

Schichtdickenmessung mit radioaktiven Präparaten (SchiRad)

1 Versuchsziel

- Kennenlernen der Wechselwirkungsvorgänge zwischen Materie und ionisierender Strahlung
- Praktische Durchführung von Dicken- und Schichtdickenmessungen mit β - Strahlung

2 Versuchsgrundlagen

2.1 Wechselwirkung Strahlung-Materie

Die Anfangsintensität I_0 von α -, β -, γ - oder Röntgenstrahlung wird beim Durchgang durch Materie auf einen Wert I nach der Beziehung

$$I = I_0 \cdot e^{(-\mu d_s)} = I_0 \cdot e^{(-\mu_m m_s)} \quad (1)$$

geschwächt. Dabei ist μ der Schwächungskoeffizient, $\mu_m = \mu/\rho$ der Massenschwächungskoeffizient, d_s die Schichtdicke und $m_s = \rho d_s$ die Flächendichte und ρ die Dichte.

Je nach Strahlungsart und -härte finden unterschiedliche Wechselwirkungsprozesse statt. Die wichtigsten sind **Absorption** und **Streuung**.

Bei der im Versuch verwendeten Betastrahlung wird deren Energie durch elektrostatische Wechselwirkung mit den Hüllenelektronen des Schichtmaterials abgegeben, wobei Anregung und Ionisation von Schichtatomen auftreten.

2.2 Nachweis ionisierender Strahlung

Die Messung der ionisierenden Strahlung kann nur über ihre Wechselwirkung mit der Materie erfolgen. Zur Messung der Aktivität oder der Energie der Strahlung eines radioaktiven Präparates wird hauptsächlich die Ionisation und die Anregung von Materie ausgenutzt. Die entsprechenden Strahlungsdetektoren werden als **Ionisationsdetektoren** bzw. **Anregungsdetektoren** bezeichnet.

Ionisationsdetektoren bestehen aus zwei Elektroden, zwischen denen sich ein Gas (Gasionisationsdetektoren) oder ein Halbleiterkristall (Festkörperionisationsdetektoren) befindet. Die ionisierende Strahlung erzeugt zwischen den Elektroden Ladungen, die durch die angelegte Spannung zu einem Stromimpuls führen.

2.2.1 Anregungsdetektor

Bei **Anregungsdetektoren** führt die Bestrahlung mit Teilchen oder Quanten in einem Kristall, in Kunststoff oder in Flüssigkeit zu einer Lichtemission. Diese Lichtemission wird von einem Photovervielfacher (SEV) in elektrische Impulse umgewandelt.

