



# Messung von Radioaktivität

Vortrag im Rahmen der Vorlesung  
Prozessmesstechnik  
Jens Kammigan  
D4AT

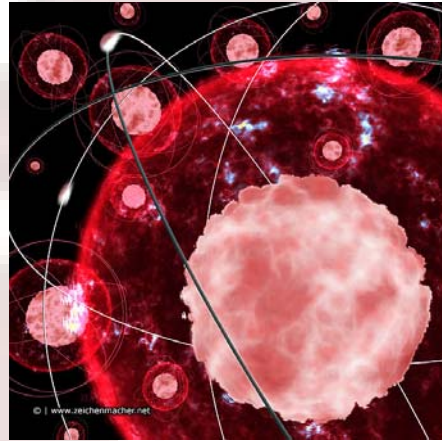
## Gliederung

- Grundlagen
  - Was ist Radioaktivität
  - Größen und Einheiten
  - Strahlenschutz
  - radioaktiver Zerfall
  - Zerfallsarten / Strahlungsarten
  - Auswirkungen auf lebende Organismen
- Messverfahren
- Quellen

## Grundlagen Was ist Radioaktivität?

Radioaktivität ist die Eigenschaft instabiler Atomkerne, sich spontan unter Energieabgabe umzuwandeln.

Die frei werdende Energie wird in Form ionisierender Strahlung abgegeben.



## Grundlagen Größen und Einheiten

### Aktivität

Anzahl der Zerfallsereignisse pro Zeiteinheit

Einheit: Becquerel (Bq)

→ 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde

### Energiedosis

von einem Objekt in einem Zeitraum absorbierte Energiemenge

Einheit: Gray (Gy)

→ 1 Gy = 1 J/kg

### Ionendosis

freigesetzte Ladung pro Kilogramm des bestrahlten Stoffes

Einheit: Sievert (Sv)

→ Sv = [C/kg]

Die Stärke der Radioaktivität wird durch die phys. Größe **AKTIVITÄT** und in der Einheit Becquerel (Bq) beschrieben.

Als Aktivität bezeichnet man die Anzahl der Zerfallsereignisse pro Zeiteinheit

Einheit:

Becquerel (Bq) → 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde

alt: Curie (Ci) → 1 Curie =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq

### **ENERGIEDOSIS**

Als Energiedosis bezeichnet man die von einem Objekt (z.B. Körpergewebe), über einen bestimmten Belastungszeitraum absorbierte massenspezifische Energiemenge. Sie ist abhängig von der Intensität der Bestrahlung, der Absorptionsfähigkeit des bestrahlten Stoffes und geometrischen Faktoren.

Einheit:

Gray (Gy) → 1 Gy = 1 J/kg

alt: Rad (radiation absorbed dose) → 1 Rad = 0,01 Gy

### **IONENDOSIS**

Die Ionendosis ist ein Maß für die Stärke der Ionisierung, ausgedrückt durch die freigesetzte Ladung pro Kilogramm des bestrahlten Stoffes

Einheit:

Sievert (Sv) → [C/kg] (Coulomb / Kg)

alt: Rem

# Grundlagen Strahlenschutz

## Grundsatz:

Es darf keine Strahlenanwendung ohne einen daraus resultierenden Nutzen geben.  
Jede Strahlenanwendung ist so gering wie möglich zu wählen.

## gesetzliche Grundlagen:

- EURATOM
  - regelt den Umgang mit radioaktiven Stoffen
  - ist Grundlage für alle nationalen Gesetze
- Atomgesetz (AtG)
  - rechtliche Grundlage in Deutschland
  - auf ihm bauen alle anderen Gesetze und Verordnungen auf
- Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)
  - regelt die Anforderungen für Vorsorge- u. Schutzmaßnahmen
- Röntgenverordnung (RöV)
  - reguliert die Nutzung von Röntgenstrahlen (Medizin)
- Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)
  - regelt die Aufgaben von Bund und Ländern
- Maximaldosis pro Jahr: 5 mSv/Jahr

## **Grundsatz**

Es darf keine Strahlenanwendung ohne einen daraus resultierenden Nutzen geben.  
Jede Strahlenanwendung ist so gering wie möglich zu wählen.

## **EURATOM**

Dieser europäische Vertrag regelt den Umgang mit radioaktiven Stoffen und ist internationale Grundlage für alle nationalen gesetzlichen Regelungen. Auf seiner Grundlage erarbeitet die Europäische Kommission strahlenschutzspezifische Richtlinien, die nach Anhörung durch das Europäische Parlament und Festlegung durch den Ministerrat für alle Mitgliedsstaaten bindend sind und in nationales Recht umgesetzt werden müssen. In diese Richtlinien gehen vor allem die Empfehlungen und Erkenntnisse internationaler Organisationen ein.

## **Atomgesetz (AtG)**

Das Atomgesetz bildet in Deutschland die nationale rechtliche Grundlage für den Umgang mit radioaktiven Stoffen (insbesondere Kernbrennstoffe). Auf ihm bauen die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) und die Röntgenverordnung (RöV) auf.

Zweck des Gesetzes (§ 1 AtG) ist, die Nutzung der Kernenergie zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität geordnet zu beenden und bis zum Zeitpunkt der Beendigung den geordneten Betrieb sicherzustellen, Leben, Gesundheit und Sachgüter vor den Gefahren der Kernenergie und der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlen zu schützen und durch Kernenergie oder ionisierende Strahlen verursachte Schäden auszugleichen.

## **Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)**

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) regelt in Deutschland die Grundsätze und Anforderungen für Vorsorge- und Schutzmaßnahmen bei der Anwendung und Nutzung radioaktiver Stoffe einerseits sowie bei Strahlenbelastung zivilisatorischen und natürlichen Ursprungs andererseits. Darunter fällt auch die medizinische Anwendung radioaktiver Stoffe (Nuklearmedizin) sowie die Strahlentherapie.

## **Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)**

Das StrVG dient dem Zweck, zum Schutz der Bevölkerung die Radioaktivität in der Umwelt zu überwachen und die Strahlenexposition der Menschen und die radioaktive Kontamination der Umwelt im Falle radioaktiver Unfälle oder Zwischenfälle so gering wie möglich zu halten. Es unterteilt zwischen Aufgaben für den Bund und die Länder.

