen

Oberflächensperrschichtdetektoren

- zylindrischer Grundkörper aus n-dotiertem Silizium
- Oberflächenbehandlung
 - Bildung einer Oberflächeninversionsschicht
 - Aufdampfen einer dünne Goldschicht (10nm)
- Goldschicht: Frontkontakt und Strahlungseintrittsfenster
- Basiskontakt: Rückseite
- Verarmungszone an der Oberfläche = empfindliches Detektorvolumen

3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Detektortypen

Lithiumdriftdetektoren

- Halbleiter mit besonders breiter Raumladungszone
- Realisierung dieser breiten Raumladungszone: Ionendriftverfahren

Ionendriftverfahren

- p-leitendes Grundmaterial (Si/Ge)
- 400°C: Eindiffundieren von Lithiumatomen
- 100°C: äußeres Feld in Sperrrichtung
- Driftprozess
- Entstehung einer annähernd eigenleitenden hochohmigen Zone
= **i-Schicht** mit kompensierter Raumladung

3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Detektortypen

besondere Eigenschaften der Lithiumdriftdetektoren

- Herauswandern der Lithiumatome
 - Ge(Li): Betrieb und Lagerung bei sehr niedrigen Temperaturen
 - Si(Li): Betrieb bei Raumtemperatur
Aufbewahrung bei -30°C oder angelegter Spannung

3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Eigenschaften

- Höhe der Ausgangsimpulse \sim absorbiertes Strahlungsenergie
- hohe Energieauflösung
- kleine Impulsanstiegsraten (0,1 – 1 μ s)
- hohe Zählgeschwindigkeiten
- Sperrstrom: elektrischer Strom in Sperrrichtung (Eigenleitung)
 - Reduzierung durch geringe Temperaturen
- Nulleffekt: relativ gering
- Lebensdauer: begrenzt

3.1 Strahlungsdetektoren

Halbleiterdetektoren

Anwendung

Messung aller Arten ionisierender Strahlung

hauptsächlich:

- Energiespektrometrie in der Kernphysik,
- Analysemesstechnik
- Strahlenschutz



3.1.5 Photoemulsionen



3.1 Strahlungsdetektoren

Photoemulsionen

- Veränderung der Emulsionsschicht
- Entwicklung: Erzeugung von Silberkörnchen
 - undurchlässig für sichtbares Licht
- Färbung \sim Art, Energie, Menge der eingefallenden Strahlung

Vorteil

- robuster Detektor
- dokumentarischer Nachweis

Nachteil

- große Messunsicherheit
- umständliches Auswerteverfahren



3.1 Strahlungsdetektoren

Photoemulsionen



Abb. 8.15: d) Film dosimeter (Kassette aufgeklappt, Dosimeßfilm mit 2 herausgezogenen Negativen)
(Physikalisch Technische Werkstätten, aufgenommen bei Staatl. Materialprüfungsamt NRW-
Personendosismeßstelle)

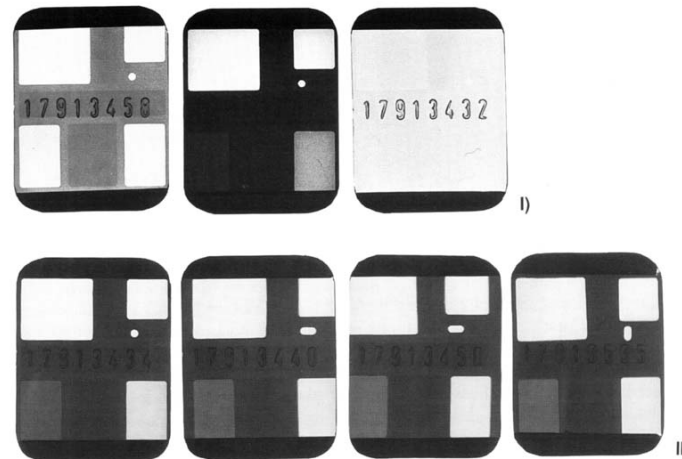


Abb. 8.15: e) Bestrahlte entwickelte Dosimeßfilme (10 mSv)
I) von links nach rechts: 30 kV-, 60 kV-, 250 kV-Röntgenstrahlung
II) 60 kV-Röntgenstrahlung bei verschiedenen Strahleneinfallswinkeln: von links nach
rechts: 0°, 45° links, 45° rechts, 45° oben (Staatl. Materialprüfungsamt NRW-Personendosis-
meßstelle)