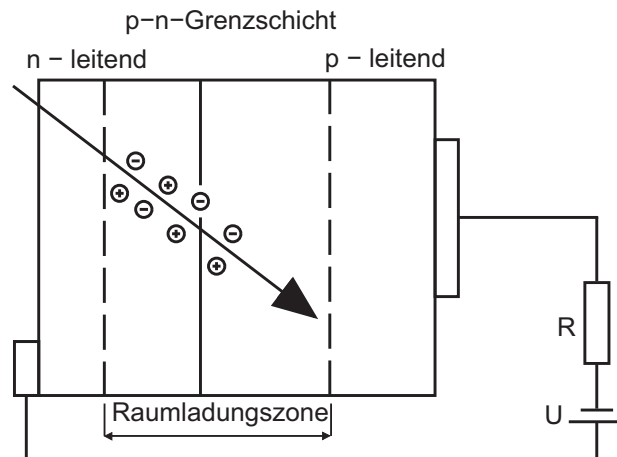


Bild 1: Oberflächensperrschichtdetektor als Festkörperionisationsdetektor

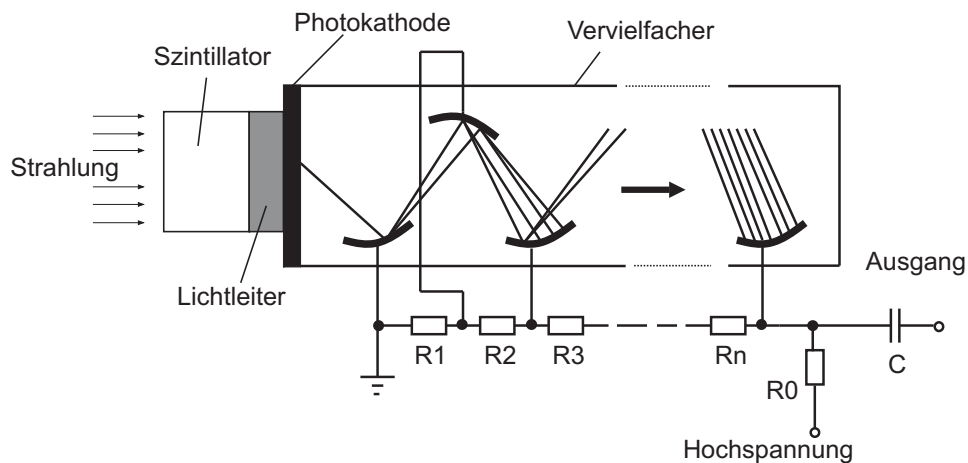


Bild 2: Szintillationszähler mit Sekundärelektronenvervielfacher

2.2.2 Ionisationsdetektor (Geiger-Müller-Zählrohr)

Ein Zählrohr besteht aus einem Metallzylinder als Katode und einem dünnen Draht als Anode, der in der Zylinderachse aufgespannt wird. Zwischen Außenzylinder und Zählendraht wird die Zählrohrspannung angelegt. Für Betastrahlung sind besonders Halogenzählrohre geeignet. Sie enthalten eine Edelgasfüllung mit Halogenzusatz. Die einfallende Strahlung bewirkt eine Ionisation des Füllgases. Aufgrund der angelegten Spannung nehmen die primär gebildeten Elektronen und Ionen so viel Energie auf, daß sie weitere Atome ionisieren können, Bild 3. Die Zahl der Ladungsträger wird erhöht, man spricht von einer Gasverstärkung.

Trägt man die gemessene Impulsdichte in Abhängigkeit von der angelegten Zählrohrspannung auf, so erhält man die Zählrohrcharakteristik, Bild 4.

