

Nachweis ionisierender Strahlung

B. Kopka

Labor für Radioisotope
der Georg-August-Universität Göttingen

1. Arten ionisierender Strahlung
2. Nachweis von Strahlung mit Gasionisationsdetektoren
 - 2.1. Die Ionisationskammer
 - 2.2. Der Proportionalzähler
 - 2.3. Das Auslösezählrohr
3. Messung ionisierender Strahlung mit Szintillatoren
 - 3.1. Anorganische Einkristallszintillatoren
 - 3.2. Feste organische Szintillatoren
 - 3.3. Flüssigszintillatoren
 - 3.4. Plastiksintillatoren
 - 3.5. Thermolumineszenzdetektoren (TL-Detektoren)
4. Halbleiterdetektoren
5. Fotografische Methoden
6. Phosphor-Imaging

1. Arten ionisierender Strahlung

Die bekanntesten und für uns wichtigsten Arten ionisierender Strahlung sind α , β und γ -Strahlung.

1.1. α -Strahlung:

Zu große Atomkerne verringern die Zahl ihrer Bausteine durch Aussendung von Paketen aus je zwei Protonen und zwei Neutronen. Diese mit ihrer zweifach positiven Ladung vom Restkern abgestrahlten Heliumkerne werden als Alpha-Teilchen bezeichnet (siehe Abbildung 1). Zu den Alpha-Strahlen gehören die in der Natur vorkommenden Uran- und Thoriumkerne. Die Reichweite abgestrahlter Alpha-Teilchen beträgt in Luft nur wenige Zentimeter und in Gewebe oder anderen kompakten Materialien nur weniger als ein Zehntel Millimeter.

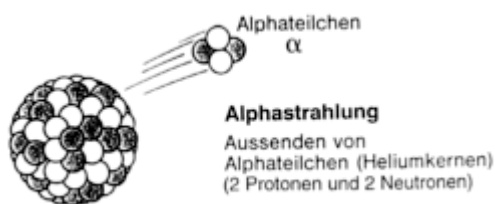


Abb.1: Alphastrahlung

1.2. β - Strahlung:

Kerne mit einer zu großen Neutronenzahl im Verhältnis zur Protonenzahl wandeln sich in eine stabilere Konfiguration durch Aussenden eines negativ geladenen Elektrons und eines Antineutrinos um. Dabei entsteht ein Proton (siehe Abbildung 2). Das mit einem Teil der Umwandlungsenergie versehene schnelle Elektron wird als Beta-Teilchen bezeichnet. Beta-Teilchen haben als schnelle, energiereiche Elektronen ähnliche Wechselwirkungsarten wie die Alpha-Strahlung, nur ist ihre Reichweite in Materie wesentlich größer als die der Alpha-Teilchen: Je nach Energie bis zu einigen Millimeter im Gewebe.

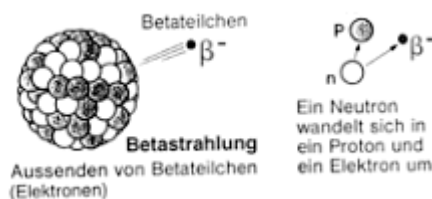


Abb.2: Betastrahlung

Ebenso wie eine zu große Neutronenzahl, führt auch eine zu große Protonenzahl zur Instabilität im Kern. Das führt in der Regel zur Aussendung eines positiv geladenen Beta Teilchens, eines Positrons und eines Neutrinos. Die Positronen haben gleiche Wechselwirkungen mit Materie, wie die Elektronen und auch die gleichen Reichweiten und werden somit genauso detektiert.

1.3. γ -Strahlung:

Die Abgabe von Gamma-Strahlung kann man als Energieabgabe eines Atomkerns aus einem angeregten Zustand, z. B. nach Abgabe eines Teilchens, ansehen. Damit kommt der Atomkern in den stabilen Grundzustand. Gamma-Strahlung basiert auf elektromagnetischen Wellen, ist also ladungsfrei. Der Effekt auf Materie ist hauptsächlich die Ionisation von Atomen oder Molekülen durch das Herausschlagen eines Elektrons aus der Atomhülle. Die Reichweite der Gamma-Strahlung ist theoretisch unendlich.

Röntgenstrahlung ist von der Art her Gamma-Strahlung, die nur anders erzeugt wird. Aber sie verhält sich physikalisch genauso, wie diese.

Jede Nachweismethode basiert im wesentlichen auf der Eigenschaft von Strahlung zu ionisieren bzw. Elektronenzustände anzuregen.

Als Folge einer Ionisation entstehenden freie Ladungen, die entweder direkt über den elektrischen Strom, oder durch eine sekundäre Wirkung (z.B. Schwärzung einer Fotoplatte) nachgewiesen werden können.

Für den Nachweis von Strahlung steht eine vielfältige Palette von Detektoren zur Verfügung. Einige typische Anforderung an Detektoren hinsichtlich des Strahlungsnachweises sind:

- Bestimmung einzelner Strahlenarten
- Identifizierung von Radionukliden
- Qualitative und quantitative Analyse von Radionukliden oder Nuklidzusammensetzungen
- Integrale Messung von Strahlung zur Bestimmung von Dosen im Strahlenschutz

2. Nachweis von Strahlung mit Gasionisationsdetektoren

2.1. Die Ionisationskammer

Ein einfacher Nachweis ionisierender Strahlung gelingt mit der Hilfe eines Kondensators:

Die zwischen den Kondensatorplatten im Gasraum ionisierten Teilchen wandern im elektrischen Feld zu den Platten und entladen damit den Kondensator. Anhand der Abnahme der Kondensatorspannung mit der Zeit, kann auf die Ladungsmenge bzw. auf die Energiemenge der Strahlung geschlossen werden.