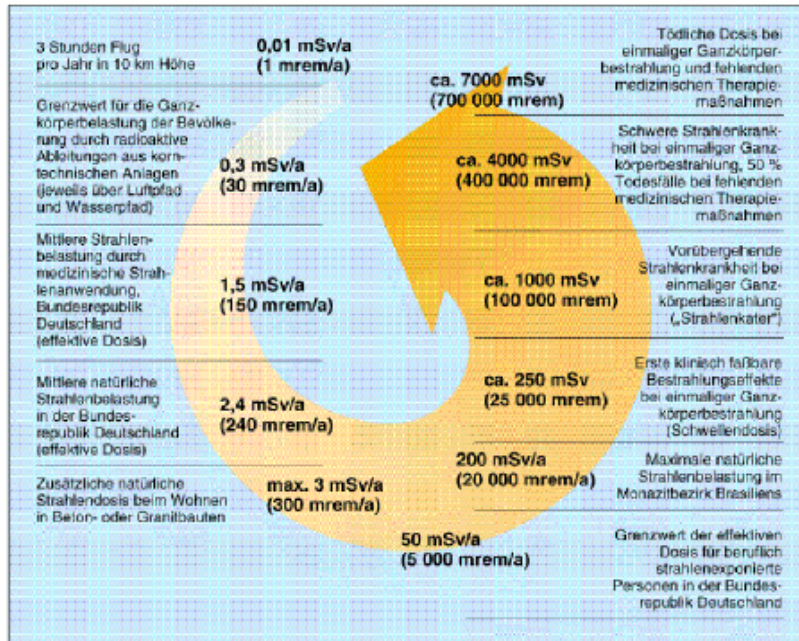
4. Strahlenschutz



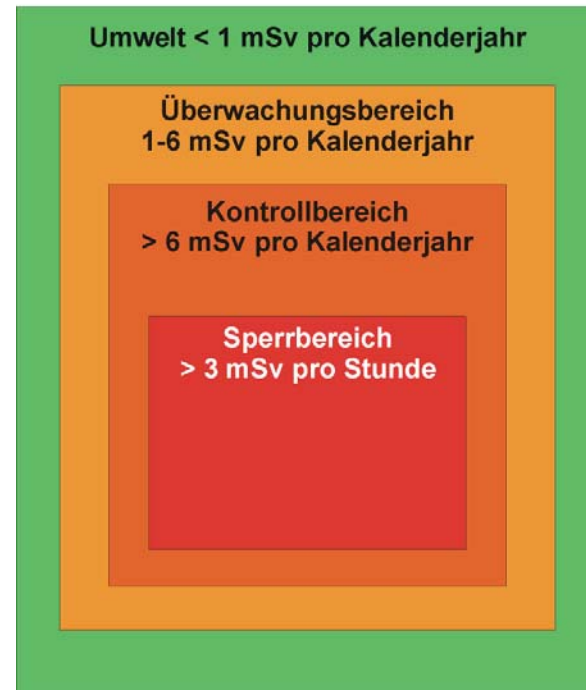
4. Strahlenschutz

zulässige Strahlendosen

Strahlendosen auf Menschen



Strahlenschutzbereiche



4. Strahlenschutz

zulässige Strahlendosen

Tabelle der Dosisgrenzwerte (mSv pro Kalenderjahr)

Organ	Beruflich strahlenexponierte Personen	Bevölkerung
Ganzkörper	20 mSv	1 mSv
Augenlinse	150 mSv	15 mSv
Haut	500 mSv	50 mSv
Keimdrüsen, Gebärmutter, rotes Knochenmark	50 mSv	-
Schilddrüse, Knochenoberfläche	300 mSv	-
Lunge, Magen, Blase	150 mSv	-

Dosisgrenzwert für die Bevölkerung auf der Grundlage der Schwankungsbreite der natürlichen Strahlung ohne Radonexposition: 1 mSv pro Kalenderjahr