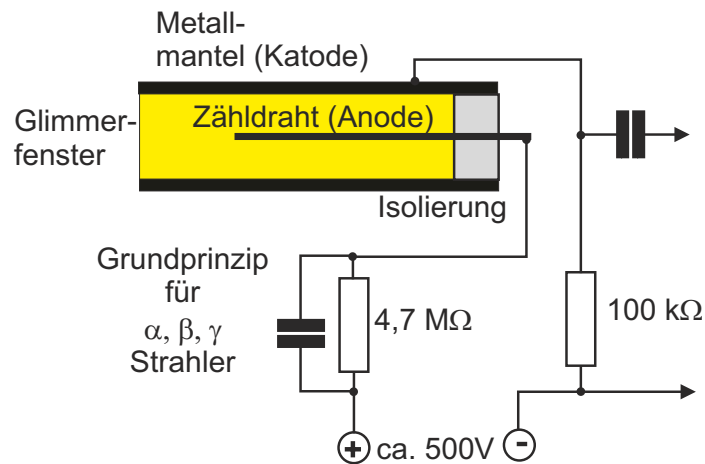


Bild 3: Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs

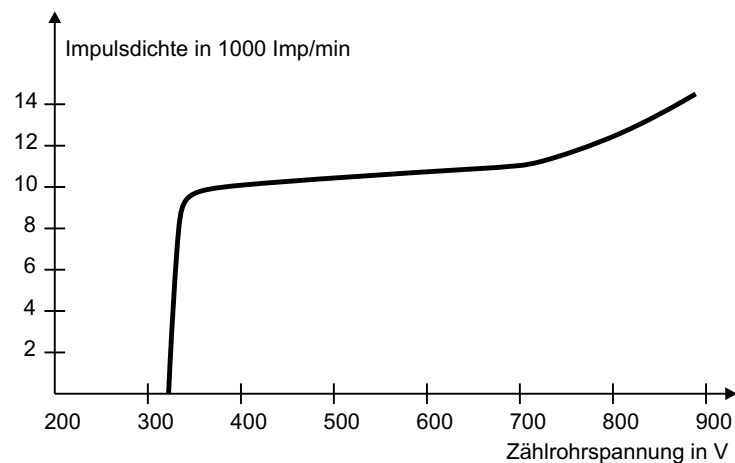


Bild 4: Zählrohrcharakteristik

3 Dickenmessung mit β -Strahlern

3.1 Durchstrahlverfahren

Das Durchstrahlverfahren kann zur Dicken- und Schichtdickenmessung eingesetzt werden, letzteres allerdings seltener.

Die Dickenmessung in Durchstrahlanordnung wird für Kunststoffe, Papier und Metalle angewandt. Der Meßbereich liegt bei 0.001 bis 1 g/cm^2 . Das Verfahren ermöglicht beispielsweise eine kontinuierliche Kontrolle der Dicke von Folien während der Herstellung. Außerdem sind auch Messungen von Staubbiederschlägen auf Filtern und damit eine permanente Ausfallkontrolle für Filterelemente möglich. Der Messbereich ist von der verwendeten Quelle abhängig. Die grösste Meßgenauigkeit liegt im Bereich der Halbwertsdicke.

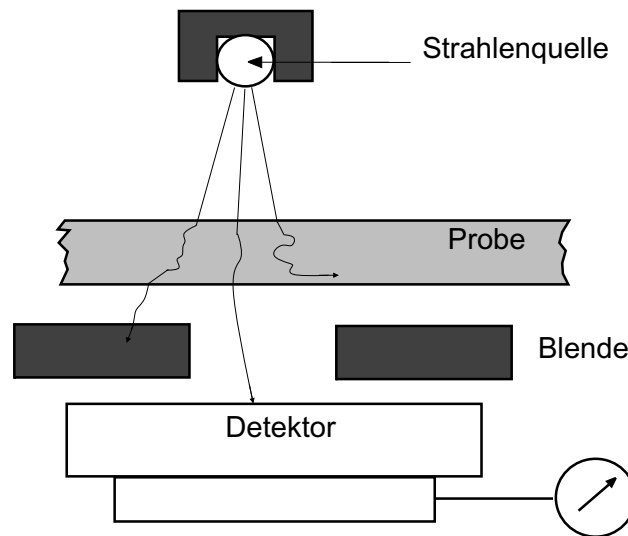


Bild 5: Durchstrahlungsanordnung

3.2 Rückstreuverfahren

Das Rückstreuverfahren wird zur Messung der Schichtdicke von dünnen Schichten auf einem Substratmaterial genutzt. Der Meßbereich liegt in der Größenordnung Mikrometer, je nach Energie der Strahlungsquelle und dem zu messenden Material.

Voraussetzung für die Messbarkeit ist ein hinreichender Unterschied der mittleren Atommassen bzw. Ordnungszahlen von Schicht- und Substratmaterial. Es sind damit die verschiedensten Materialkombinationen meßbar, wie Metallschicht auf Kunststoffsubstrat, Kunststoffschicht auf Metallsubstrat oder Metallüberzug auf metallischer Unterlage.

Bei der Messung von Metallschichten auf einem Substrat aus Kunststoff nimmt die Intensität der rückgestreuten Strahlung mit zunehmender Schichtdicke zu, nach Überschreitung der Sättigungsdicke bleibt die Intensität dann konstant.