Ein derart einfacher Detektor, wie ihn Abbildung 3 darstellt, wird beispielsweise im Strahlenschutz verwendet, wenn die Strahlungsdosis über einen längeren Zeitraum (z.B. über einen oder mehrere Tage) summiert werden soll. Eine gängige Bauform ist das sogenannte Stabdosisimeter.

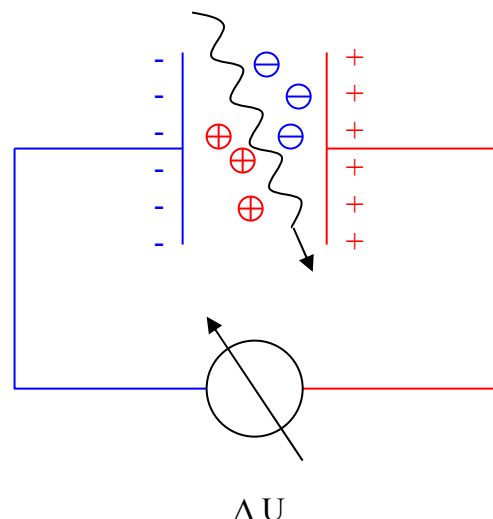


Abb. 3: Einfacher Nachweis ionisierender Strahlung

Statt der Abnahme der Kondensatorspannung mit der Zeit, kann beim Anlegen einer konstanten Spannung jedes einzelne Teilchen als Impuls registriert werden.

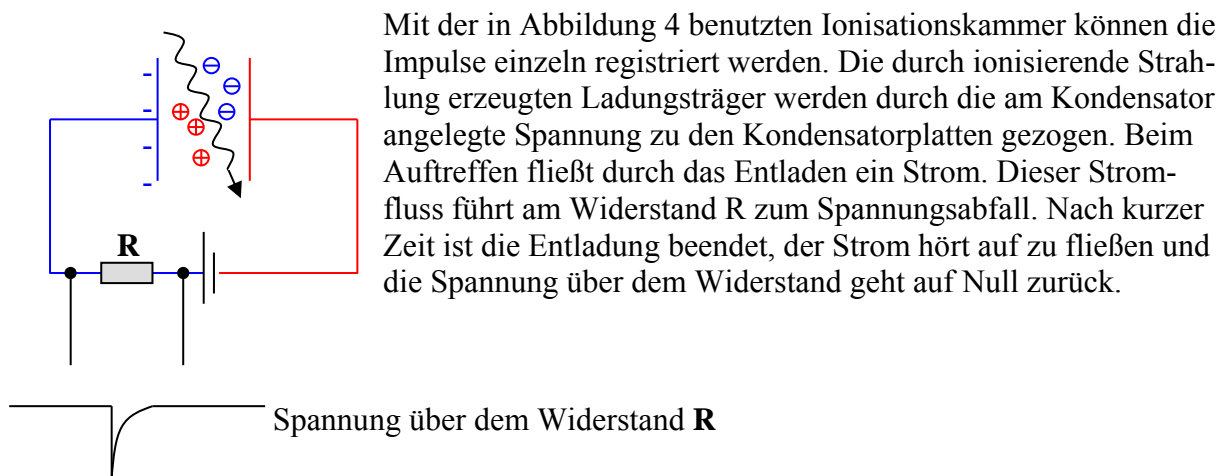


Abb.4: Impulserzeugung mit der Ionisationskammer

2.2. Der Proportionalzähler

Bei der Ionisationskammer ist die angelegte Spannung so bemessen, dass alle erzeugten Ladungsträger zu den Platten abgeführt werden, ohne vorher zu rekombinieren. Die erzeugten elektrischen Impulse sind sehr klein und nur mit sehr aufwendiger Elektronik zu verarbeiten. Wird nun die Spannung am Detektor weiter erhöht, kommt es aufgrund der beschleunigten Ladungsträger zu weiteren Stoßionisationen, deren Folge zusätzliche freie Ladungsträger sind. Für einen bestimmten Spannungsbereich ist die Zahl der erzeugten Ladungsträger proportional zur Energie der eingefallenen Strahlung (der Multiplikationsfaktor bewegt sich hierbei zwischen 10^3 und 10^5). Einen Detektor, der in diesem Spannungsbereich betrieben wird, nennt man Proportionalzähler. Hier sind die elektrischen Impulse ebenfalls um den Faktor 10^3 bis 10^5 größer. Der Proportionalzähler findet große Verbreitung in der Strahlenmesstechnik, z. B. als Kontaminationsmonitor. Zur Verbesserung des Proportionalbereichs kommt als Zählgas im allgemeinen Methan oder ein Argon-Methan-Gemisch zur Anwendung. Die Anforderungen an die Elektronik sind im Vergleich zu den Ionisationskammern niedrig. Proportionalzähler werden je nach Anwendungsgebiet in offener oder geschlossener Form gebaut. Beim geschlossenen Zählrohr muss die Strahlung durch sogenannte Endfenster dringen, die so dünn ausgebildet werden können (ca. $0.3 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$), dass selbst noch Alpha-Strahlung und weiche Beta-Strahlung (z.B. ^{14}C) nachzuweisen ist. Bei den offenen Bauformen wie z.B. dem ^3H Monitor, strömt während des Betriebs das Zählgas aus der Messkammer heraus.