## **Röntgenverordnung (RöV)**

Die Röntgenverordnung reguliert in Deutschland die Nutzung von Röntgenstrahlen. Sie regelt den Schutz vor Schäden durch Röntgenstrahlen mit Hilfe von Strahlenschutzmaßnahmen, insbesondere bei der Durchführung medizinisch radiologischer Diagnostik.

## **Maximaldosis pro Jahr für Normalverbraucher:**

5 mSivert pro Jahr

## Grundlagen Radioaktiver Zerfall

Bei den meisten Zerfallsarten ändert sich die Kernladungszahl (Ordnungszahl) – es entsteht also ein anderes chemisches Element.

Zerfallszeitpunkt absolut zufällig

Jedes Element hat eine feste Zerfallswahrscheinlichkeit  
→ Halbwertzeit

Halbwertzeit zwischen Sekundenbruchteilen und Milliarden Jahren (Uran-238, Kalium-40)

Je kürzer die Halbwertzeit, desto größer die Aktivität

Meistens Änderung der Kernladungszahl (Ordnungszahl) → es entsteht ein anderes chemisches Element.

Der Zerfallszeitpunkt ist absolut zufällig. Allerdings ist für jedes Element die Zerfallswahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit ein fester Wert, der auch durch die Halbwertzeit beschrieben werden kann.

Die Halbwertzeit ist der Zeitraum, nach dem durchschnittlich die Hälfte der instabilen Atomkerne einer Menge zerfallen sind.

Sie kann nur Sekundenbruchteile, aber auch einige Milliarden Jahre betragen. Solche langlebigen Elemente sind z.B. Uran-238, Thorium-232 oder Kalium-40.

Je kürzer die Halbwertzeit, desto größer die Aktivität.

## Grundlagen Radioaktive Zerfallsarten

- Alphazerfall
- Betazerfall
- Gammazerfall
- spontane Spaltung
- innere Konversion
- Clusterzerfall

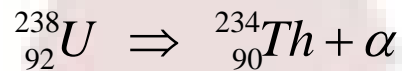
Es gibt verschiedene Arten von radioaktiven Zerfalls:

Alpha-, Beta-, Gamma-Zerfall

Spontane Spaltung, innere Konversion und Clusterzerfall → keine weitere Erwähnung

## Grundlagen Strahlungsarten – Alphastrahlung

- $\alpha \rightarrow$  2 Protonen und 2 Neutronen  $\rightarrow$  Helium-Kern
- Verringerung der Massenzahl um 4
- Verringerung der Ordnungszahl um 2
- wird im elektrischen Feld zum Minuspol abgelenkt
- geringes Durchdringungsvermögen
- Blatt Papier reicht zur vollständigen Abschirmung
- Reichweite in Luft: wenige cm
- hohe schädliche Wirkung auf lebendes Gewebe
- Strahlungsgeschwindigkeit:  $< 0,1 c$



Alphastrahlung besteht aus einem Helium-Atomkern (2 Protonen und 2 Neutronen).

Der Kern verringert bei Alphastrahlung seine Massenzahl um 4 und seine Ordnungszahl um 2

Alphastrahlung wird im elektrischen Feld zum Minuspol abgelenkt

Geringes Durchdringungsvermögen durch relativ große Masse und Aufgrund der Ladung  $\rightarrow$  Blatt Papier reicht zur vollständigen Abschirmung

Die Alphastrahlung hat auf lebendes Gewebe besonders schädliche Wirkung, da die Strahlung Aufgrund ihres geringen Durchdringungsvermögens ihre Wirkung auf kleinstem Raum ausübt (Strahlenkrankheit)  $\rightarrow$  Schädlich ist nicht das anfassen (kommt nicht durch Haut durch), sondern das einatmen oder mit der Nahrung aufnehmen.

Die frei werdende Energie wird mit einer Geschwindigkeit von unter  $0,1 c$  emittiert

Beispiel: Uran-238  $\rightarrow$  Thorium-234 + Alphastrahlung



## Grundlagen Strahlungsarten - Betastrahlung

- $\beta^-$ - und  $\beta^+$ -Zerfall
- Massezahl bleibt unverändert
- Ordnungszahl erhöht sich um eins bei  $\beta^-$
- Ordnungszahl verringert sich um eins bei  $\beta^+$
- wird im elektrischen Feld zum Pluspol abgelenkt
- mittleres Durchdringungsvermögen
- Abschirmung: dünne Metallschicht zusätzlich Schwermetallschicht für Bremsstrahlung
- Reichweite in Luft: wenige m



Unterscheidung in 2 Fälle:

Kerne mit Neutronenüberschuss wandelt sich ein Neutron unter Aussendung eines Elektrons in ein Proton um (Beta-Minus-Zerfall)

Kerne mit Neutronenmangel wandelt sich ein Proton unter Aussendung eines Positrons in ein Neutron (Beta-Plus-Zerfall)

Massezahl bleibt jeweils unverändert

Beta-Minus:

Ordnungszahl + 1

Beta-Plus:

Ordnungszahl - 1

Wird im elektrischen Feld zum Pluspol abgelenkt

Hat ein mittleres Durchdringungsvermögen, welches durch eine dünne (mm) Metallschicht (z.B. Alu) abgeschirmt wird.

Allerdings wird beim abschirmen ein Teil der Energie in Röntgenstrahlung umgewandelt, die so genannte Bremsstrahlung. Deshalb sollte hinter der dünnen Metallschicht eine zweite Schicht aus Schwermetall liegen, die die Bremsstrahlung abschirmt.

Die Reichweite in Luft beträgt nur wenige Meter

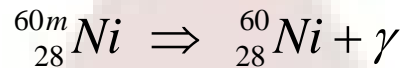
Beispiele:

Beta-Minus: Kohlenstoff  $\rightarrow$  Stickstoff + Elektron

Beta-Plus: Stickstoff  $\rightarrow$  Kohlenstoff + Positron

## Grundlagen Strahlungsarten - Gammastrahlung

- hochfrequente elektromagnetische Strahlung
- keine Veränderung der Massen- und Ordnungszahl
- Zustandsänderung im Atomkern → kein Zerfall
- wird im elektr. und im magn. Feld nicht abgelenkt
- hohes Durchdringungsvermögen
- Schutz:
  - Abschirmung: meterdicke Beton- oder Bleiplatten
  - Abstand: Verringerung der Strahlenintensität
  - Zeit: Verringerung der Strahlendosis



der Atomkern gibt durch Emission hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (Gamma-Strahlung) Energie ab. → nicht wie bei Alpha und Beta-Strahlung Teilchenstrahlung

Die Emission von Gammastrahlung verändert die chemischen Eigenschaften des Elementes nicht (Massen und Ordnungszahl).