4. Strahlenschutz

Strahlenwirkungen

Tab. 7.1: Klinische Frühsymptome deterministischer Strahlenwirkungen beim Menschen nach kurzzeitiger Ganzkörperexposition mit durchdringender Strahlung in Abhängigkeit von der Energiedosis [uns82, uns88]

h Stunde, d Tag, W Woche

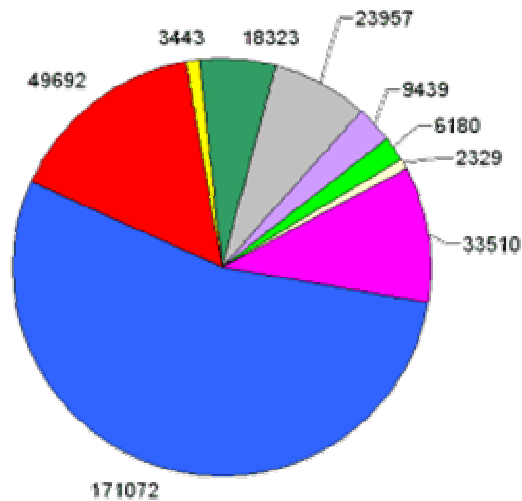
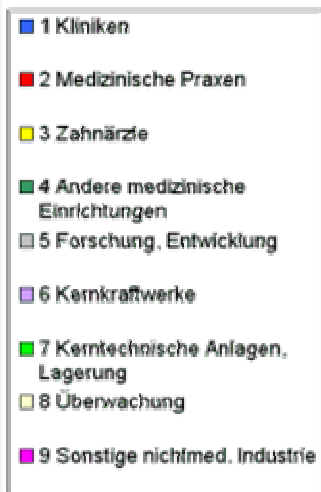
Dosis Gy	Latenzzeit	Charakteristische Wirkungen			Therapie	Überlebenschance		Ursache bei Todesfall
		besonders betroffenes Organ	Hauptsymptom	kritische Zeit nach Exposition		Prognose	Sterberisiko %	
< 1	> 5 h	Knochenmark	geringe Änderung des Blutbildes		unnötig	sehr gut	0	-
1-2	> 3 h	Knochenmark	deutliche Abnahme der Zahl der Leukozyten und Thrombozyten	2-6 W	symptomatische Behandlung	gut	0-10	Infektionen, innere Blut.
2-10	0,5-2 h	Knochenmark	schwere Schäden im Blutbild, Kopfschmerzen, Schwäche, Fieber, Infektionen, Müdigkeit, innere Blutungen, Haarausfall, Durchfall Erbrechen	2-6 W	Bluttransfusion Infusionen, Antibiotika, Knochenmarktransplantation	unsicher je nach Therapieerfolg	0-90	Infektionen, innere Blutungen
10-15	0,5 h	Darm	Durchfall, Fieber, Elektrolytstörungen	0,5-2 W	Linderungsmittel	sehr schlecht	90-100	schwerste Darmschäden
> 50	Minuten	Nervensystem	Krämpfe, Zittern, Bewegungsstörung, Schlafbedürfnis, Koma	1 h-2 d	Symptomatische Behandlung	hoffnungslos	100	Hirnoedem

4. Strahlenschutz

Überwachung der beruflichen Strahlenexposition

Strahlenschutzregister (SSR)

Überwachte Personen in verschiedenen Betriebskategorien 2002



Gesamt: 313.062

Überwachung seit 1960:
„Erste
Strahlenschutzverordnung“

Erweiterung der
Strahlenschutzverordnung
mit dem Laufe der Jahre

5. Quellen

- Literatur:
 - Werner Scholz: Messung ionisierender Strahlung
 - Vogt/Schulz: Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes
 - Jörg Hoffmann: Taschenbuch der Messtechnik
 - Schülerduden: Die Physik
 - Internet:
 - <http://www.akh-wien.ac.at/>
 - <http://www.bfs.de/>
 - <http://www.team-strahlenschutz.de>
- Abbildungen
 - Werner Scholz: Messung ionisierender Strahlung
 - Vogt/Schulz: Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes
 - Internet:
 - <http://www.akh-wien.ac.at/>
 - <http://www.bfs.de/>
 - <http://www.team-strahlenschutz.de>