2.2.1. Bestimmung der Strahlenart:

Alpha-Strahler haben in der Regel Energien über 5 MeV, Beta-Strahler maximal 2 MeV. Deswegen unterscheiden sich auch die elektrischen Impulse in der Höhe sehr stark voneinander. Setzt man ein Zählrohr gleichzeitig Alpha- und Beta-Strahlung aus, ändert sich die Zählrate mit der angelegten Hochspannung, wie in Abbildung 3 gezeigt wird. Wichtig für das Verständnis ist, dass die Impulse eine Schwelle überschreiten müssen, um registriert zu werden. Bei ansteigender Spannung und damit auch Verstärkung der Impulse, überschreiten zuerst mehr und mehr Impulse, die durch Alpha-Strahlung ausgelöst wurden die Schwelle, bei der

sie registriert werden. Bei weiterer Spannungserhöhung werden alle von der Alpha-Strahlung ausgehenden Impulse gezählt und damit haben wir das sogenannte α -Plateau erreicht. Bei noch höherer Spannung und damit größerer Verstärkung kommen nun auch durch Beta-Strahlung ausgelöste Impulse über die Diskriminatorschwelle. Auch hier wird ein Plateau erreicht, bei dem alle α - und β -Impulse registriert werden. Bei noch höherer Spannung gibt es Effekte, die ähnlich wie Spannungsüberschläge sind und das Zählrohr zerstören können (Siehe Abbildung 5).

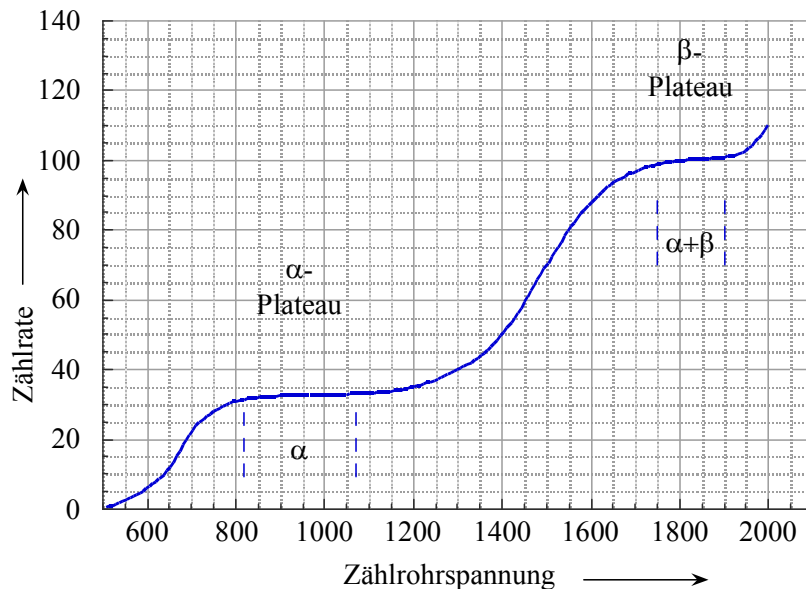


Abb. 5: Charakteristik eines Proportionalzählrohrs mit α - und β -Plateau

2.3. Das Auslösezählrohr

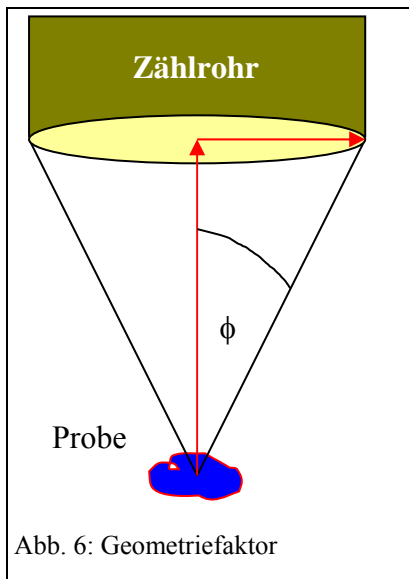
Ein weiterer Typ eines Gasionisationsdetektors ist das [Auslösezählrohr](#) (oder auch Geiger-Müller (GM)-Zählrohr). Hier wird die Spannung soweit erhöht, dass jedes Teilchen, unabhängig der Energie oder seiner Art eine lawinenartige Entladung über das ganze Zählvolumen auslöst, deren Spannungsimpulse ohne großen Aufwand an Elektronik ausgewertet werden können.

Der Nachteil dieser Detektoren ist eine relativ schlechte zeitliche Auflösung, was das Messen von Zerfallsraten jenseits 3000/s – 5000/s nicht mehr erlaubt. Die Entladung hört in diesem Zählrohrtyp durch fortwährende neue Stoßionisation nicht mehr von allein auf. Deshalb wird dem Zählgas ein sogenanntes Löschgaz hinzugefügt, was im einfachsten Fall reiner Alkohol ist. Dieser dissoziiert und schwächt einerseits das elektrische Feld ab, andererseits die Energie der entstehenden Gammaquanten, dass diese nicht mehr neue Photoelektronen erzeugen können. Die Verstärkungsfaktoren sind in der Regel $> 10^5$. Im Gegensatz zum Proportionalzählrohr hat der Auslösezähler unabhängig von der Strahlenart nur ein Plateau in der Zählrohrcharakteristik. Da sich das Löschgaz beim Nachweis zersetzt, haben selbstlöschende Auslösezählrohre eine begrenzte Lebenszeit (ca. $10^8 - 10^9$ Impulse).