Die Bezeichnung Zerfall wird zwar angewendet, aber letztlich handelt es sich bei Gammastrahlung um keinen Zerfall, sondern eine Zustandsänderung im Atomkern.

Gammastrahlung wird im elektrischen und im magnetischen Feld nicht angelenkt und besitzt ein hohes Durchdringungsvermögen.

Zum Schutz vor Gammastrahlung werden zur Abschirmung unter Umständen mehrere meterdicke Beton- oder Bleiplatten nötig, denn Gammastrahlung hat in Materie keine bestimmte Reichweite, sondern sie wird nur exponentiell abgeschwächt. Es gibt's daher für jedes Abschirmmaterial eine von der Gammaenergie abhängige Halbwertsdicke.

Wie bei jeder anderen elektromagn. Strahlung ist die Intensität der Gammastrahlung proportional zum Quadrat des Abstands von der Quelle → Doppelter Abstand = Verringerung der Intensität auf  $\frac{1}{4}$ . Dazu kommt der dritte Schutzfaktor – die Aufenthaltszeit. Je kürzer man sich der Strahlungsquelle aussetzt, desto geringer ist die Strahlendosis die man aufnimmt.

Beispiel: Nickel → Nickel (Zustandsänderung im Atomkern) + Gammastrahlung

## Grundlagen Strahlungsarten - Neutronenstrahlung

- Neutronen sind elektrisch neutral
- hohe Durchdringungskraft (wie Gammastrahlung)
- entsteht selten durch natürlichen Zerfall
- im Kernreaktor werden Neutronen freigesetzt
- weitere starke Quelle: Neutronenbomben

Neutronen sind elektrisch neutral, besitzen daher eine hohe Durchdringungskraft, ähnlich wie die der Gammastrahlung.

Neutronenstrahlung entsteht selten durch natürlichen Zerfall, man stellt sie künstlich her  
(Beispiele: Im Kernreaktor werden bei der Kernspaltung Neutronen freigesetzt)

Eine weitere starke Quelle sind Neutronenbomben. Sie sollen mit Hilfe von Neutronenstrahlung Lebewesen töten, Gebäude und Gerätschaften bleiben unbeschädigt (was die Schädlichkeit der Strahlung auf lebendes Gewebe verdeutlicht)

# Grundlagen

## Auswirkung auf lebende Organismen

radioaktive Strahlung kann...

... die Verbindung zwischen Atomen der Moleküle zerstören

... den Aufbau der Atome selbst verändern

### 2 Arten von Schäden

- **somatische Schäden** (treten beim Bestrahlten selbst auf)
  - Verbrennungen
  - Krebs aller Arten
  - Leukämie
  - Veränderung des Blutes
  - Strahlenkrankheit / Strahlentod
- **genetische Schäden** (treten bei den Nachkommen auf)
  - Veränderung der Chromosomen in den Zellkernen
    - Allergien
    - Epilepsie
    - Herzkrankheiten
    - Schwachsinn
    - Muskelschwäche
    - uvm.

Radioaktivität kann die Verbindungen zwischen den Atomen der Moleküle zerstören, aus denen die Zellen bestehen und sie kann den Aufbau der Atome selbst verändern.

Es gibt 2 Arten von Schäden:

#### **somatische Schäden:**

Somatische Schäden treten beim Bestrahlten selbst auf. Zu den somatischen Schäden zählen Verbrennungen, Krebs aller Arten, Leukämie, die Veränderung des Blutes aber auch die Strahlenkrankheit und der Strahlentod. Zu den Auswirkungen zählen Erbrechen, Schwindel, Fieber, Flecken am Körper, Haarausfall uvm.

Der genaue Mechanismus der Entstehung dieser Krankheiten ist bis heute jedoch noch unbekannt.

#### **genetische Schäden:**

Genetische Schäden kommen durch Veränderungen der Chromosomen in den Zellkernen zustande. Dies führt zu genetischen Mutationen.

Krankheiten die durch genetische Schäden verursacht werden können sind Allergien, Epilepsie, Herzkrankheiten uvm.

Auf Bilder habe ich an dieser Stelle aus ästhetischen Gründen verzichtet.

# Grundlagen

## Auswirkung auf lebende Organismen

Auflistung der zu erwartenden Wirkungen hoher Strahlendosen

0,0 - 0,5 Sv	geringe Blutbildveränderungen
0,8 - 1,2 Sv	bei 5-10% der Exponierten ein Tag lang Erbrechen und Müdigkeit
1,3 - 1,7 Sv	bei 25% der Exponierten etwa ein Tag lang Erbrechen, gefolgt von Strahlenkrankheit
1,8 - 2,6 Sv	bei 25% der Bestrahlten etwa ein Tag lang Erbrechen, gefolgt von Strahlenkrankheit, einzelne Todesfälle
2,7 - 3,3 Sv	bei fast allen Bestrahlten Erbrechen, etwa 20% Todesfälle innerhalb 2-6 Wochen, 3 Monate Rekonvaleszenz der Überlebenden
4,0 - 5,0 Sv	bei allen Bestrahlten Erbrechen, 50% Todesfälle innerhalb eines Monats, 6 Monate Rekonvaleszenz der Überlebenden
5,5 - 7,7 Sv	bei allen Bestrahlten Erbrechen innerhalb 4 Stunden, bis zu 100% Todesfälle, über 6 Monate Rekonvaleszenz
10 Sv	bei allen Bestrahlten Erbrechen innerhalb 1-2 Stunden, wahrscheinlich keine Überlebende
50 Sv	augenblicklich schwerste Krankheit. Tod aller bestrahlter innerhalb einer Woche

# Messverfahren



## Messverfahren Ionisationskammer

- **Strahlungsdetektor zur Messung von Gammastrahlen**
- **Stromkammern zur Messung von Ionisationsströmen**
- **Integrationskammern zur Messung von elektr. Ladungsmengen**
- **Impulskammern zur Messung von Einzelimpulsen**
- **Messung der**
  - **Ortsdosisleistung** zur Messung an Personen
  - **Energiedosisleistung** zur Überwachung der Energiedosis nach schweren Störfällen oder Unfällen in kerntechnischen Anlagen
- **Messgröße und -bereich:**
  - **Ortsdosisleistung:**  
( $1 \cdot 10^{-7}$  ...  $1 \cdot 10^2$ ) Sv/h
  - **Energiedosisleistung:**  
( $1 \cdot 10^{-4}$  ...  $1 \cdot 10^5$ ) Gy/h

Die Ionisationskammer ist ein Strahlungsdetektor der hauptsächlich bei der Messung des Strahlungsfeldes eingesetzt wird, das von Gammastrahlung verursacht wird.