Erhöhung der Nachweiswahrscheinlichkeit

Gasionsdetektoren haben allgemein eine vergleichsweise geringe Nachweisempfindlichkeit gegenüber Gamma-Strahlung (ca. 1%). Um diese zu erhöhen, muss die Ionisationswahrscheinlichkeit erhöht werden. Dies geschieht einerseits über:

- Verwendung eines Zählgases mit höherer Ordnungszahl, weil mit der Ordnungszahl die Wahrscheinlichkeit für Ionisationseffekte ansteigt (z. B. Xenon)
- Verbesserung der Zählgeometrie (Abstand und Raumwinkel, Einbau der radioaktiven Substanz in das Zählvolumen)



Eine optimale Zählgeometrie ergibt sich, wenn der Detektor die zu messende Probe umschließt und damit die gesamte von der Probe ausgesandte Strahlung vom Detektor erfasst wird. Bei dieser sogenannten 4π -Geometrie ist der Geometriefaktor 1. Dieses ist aber nur in den wenigsten Fällen möglich. Zur Anschauung des Geometriefaktors siehe Abbildung 6.

In den Tabellen 1 und 2 sind die Eigenschaften der Gasionszählrohre zusammengefasst dargestellt

Tab. 1: Eigenschaften von unterschiedlichen Gasionszählern

Detektor	Zeitauflösung Max. Zählrate	Energieauflösung Teilchenbestimmung	Pro u. Kontra	Anwendung
Ionisationskammer	0.1 ns	Ja α , β und diverse	+ Messung großer Aktivitäten - Aufwendige Elektronik	Strahlenschutz Umgebungsstrahlung
Proportionalzähler	50 μ s ca. 30 000 /s	Ja α , β , eingeschränkt γ	+ großer Einsatzbereich	Strahlenschutz Low-Level-Bereich
Auslösezählrohr	400-800 μ s ca. 2000 /s	indirekt über Abschwächerfolien	+ Preiswert - Keine Energieauflösung - Geringe Lebensdauer	Nachweis von Radioaktivität

Tab. 2: Detektoren und ihre prinzipielle Eignung für den Einsatz bei Kontaminationsmessungen

Detektor	Fensterfläche und Massenbelegung	Nachweismöglichkeit für				Bevorzugter Anwendungsbereich
		α	β	γ	^3H	
Proportionalzählrohre mit Zählgasversorgung (Methan P-10, Butan) und dünnem Fenster	$\geq 100 \text{ cm}^2$ ca. 0.5 mg cm^{-2}	sehr gut	sehr gut	schlecht	keine	Ganzkörper und Wäschemonitore, ^{14}C -Labor, Messung von ^{63}Ni und diverse α -Strahler nicht ausreichend für ^{125}J
Proportionalzählrohre mit Xenonfüllung und Titan-Fenster	$\geq 100 \text{ cm}^2$ ca. 5 mg cm^{-2}	keine	gut	gut	keine	immer bei ^{125}J , universell außer ^{63}Ni und α -Strahler
Proportionalzählrohre mit Zählgasversorgung, fensterlos	$\geq 100 \text{ cm}^2$ ca. 0.5 mg cm^{-2}	gut	sehr gut	schlecht	sehr gut	Messung von ^3H , aber auch anderer niederenergetischer α - und β -Strahlung, jedoch sehr aufwendig
Auslösezählrohre mit Endfenstern	ca. $10 - 20 \text{ cm}^2$	mittel	mittel	schlecht	keine	Einfaches Kontrollgerät, für Messungen gemäß StrlSchV nur in Ausnahmefällen

Weitere Verbesserungen für die Messung von γ -Strahlung erzielt man mit einer höheren Dichte des Detektormaterials. Diese lässt sich durch die Verwendung von Flüssigkeiten oder Feststoffen als Wechselwirkungspartner erreichen. Derartige Detektoren werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

3. Messung ionisierender Strahlung mit Szintillatoren

Eine weitere Nachweismethode für ionisierende Strahlung ist die Szintillationszählung. Szintillation bedeutet die erzwungene Aussendung von Licht durch ionisierende Strahlung. Bei den Szintillationszählern können vier grundsätzliche Typen unterschieden werden:

- i) Anorganische Einkristalle (NaI(Tl), ZnS(Ag), CsI(Tl))
- ii) Feste organische Szintillatoren (Anthracen, Stilben, Terphenyl)
- iii) Flüssige Szintillatoren (p-Terphenyl, PPO, PBD, POPOP, ...)
- iv) Plastikszintillatoren (Venyltoluol, Styrol mit PPO oder PBD und POPOP)

In der Szintillatorsubstanz wird durch radioaktive Strahlung Fluoreszenzlicht ausgelöst. Die so entstandenen Lichtquanten durchqueren den Szintillator, bis sie auf einen Lichtquantenzähler, den sogenannten Sekundärelektronenvervielfacher

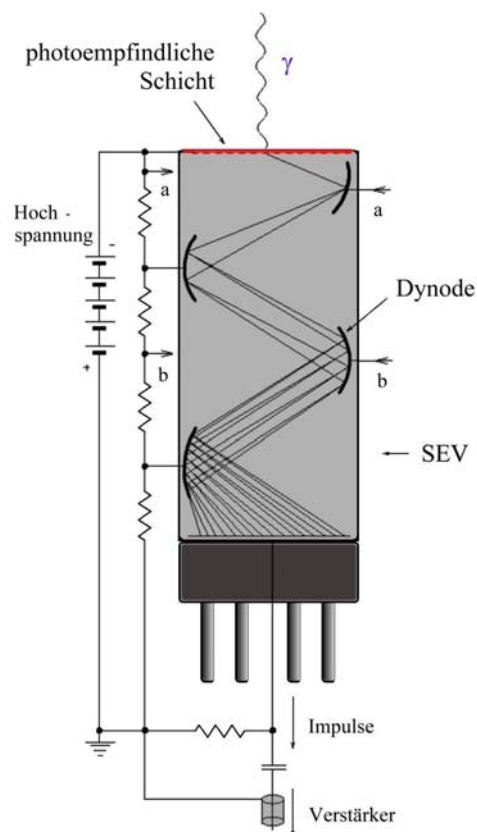


Abb.7: Sekundärelektronenvervielfacher

(SEV, engl. multiplier) treffen (siehe Abbildung 7). Deswegen ist bei allen Szintillatoren eine sehr gute Lichtdurchlässigkeit erforderlich. Aus der Photokathode des SEV werden Elektronen herausgeschlagen, die auf die Dynodenbleche durch ein elektrisches Feld beschleunigt werden. Auch hier kommt es zu einer Verstärkung durch Sekundärelektronen. Der Spannungsimpuls am Ausgang ist proportional zur Energie, die in Licht umgesetzt wurde. Deswegen eignen sich Szintillationszähler zur spektroskopischen Messung und damit zur Nuklididentifizierung.

Prinzipiell können alle Arten von Strahlung mit der Szintillationszählung nachgewiesen werden.

3.1. Anorganische Einkristallszintillatoren

Der wichtigste Vertreter dieser Gruppe ist das mit Tl aktivierte NaI, welches in großen Kristallen (\varnothing bis 20cm) hergestellt werden kann. Aufgrund der relativ hohen Dichte ist die Gamma-Spektroskopie bis in den 5MeV-Bereich möglich. Ein wesentlicher Nachteil eines NaI(Tl)-Detektors ist der, dass der Kristall stark hygroskopisch ist und aus diesem Grund eingekapselt werden muss

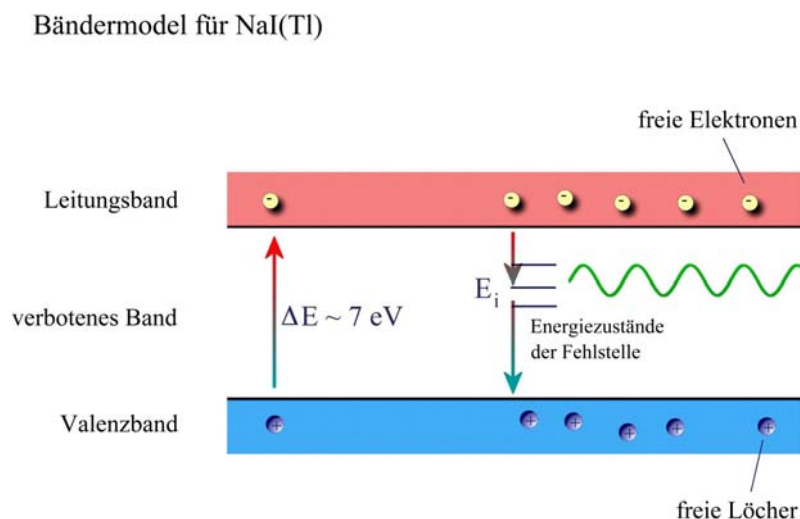


Abb. 8: Bändermodell eines anorganischen Szintillators

Damit ist das Messen von Alpha-Strahlung wie z.B. bei ZnS(Ag) nicht möglich. Jedoch liegt der Nachweisgrad von Gamma-Quanten bei Energien um 1 MeV aufgrund der großen Dichte und hohen optischen Transparenz bei ca. 15-30%.

Abbildung. 8 zeigt das Prinzip des Bändermodells eines anorganischen Szintillators. Ionisierende Strahlung transportiert Elektronen vom Valenz- in das Leitungsband. Die Elektronen nehmen dabei Energie auf. Dieser Zustand ist aber nicht stabil, deswegen fallen die Elektronen unter Aussendung von Licht wieder auf niedrigere Energieniveau zurück.

Die Halbwertszeit des angeregten Zustandes beim NaI(Tl) mit $< 0.175 \mu\text{s}$ ist vergleichsweise kurz gegenüber der Auflösungszeit der Gaszählrohre, was die Messung hoher Impulsraten erlaubt.

3.2. Feste organische Szintillatoren

Allgemein besitzen organische Szintillatoren eine geringere physikalische Ausbeute als anorganische Kristalle, jedoch ist die Abklingzeit der Anregungszustände erheblich kürzer, was das Messen mit deutlich höherer Zeitauflösung ermöglicht.