Es können mittlere Ionisationsströme (Stromkammern), elektrische Ladungsmengen (Integrationskammern) oder Einzelimpulse (Impulskammern) gemessen werden.

Anwendung:

- Personenüberwachung (Ortsdosisleistung)
- zur Überwachung der Energiedosis nach schweren Störfällen oder Unfällen in kerntechnischen Anlagen

Messgröße und Messbereich:

- Ortsdosisleistung: ( $1 \cdot 10^{-7}$  ...  $1 \cdot 10^2$ ) Sv/h (Sievert)
- Energiedosisleistung: ( $1 \cdot 10^{-4}$  ...  $1 \cdot 10^5$ ) Gy/h (Gray)

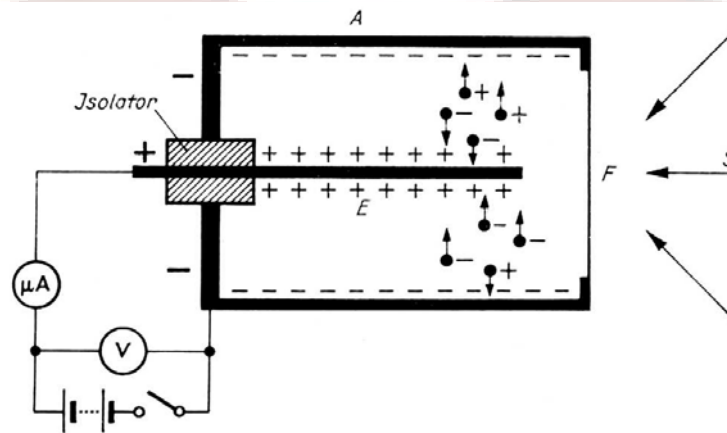
## Messverfahren Ionisationskammer



Hauptsächlich zum Ausmessen von Strahlungsfeldern in der Umgebung von radioaktiven Quellen



## Messverfahren Ionisationskammer



Prinzip der Ionisationskammer.

*F* Eintrittsfenster;                      *A* Abschirmung;  
*E* Innenelektrode;                      kV Spannungsmesser;  
*I* Isolator;                                      A Strommesser

### Aufbau:

Die Ionisationskammer besteht grundsätzlich aus einer Kammer in der sich ein Kondensator zur Erzeugung eines elektrischen Feldes befindet. In der Mitte bzw. auf der Achse des Zylinders befindet sich die Sammelanode. Zwischen Anode und Katode befindet sich ein Zählgas, das die eigentlichen Ladungsträger beim Einfall von Strahlung erzeugt.

### Wirkungsweise:

An der Ionisationskammer liegt zwischen Anode und Katode eine Hochspannung, die ein elektrisches Feld erzeugt. Tritt Gammastrahlung ein kommt es zu Wechselwirkungen mit dem Füllgas. Dabei wird dieses Gas ionisiert, d.h. es werden Elektronen vollständig aus der Atomhülle herausgelöst. Die angelegte Hochspannung sorgt dafür, dass diese Elektronen die Sammelanode erreichen.

Mit diesem Detektor kann man die absorbierte Strahlenenergiedosis oder die pro Zeiteinheit absorbierte Strahlenenergiedosisleistung messen.

## Messverfahren Auslösezählrohr (Geiger-Müller-Zählrohr)

- zeigt mögliche radioaktive Strahlung an
  - kein Rückschluss auf die Strahlungsart
- reiner Impulszähler (Aktivitätsmessung)
  - wird in Sättigung betrieben, d.h. die Saugspannung ist so groß, dass unabhängig von der Energie des anfänglichen Ereignisses der gemessene Strompuls immer die gleiche Höhe hat
  - wegen Unabhängigkeit der Impulshöhe
    - kann nur erkennen, dass ein Photon eingefallen ist, nicht jedoch dessen Energie messen
- Einschränkung
  - 0,1 ms nach Auslösung unempfindlich für weitere Impulse
    - Totzeit

Der Geigerzähler zeigt eine mögliche radioaktive Strahlung an, es ist jedoch kein Rückschluss auf die Strahlungsart möglich.

Sie können lediglich als reine Impulszähler verwendet werden. (Aktivitätsmessung)

Das GM-Zählrohr wird in Sättigung betrieben, d.h. die Saugspannung ist so groß, dass unabhängig von der Energie des anfänglichen Ereignisses der gemessene Strompuls immer die gleiche Höhe hat

Wegen der Unabhängigkeit der Impulshöhe können GM-Zählrohre nicht zur Messung der Strahlungsenergie verwendet werden.