3.3. Flüssigszintillatoren

Die Messung mit flüssigen Szintillatoren hat zwei erhebliche Vorteile:

- i) sie erfüllen nahezu ideal eine 4π -Geometrie
- ii) sie eignen sich besonders gut für die Messung von Alpha-Teilchen oder niederenergetischer Beta-Teilchen, da die Probe direkt mit dem Szintillator vermischt wird.

Ein flüssiger Szintillator setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen (man spricht in diesem Zusammenhang auch von *Cocktails*), denen verschiedene Aufgaben zukommen:

- i) Lösungsmittel zur Aufnahme der Probe und des Szintillators, sowie als Energieüberträger
- ii) Szintillator, der die absorbierte Energie in Lichtquanten umwandelt
- iii) Beimengungen um die Löslichkeit für spezielle Substanzen zu erhöhen

Der Nachteil von Flüssigszintillatoren ist die empfindliche Abhängigkeit der Nachweiswahrscheinlichkeit von der Färbung des Cocktails. Zusätzlich unterliegt das Lösungsgemisch in der Regel Alterungsprozessen, z. B. Verdampfen des Lösungsmittels oder bei neueren Cocktails Bewuchs mit Mikroorganismen. Die Abnahme der Intensität, bedingt durch eine Verschiebung des Spektrums zu niedrigen Energien wird als [quenching](#) bezeichnet. Durch das Aufnehmen sogenannter Quenchkurven kann dieses Verhalten korrigiert werden. Derartige Verfahren sind sehr zeitaufwendig und müssen für jede neu zu messende Substanz extra bestimmt werden.

Es kann im Flüssigszintillationszähler auch mit Flüssigkeiten ganz ohne Szintillator gearbeitet werden, wobei der Čerenkov-Effekt ausgenutzt wird. Dazu müssen die nachzuweisenden β -Teilchen eine sehr hohe Energie haben. Z. B. P-32 (1,7 MeV)

Die Nachweiswahrscheinlichkeit liegt unter optimalen Bedingungen in der Gegend um 5% für Cl-36 und 50% für P-32.

3.4. Plastiksintillatoren

Zur Herstellung von Plastiksintillatoren wird einer Grundsubstanz wie Polystyrol als Aktivator Terphenyl und einige anderen Substanzen als Fremdstoffe für die gewünschten Emissionsspektren beigemischt und anschließend polymerisiert.

Vorteile plastischer Lumineszenzstoffe sind:

- a) leichte Herstellung für beliebig große Luminiszenzelemente
- b) geringe Absorption der emittierten Photonen
- c) vernachlässigbare Temperatureffekte
- d) kurze Abklingzeit ($< 10^{-8}$ s)

Nachteile:

- a) Geringere und ungleichmäßigere Amplituden als bei organischen Kristallen
- b) Geringere Ansprechwahrscheinlichkeit als bei anorganischen Kristallen (z.B. NaI(Tl))

3.5. Thermolumineszenzdetektoren (TL-Detektoren)

Kommt es darauf an ionisierende Strahlung über längere Zeit zu akkumulieren, wird eine andere Gruppe von Szintillationsdetektoren eingesetzt. Diese Thermolumineszenzdetektoren werden vornehmlich im Strahlenschutz eingesetzt, wo die Kontrolle von Personen über einen längeren Zeitraum stattfinden soll. Das Prinzip dieser Detektoren ist wie folgt:

Trifft radioaktive Strahlung auf den Kristall, werden Elektronen auf ein höheres Energieniveau gebracht. Anders wie bei anorganischen Szintillatoren, bleiben die Elektronen jedoch auf dem höheren Niveau.

Erst durch Zufuhr von Energie in Form von Wärme, fallen die Elektronen auf das geringere Energieniveau unter Aussendung von Licht zurück.

Das Aufheizen erfolgt zumeist in mehreren Schritten, und wenn man die Lichtintensität über die Temperatur aufträgt, erhält man eine sogenannte „Glow“- Kurve. Die Fläche unterhalb der Kurve ist dabei proportional zu der Bestrahlungsintensität. Der Rückgang der Lichtsumme der Glowkurve mit fortschreitender Zeit durch Ausheileffekte wird als Fading bezeichnet, was eine Korrektur der Messergebnisse erfordert. Nach dem Auslesen kann der TL-Detektor wieder benutzt werden. In der folgenden Tabelle sind die Eigenschaften der Szintillatoren gegenübergestellt.

Tab 3) Eigenschaften von festen und flüssigen Szintillatoren

Detektorart	Szintillator	Dichte [g·cm ⁻³]	geeignet für
Anorganische Kristalle	Na(I)-Einkristall	3.67	γ-Strahlung
	Cs(I)-Einkristall	4.51	γ-Strahlung
	ZnS(Ag)	4.09	α-Strahlung
	LiI(Eu)	4.06	n-Strahlung
Organische Kristalle	Anthracen	1.25	β-Strahlung
	trans-Stilben	1.16	
	p-Terphenyl	1.23	
Organische Lösungen	5g p-Terphenyl pro 1 Toluol 3g 2,5 – Diphenyl- oxazol pro 1Toluol		schwache β-Strahlung
Plastik	p-Terphenyl		β-Strahlung
Thermolumineszenz	⁶ LiF		n-Strahlung
	⁷ LiF		γ-Strahlung

4. Halbleiterdetektoren

Große Einkristalle, aus hochreinem Germanium oder Silizium in der Hauptsache, werden durch Aufbringen von Beschichtungen zu Dioden. Legt man an diesen Halbleiter (ein elektrischer Leiter, der den Strom nur in eine Richtung fließen lässt) eine Hochspannung in Sperrrichtung an, fließt im Normalzustand kein Strom. Erst durch z. B. ionisierende Strahlung werden in der Sperrschicht freie Ladungsträger erzeugt, die zu den äußeren Elektroden angesaugt werden. Dadurch gibt es ähnlich wie auch beim Gasionisationsdetektor messbare elektrische Impulse. Solche Halbleiterdetektoren werden bevorzugt für spektrometrische Messungen eingesetzt, weil ihre Energieauflösung sehr gut ist.

In Abbildung 9 zeigt das Spektrum eines Strahlers, aufgenommen mit einem Szintillationszähler und einem Halbleiterdetektor. Man sieht deutlich den Unterschied im Energieauflösungsvermögen.

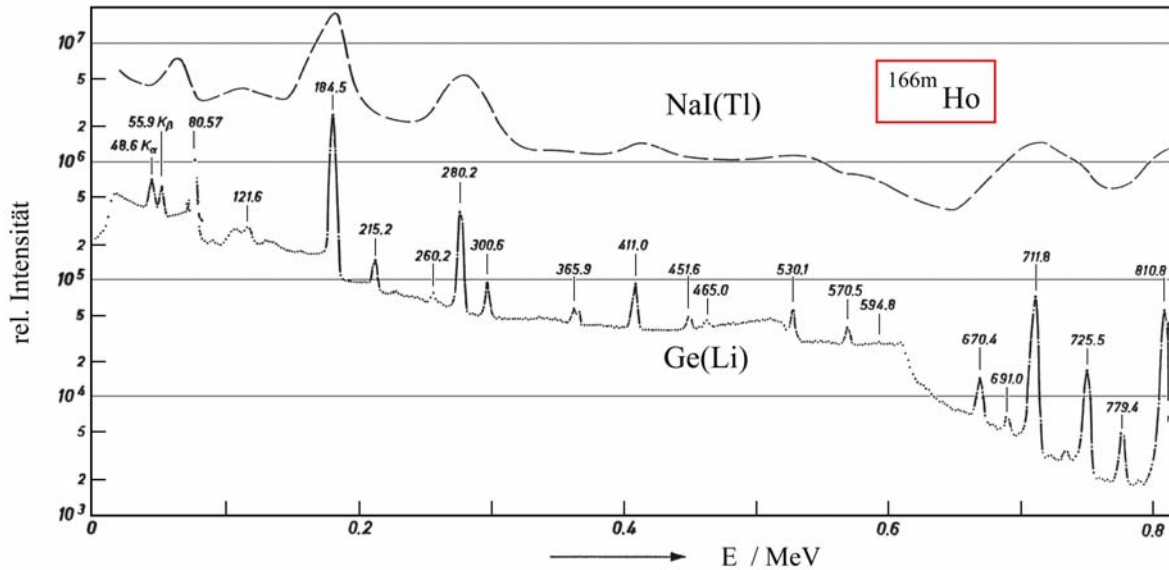


Abb. 9: Gammaskopogramm von ^{166m}Ho , gemessen mit einem NaI bzw. Germanium Detektor

5. Photografische Methoden

Die gleichen Effekte, wie sie bei der optischen Schwarzweiß-Photographie zum Tragen kommen, können zum Detektieren von Beta-Strahlen und kurzwelligen Gammaquanten benutzt werden. So gelang mit Hilfe von Photoplatten A. H. Becquerel am 1. März 1896 (zufällig) der erste Nachweis von natürlicher Radioaktivität.

Der Wirkungsgrad von photoempfindlichen Filmen ist vergleichbar mit denen von Zählrohr- oder Szintillatormethoden.

Das bekannteste Einsatzgebiet der Filme in der Strahlungsmesstechnik ist Röntgentechnik.

Die Filme werden hierbei zur Darstellung von unterschiedlich dichten Geweben benutzt.

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen werden radioaktive Präparate direkt auf dem Filmmaterial platziert. Dadurch erhält man ein Abbild der Verteilung der radioaktiven Stoffe in dem zu untersuchenden Material (Radiografie).

Im Strahlenschutz werden sogenannte Film dosimeter zur Bestimmung von Strahlenexpositionen eingesetzt. Die Ausgabe und Auswertung erfolgt von einer nach Landesrecht zuständigen, zentralen Messstelle in festgelegten Zeitabständen (die „Belichtungszeit“ dieser Detektoren beträgt dabei in der Regel 1 - 3 Monate).

Durch den Einbau von metallischen Filtern bzw. Absorbern kann auf die unterschiedliche Strahlenart bzw. -energie zurückgeschlossen werden. Abbildung 10 zeigt den schematischen Aufbau eines derartigen Strahlenschutzdetektors. Über die optische Dichte (früher: Schwärzung genannt) lässt sich die Strahlungsmenge (Dosis) bestimmen. Fading: Der Rückgang des latenten Bildes nimmt mit der Empfindlichkeit der Filme zu. Bei etwa 60% relativer Luftfeuchte kann dieser Effekt nach 100h bis zu 50% betragen. Deswegen sind die Filme bei Dosimetern in Folien eingeschweißt.