### **Einschränkung:**

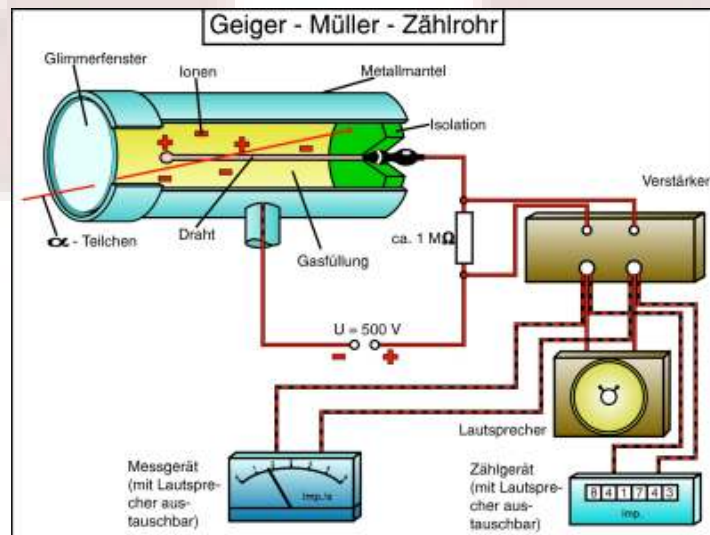
Unmittelbar nach dem Auslösen einer Gasentladung ist das Zählrohr für eine kurze Zeit (ca. 0,1 Millisekunden) nicht empfänglich für weitere Impulse, was als "**Totzeit**" bezeichnet wird. Der Grund hierfür liegt darin, dass die nach der Ionisation positiv geladenen Gasatome das elektrische Feld von der Anode abschirmen. Erst wenn die Ionenwolke zur Kathode gewandert ist, um sich dort zu entladen, und wenn die Gasentladung mittels spezieller Zusätze (z. B. Halogene) gelöscht ist, kann der Prozess erneut ausgelöst werden. Weiterhin erfassen einfache Geigerzähler nur die Anzahl der registrierten Impulse, sprich die Aktivität, was keinen Rückschluss auf die Strahlungsart erlaubt.

## Messverfahren Auslösezählrohr (Geiger-Müller-Zählrohr)



Anwendung:  
Messen der Aktivität von ionisierender Strahlung

## Messverfahren Auslösezählrohr (Geiger-Müller-Zählrohr)



Der Hauptbestandteil des Geigerzählers ist ein Metallrohr, das die Kathode (-) bildet, und in dessen Mitte sich ein Draht befindet, der als Anode (+) dient. Am vorderen Ende befindet sich ein strahlendurchlässiges Fenster (z. B. aus Glimmer), während im hinteren Teil ein Isolator steckt, der auch die Anode hält und sie von der Kathode isoliert. Im Innern befindet sich ein Edelgas (bildet keine negativen Ionen, z. B. Argon) mit geringem Druck (um 100 hPa absolut). Zwischen Anode und Kathode liegt eine Gleichspannung von mehreren hundert Volt an.

### Funktion:

Tritt ionisierende Strahlung ein, so trennt diese auf ihrer Flugbahn Hüllenelektronen des Edelgases von ihren Atomkernen. Die Elektronen werden in Richtung Anode beschleunigt und kollidieren dabei mit weiteren Gasatomen, die so ebenfalls ionisiert werden (Stoßionisation, Gasentladung). Die so lawinenartig freigesetzten Elektronen ermöglichen nun einen Stromfluss zwischen Anode und Kathode, der in ein Spannungssignal umgewandelt wird. Dieses Signal wird dann elektronisch verstärkt und entweder als akustisches (Knacken, Piepston) oder optisches Signal (Blinken eines Lämpchens) angezeigt.

## Messverfahren Proportionalzählrohr

- für Impulszählung und Energiemessung
  - Vorteil gegenüber dem GM-Zählrohr (nur zur Impulszählung)
- Aufbau und Funktion nahezu identisch zu GM-Zähler
- Unterschied zwischen GM- und Proportionalzählrohr
  - GM-Zählrohr: Betrieb bei hoher Spannung
  - Proportionalzählrohr: Betrieb bei niedriger Spannung
  - kann feststellen, dass ein Photon eingefallen ist und wie viel Energie es hat
- Nachteil:
  - bei niederenergetischen Photonen oder Teilchenstrahlung
    - auf Grund der Proportionalität ist die Höhe des Strompulses sehr klein und daher schlecht zu messen

Proportionalzählrohre sind für Impulszählungen und Energiemessungen geeignet.

Aufbau und Funktion sind im Prinzip identisch zum Geiger-Müller-Zählrohr, es handelt sich also um eine mit Gas gefüllte Kammer, in der die Strahlung durch Ionisation Ladungsträger erzeugt, die durch eine elektrische Spannung abgesaugt werden. Aus messtechnischen Gründen ist diese Speisespannung so hoch, dass die erzeugten Ladungsträger genügend Energie gewinnen um ihrerseits weitere Atome zu ionisieren. Es kommt zu einer Ladungslawine und an den Elektroden kommt genügend Ladung an, um als Strompuls gemessen zu werden.

Der Proportionalzähler wird bei niedrigerer Spannung betrieben. Deshalb hängt die Anzahl der erzeugten Ladungsträger und somit die Höhe des gemessenen Strompulses von der Energie der Strahlung ab, sie ist proportional dazu.

Dieser Vorteil des Proportionalzählrohres wird zu einem Nachteil, wenn relativ niederenergetische Photonen oder Teilchenstrahlung (also Alpha- und Betastrahlung) detektiert werden sollen, da aufgrund der Proportionalität die Höhe des Strompulses klein wird und schlechter zu messen ist. Für solche Fälle ist man also weiterhin auf das GM-Zählrohr angewiesen, oder man verwendet gänzlich andere Systeme, wie z.B. Halbleiterdetektoren oder Szintillationszähler.

## Messverfahren Proportionalzählrohr



Linkes Bild:

Gerät zur Kontaminationsüberwachung von Personen und Arbeitsplätzen

Rechtes Bild:

Hand-Fuß-Kleider-Monitor zur Überwachung von Personen

## Messverfahren Szintillationszähler

- Messung aller Strahlungsarten
- Szintillationen = Fluoreszenzlichtblitze
- gehören zu den empfindlichsten und am häufigsten verwendeten Strahlungsdetektoren
- ermöglicht die verlustlose Registrierung von Impulsraten bis zu  $10^{-7} \text{ s}^{-1}$   
→ wesentlich „schneller“ als Zählrohre (0,1 ms)
- Hauptvorteil: Nachweiseffektivität
  - Teilchenstrahlung:  $\approx 100\%$
  - Gamma- und Röntgenstrahlung:  $> 50\%$

Durch Wechseln des Szintillators kann jede Strahlungsart gemessen werden.

Durch Anregung von Atomen oder Molekülen fester und flüssiger Körper emittierte Fluoreszenzlichtblitze (Szintillationen)

Szintillationszähler gehören zu den empfindlichsten und wichtigsten kernphysikalischen Messgeräten

Der Szintillationszähler ermöglicht die verlustlose Registrierung von Impulsraten von bis zu  $10^{-7} \text{ s}^{-1}$  → wesentlich „schneller“ als Zählrohre (0,1 ms)

Der Hauptvorteil eines Szintillationszählers gegenüber Zählrohren und Ionisationskammern liegt in der Nachweiseffektivität. Für geladene Teilchen beträgt diese nahezu 100%. Für Gamma- und Röntgenstrahlung beträgt diese 50% und mehr.