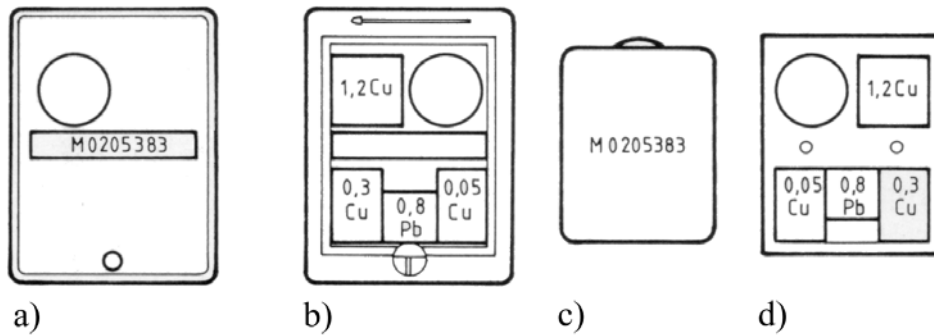


Abb. 10: Deutsche Standard-Filmkassette alter Bauart
(n. Hoxter, E.A., *Röntgenaufnahme-technik*, 13. Aufl. Siemens AG, ZVW 235)
a) Vorderteil von vorn
b) Vorderteil von hinten mit aufgeklebten Metallfiltern
c) Dosisfilmhülle mit Registriernummer
d) Hinterteil (Deckel) von vorn mit aufgeklebten Metallfiltern

6. Phosphor-Imaging

Messprinzip: Auf einer Platte (Standard 20 x 40 cm) ist eine organische Beschichtung mit Europiumionen (Eu^{2+}) angebracht. Hochenergetische Strahlung (Röntgen- oder UV-Licht, β - oder γ -Strahlung) kann Außenelektronen der Eu^{2+} -Ionen anregen. Durch Licht der Wellenlänge eines He-Ne-Lasers (633 nm), der die bestrahlte Filmplatte abtastet, fallen die Elektronen auf den Grundzustand zurück.

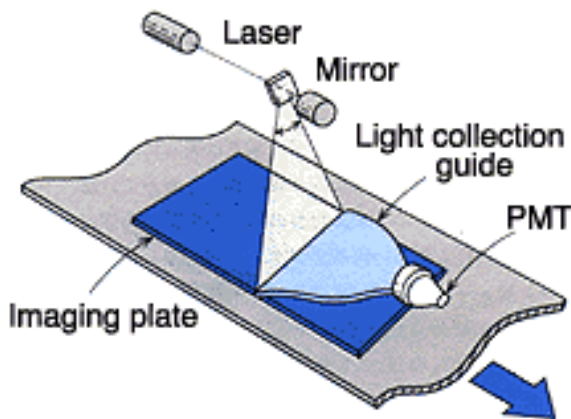


Abb. 11: Prinzip des Phosphorimagers

Bei diesem Energieübergang werden Photonen freigesetzt (390 nm). Die Intensität der Lichtemission wird mit einem Photomultiplier als gemessen und ergibt die Höhe der Bestrahlung für den gerade abgetasteten Ort (siehe Abbildung 11). Das Bild, das so Zeile für Zeile erzeugt wird, ist der ursprünglichen Radioaktivitätsverteilung auf dem radioaktiven Präparat proportional.

Phosphorimager sind wesentlich empfindlicher für Radioaktivität als die bei der Autoradiographie verwendeten Röntgenfilme (Faktor 10-100) und zeigen eine ähnlich gute Auflösung der Signale wie diese. Zudem ist der lineare dynamische Bereich

der Phosphorimager weiter als der bei den herkömmlichen Techniken. Bei Inkubation der Film- und Dünnschichtplatten in Bleikammern – zur Minimierung der Hintergrundstrahlung – können Banden mit sehr geringer Radioaktivität (bis zu 10 dpm = $1/6$ Bq) detektiert werden. Bei uns beträgt die Nachweisgrenze etwa 50 dpm. Ein weiterer Vorteil der Filmplatten liegt in ihrer beliebig häufigen Wiederverwendbarkeit und ihrem gegenüber der Autoradiographie besseren ökologischen Bilanz (kein Anfall von Schwermetallionen für die Entwicklung der Röntgenfilme).

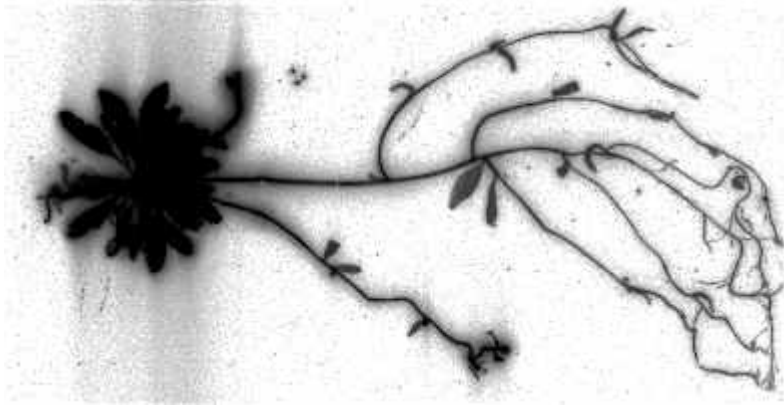


Abb. 12: Bild einer mit C-14 markierten Pflanze, aufgenommen mit dem Phosphorimager