## Messverfahren Szintillationszähler



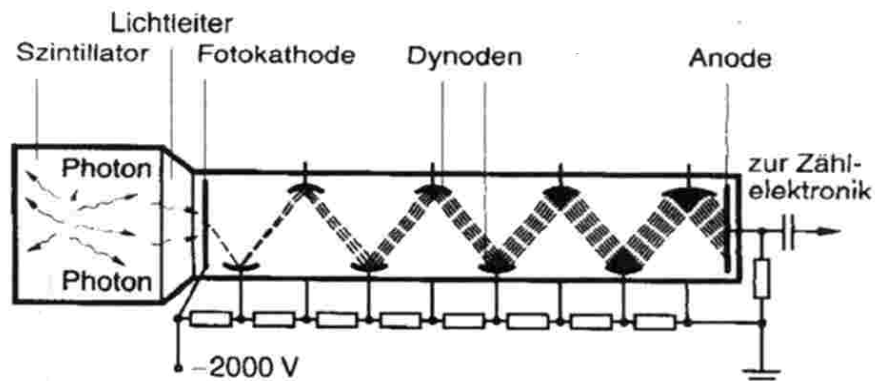
**thw.**  
Fachhochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin  
University of Applied Sciences

Einsatzgebiete:

- Messgerät für die Baubiologie (Messung in Baustoffen, geologische Anomalien)
- Frachtgutkontrolle
- Zoll, usw.
- medizinische Messungen (Aktivitätsbestimmung in Injektionsspritzen)



## Messverfahren Szintillationszähler



Im Kopf des Messgerätes befindet sich ein nach den Seiten gegen Licht geschützter Szintillator, in dem beim Eintreffen eines Gamma-Quants ein Lichtblitz ausgelöst wird. Dieser sehr schwache Lichtblitz löst in einer dahinter liegenden Fotokathode Elektronen aus (Fotoeffekt). Diese Elektronen werden durch mehrere Dynoden im Verstärker lawinenartig verstärkt. An der Anode kann dann ein gut messbarer Stromimpuls abgenommen werden. Trifft ein Elektron (Betastrahlung) auf den Szintillator, so kann dieses durch verschiedene Prozesse in Lichtquanten umgewandelt werden (Bremsstrahlung usw.), die ebenfalls detektiert werden können. Bei besonders kompakten Szintillationszählern kann anstelle des Verstärkers auch eine empfindliche Fotodiode eingesetzt werden.

Für das transparente Szintillationsmaterial kommen sowohl anorganische Salze als auch organische Kunststoffe in Frage, die bei Anregung mit ionisierender Strahlung fluoreszenzfähig sind. Anorganische Substanzen haben dabei den Vorteil, dass man mit ihnen eine höhere Dichte erzielen kann, was die Absorptionfähigkeit von Gammastrahlung und damit die Empfindlichkeit des Zählers verbessert.

## Messverfahren Halbleiterdetektor

- Strahlungs- und Teilchendetektor
  - Messung aller Arten ionisierender Strahlung
- Funktionsweise ähnlich denen der Ionisationskammer
- HL-Detektor = Festkörperionisationskammer
- Vorteile:
  - wesentlich kleiner
  - geringere statistische Schwankungen
  - Energieproportionalität
  - beste Energieauflösung aller Strahlungsdetektoren
- Nachteile:
  - Nulleffekt

Ein Halbleiterdetektor ist ein Strahlungs- oder Teilchendetektor, der sich spezielle elektrische Eigenschaften von Halbleitern zu Nutze macht.

HL-Detektoren dienen der Messung aller Arten ionisierender Strahlung. Große Bedeutung besitzen sie bei Aufgaben der nuklearmedizinischen Diagnose

Die prinzipielle Wirkungsweise von HL-Detektoren ähnelt der von gasgefüllten Ionisationskammern. Das Füllgas wird durch einen Kristall geringer elektrischer Leitfähigkeit ersetzt. Man bezeichnet HL-Detektoren oft auch als Festkörperionisationskammern.

### **Vorteile gegenüber Ionisationskammern:**

- Wegen der weitaus höheren Dichte des Detektormaterials sind wesentlich kleinere Detektorgrößen möglich
- Die geringe Ionisierungsenergie führt zu einer großen Zahl erzeugter Ladungsträger und damit zu geringeren statistischen Schwankungen
- Die Höhe der Ausgangsimpulse eines HL-Detektors ist der absorbierten Energie proportional und hängt nicht von der Teilchenart ab (Energieproportionalität)
- Die Energieauflösung von HL-Detektoren übertrifft die aller anderen Strahlungsdetektoren

### **Nachteile gegenüber Ionisationskammern:**

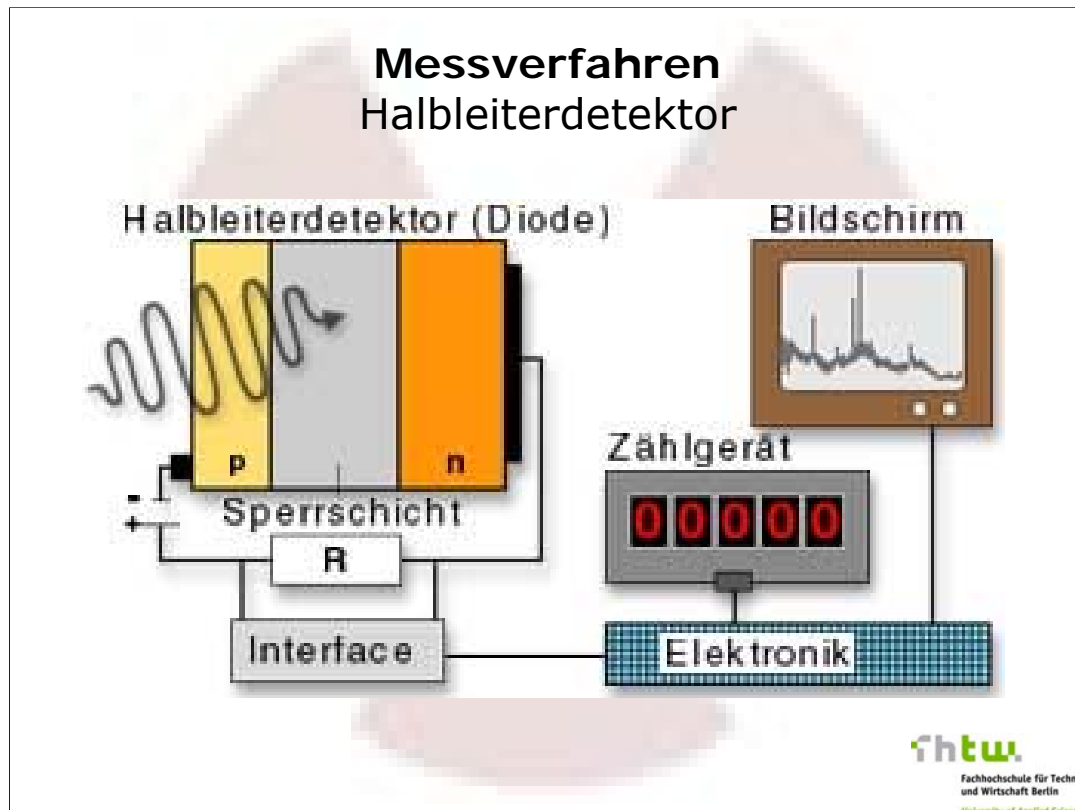
- Infolge des kleinen Detektorvolumens registrieren HL-Detektoren nur einen verschwindend kleinen Bruchteil der auftreffenden Strahlung aus der Umgebung.

## Messverfahren Halbleiterdetektor



Mit diesem Messsystem kann anhand der Energie der emittierten Gamma- oder Röntgenquanten das Isotop und die Aktivität im Probengut (Nahrungsmittel, Wasser) bestimmt werden.

## Messverfahren Halbleiterdetektor



Der Halbleiterdetektor besteht im Prinzip aus einer Halbleiterdiode, die in Sperrrichtung betrieben wird. Dringt ein Gammaquant in die Sperrschicht, werden in ihr Elektronen-Loch-Paare erzeugt. Bei Silizium beträgt die Energie dafür 3,23 eV, bei Germanium 2,84 eV.

Der dadurch hervorgerufene geringe Strom in Sperrrichtung führt an einem Arbeitswiderstand zu einem Spannungsabfall, der sich elektronisch weiter verarbeiten lässt.

Jedes Gammaquant erzeugt einen Spannungsimpuls, der gezählt werden kann. Die Amplitude des Spannungsimpulses ist proportional zur Energie, die das Quant an das Halbleitermaterial abgegeben hat. Wird die gesamte Energie eines Gammaquants im Halbleitermaterial aufgezehrt, ist die Höhe des Spannungsimpulses der Energie des Quants proportional. Zur Unterscheidung der Energie der Gammaquanten müssen also die Spannungsimpulse nach ihrer Höhe "elektronisch sortiert" werden. Das geschieht mithilfe eines Computers.

Damit in Halbleiterdetektoren durch die Umgebungswärme nicht unkontrolliert Elektronen-Loch-Paare entstehen, muss der Kristall mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden. Zur Herabsetzung der natürlichen Umgebungsstrahlung wird außerdem eine 5 cm dicke Bleiabschirmung eingesetzt. Halbleiterdetektoren, mit denen Alpha- und Betaeilchen nachgewiesen werden sollen, müssen eine Sperrschicht dicht unter der Oberfläche des Kristalls besitzen.

## Messverfahren Photografische Emulsion

- fotografische Emulsionen werden durch ionisierende Strahlung geschwärzt
- Messung von Alpha-, Beta-, Neutronenstrahlung
- Empfindlichkeitssteigerung durch
  - höheren Gehalt an Silberhalogenid
  - doppelseitig beschichtete Filme
  - Verstärkerfolien
- zur permanenten Strahlungsmessung geeignet
- Anwendung
  - Autoradiografie
  - zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Photografische Emulsionen werden nicht nur durch sichtbares Licht, sondern auch durch ionisierende Strahlung geschwärzt. Diese Eigenschaft fotografischer Schichten führte 1896 zur Entdeckung der Radioaktivität durch Becquerel.

Photografische Emulsionen dienen zur Messung von Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung. Zur Messung von Gammastrahlung sind sie jedoch ungeeignet, wegen der hohen Durchdringungskraft von Gammastrahlen.

Wegen des großen Durchdringungsvermögens energiereicher Teilchen besitzen gewöhnliche fotografische Filme nur eine sehr geringe Empfindlichkeit für ionisierende Strahlung. Daher werden Spezialemulsionen mit einem höheren Gehalt an Silberhalogenid entwickelt. Eine weitere Empfindlichkeitssteigerung ist mit doppelseitig beschichteten Filmen erreichbar. Außerdem werden oft dicht am Film anliegende Verstärkerfolien verwendet, welche die fotografische Wirkung der nachzuweisenden Strahlung durch Emission von Lumineszenzlicht oder Sekundärelektronen verstärken. Damit bewirkt man zugleich eine Steigerung des Kontrastes. Zum fotografischen Nachweis von Neutronen werden den Emulsionen Lithium- oder Borverbindungen zugesetzt.

Im Gegensatz zu anderen Strahlungsdetektoren sind fotografische Emulsionen permanent zum Strahlungsnachweis geeignet. Die Wirkung einfallender Strahlung kann daher mühelos über lange Zeiträume gemessen werden.

Anwendung finden fotografische Emulsionen in der Autoradiografie (Untersuchung von radioaktiv markierten Gewebeschnitten, Analyse von Festkörperoberflächen) und in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.

## Messverfahren Photografische Emulsion



Wird eine fotografische Emulsion längere Zeit in engen Kontakt mit einer Probe gebracht, die radioaktive Nuklide enthält, so entsteht nach der Entwicklung ein Schwärzungsbild, das die Häufigkeit und die Verteilung der radioaktiven Atome widerspiegelt.

Autoradiogramm eines mit Tritium markierten Blatts mit einem Pixeldetektor.

Das Filmdosimeter wird zur Bestimmung der Ganzkörperdosis eingesetzt.

## Messverfahren Festkörperspurdetektor

- Registrierung von Teilchen die ausreichend Schaden verursachen  
→ unempfindlich gegenüber Photonen- und Elektronenstrahlung
- Messung
  - der Energiedosis
  - von Elementarverteilungen
  - der Konzentrationsbestimmung
- Nachweis bestimmter Elemente in
  - Metallen
  - Halbleitern
  - Mineralen
  - biologischem Material

Schwere geladene Teilchen erzeugen in dielektrischen Festkörpern (Kristalle, Gläser, usw.) entlang ihrer Bahnen Bereiche strahlengeschädigten Materials. Durch chemische Ätzmittel werden diese latenten Spuren stärker angegriffen als die nicht strahlengeschädigte Umgebung, sodass mikroskopisch sichtbare Ätzgruben entstehen.

Es werden nur solche Teilchen registriert, die eine ausreichende Schädigung verursachen. Die Auswertung der angeätzten Detektoren erfolgt im einfachsten Fall durch visuelles Auszählen oder automatisch mit Hilfe eines Bildanalysegerätes.

Festkörperspurdetektoren werden zur Bestimmung der Energiedosis, zur Abbildung von Elementarverteilungen und zur Konzentrationsbestimmung eingesetzt.

Dazu werden die Festkörperspurdetektoren in engen Kontakt mit dünnen Schichten des Probenmaterials gebracht.

Damit gelingt ein Nachweis bestimmter Elemente in Metallen, Halbleitern, Mineralen und biologischem Material.

## Messverfahren Thermolumineszenzdetektor

- Misst Beta-, Röntgen- und Gammastrahlung
- Anregung mit ionisierender Strahlung + Erwärmung des Detektormaterials = Lumineszenzlicht
- sehr geringe Abmessungen
- Messbereich von ( $10^{-5}$  ...  $10^3$ ) Gy
- Anwendung:
  - Personendosimetrie im Strahlenschutz
  - klinische Dosimetrie bei Strahlentherapie
  - Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen

Dienen dem Nachweis von Beta-, Röntgen- und Gammastrahlung.

Thermolumineszenzdetektoren beruhen auf der Eigenschaft einiger mit Fremdatomen dotierter anorganischer Stoffe (Speicherphosphor), nach Anregung mit ionisierender Strahlung bei Erwärmung Licht auszusenden.

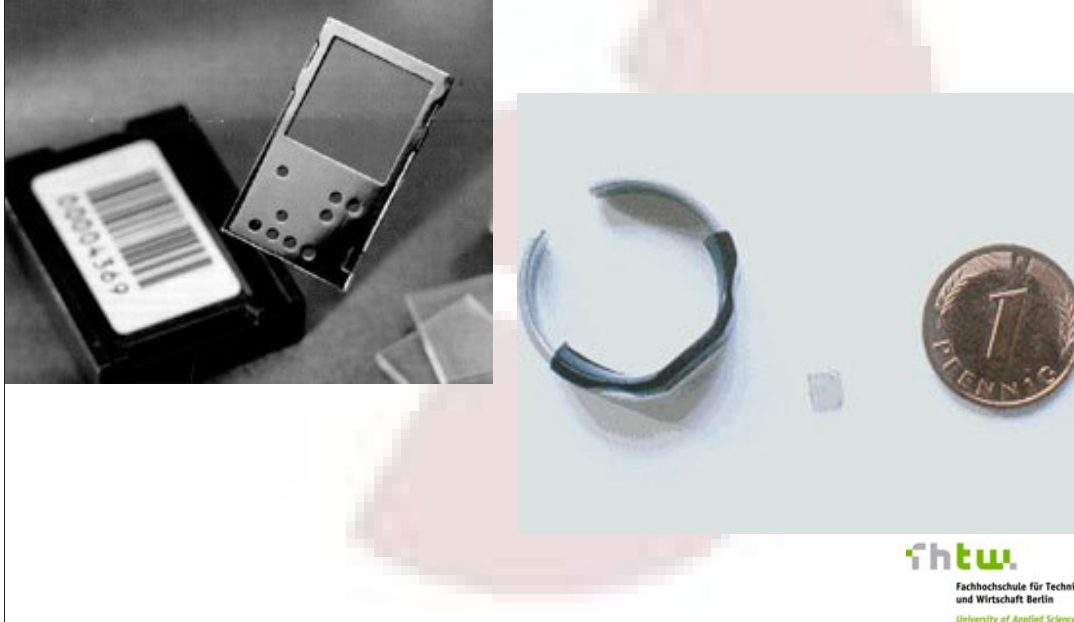
Bei Anregung eines Speicherphosphors mit ionisierender Strahlung bilden sich im Festkörper freie Elektronen, die sich an Haftstellen anlagern und bei Zimmertemperatur in diesen verbleiben. Bei Erwärmung werden die Elektronen von den Haftstellen abgelöst und erzeugen Lumineszenzlicht.

Thermolumineszenzdetektoren haben sehr geringe Abmessungen und besitzen einen ausgedehnten Messbereich von ( $10^{-5}$ ... $10^3$ ) Gray.

Die Hauptanwendungsgebiete sind die Personendosimetrie im Strahlenschutz, die klinische Dosimetrie bei der Strahlentherapie und die Umgebungsüberwachung kerntechnischer Anlagen.



## Messverfahren Thermolumineszenzdetektor



### Linkes Bild:

Mit diesem amtlichen Dosimeter wird die Ganzkörperdosis ermittelt, das sich gegenüber anderen Messsystemen durch eine hohe Messgenauigkeit auch bei kleinen Dosen auszeichnet.

### Rechtes Bild:

Dieses Messsystem zeichnet sich durch sein geringes Detektorvolumen und große Empfindlichkeit aus und wird als amtliches Dosimeter zur Ermittlung der Teilkörperdosis (Fingerringdosimeter u.a.) eingesetzt.

## Quellen

- Radioaktivität, Werner Stolz (Hanser-Verlag 1990)
- [de.wikipedia.org](http://de.wikipedia.org)
- [www.uni-heidelberg.de](http://www.uni-heidelberg.de)
- [www.physik.uni-mainz.de](http://www.physik.uni-mainz.de)
- [www.uni-tuebingen.de](http://www.uni-tuebingen.de)
- [www.uni-halle.de](http://www.uni-halle.de)
- [www.iac.ethz.ch](http://www.iac.ethz.ch)

**Gibt's noch Fragen?**