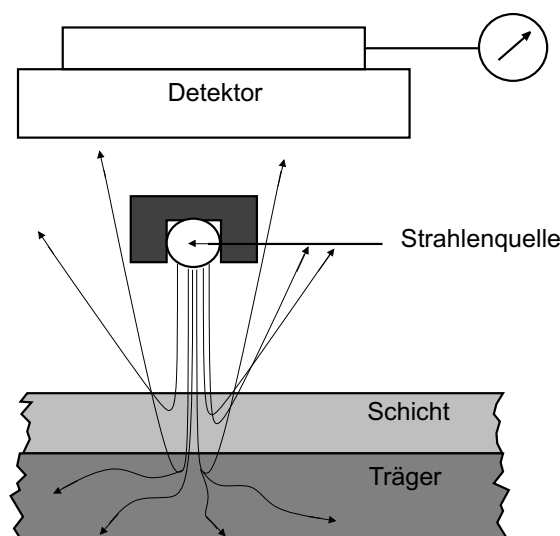


Bild 6: Rückstreuungsanordnung

4 Vorbereitungsaufgaben

1. Welche Arten ionisierender Strahlung gibt es und durch welche Prozesse entstehen sie?
2. Stellen Sie die Zerfallsgleichungen für diese Prozesse auf!
3. Erläutern Sie die Spektren der radioaktiven Strahlung!
4. Stellen Sie den allgemeinen Verlauf der gemessenen Intensität I als Funktion der durchstrahlten Dicke d dar! Verwenden Sie einmal eine lineare Teilung des Koordinatensystems und danach einen halblogarithmischen Maßstab!
5. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Kernladungszahl Z und der rückgestreuten Intensität? Stellen Sie den Verlauf der Funktion $I = f(Z)$ grafisch dar! Welche Funktion liegt dem Kurvenverlauf zugrunde?
6. Durch welche Effekte treten bei der Messung Fehler auf, und wie können deren Auswirkungen berücksichtigt werden?

5 Praktikumsaufgaben

1. Bestimmen Sie sowohl im Durchstrahl-, sowie in Rückstrahlanordnung den Nulleffekt des Zählrohrs für die jeweils verwendeten Kanäle/Energien.
2. Bestimmen Sie mit dem Durchstrahlverfahren die Abhängigkeit der gemessenen Intensität I von der durchstrahlten Foliendicke! Zeigen Sie diesen Zusammenhang graphisch!
3. Ermitteln Sie (graphisch bzw. analytisch) für die Al-Folie $F1$ im Durchstrahlverfahren die Dicke d .
4. Berechnen Sie aus den Messung im Durchstrahlverfahren für Aluminium den Schwächungskoeffizienten μ , den Massenschwächungskoeffizienten μ_m und die Halbwertsdicke $d_{1/2}$.
5. Messen Sie die Rückstreuintensität I in Abhängigkeit von der Kernladungszahl Z ! Zeigen Sie diesen Zusammenhang graphisch!
6. Identifizieren Sie (graphisch bzw. analytisch) die unbekanntenen Metalle $M1$ und $M2$ durch Messung der Rückstreuintensität.
7. Bestimmen Sie mit dem Rückstrahlverfahren die Abhängigkeit der gemessenen Strahlungsintensität I von der Foliendicke d ! Zeigen Sie diesen Zusammenhang graphisch!
8. Ermitteln Sie (graphisch bzw. analytisch) für die Kunststofffolien $F2$ und $F3$ im Rückstrahlverfahren die entsprechenden Dicken d !

**Eine detaillierte Aufgabenstellung liegt am Versuchsplatz im
Meitnerbau, G.-Kirchhoff-Str. 5, Raum 3.2.308 aus!**

Literaturliste

- [1] NITZSCHE, K.: *Schichtmeßtechnik*. 1. Auflage. Würzburg : Vogel Buch -Verlag, 1996. – 502 S. – ISBN 3-8083-1530-8
- [2] HERFORTH, L. ; KOCH, H.: *Praktikum der Radioaktivität und Radiochemie*. 3. Auflage. Berlin : Wiley-VCH Verlag, 1999. – 567 S. – ISBN 978-3764311711
- [3] STOLZ, R.: *Radioaktivität*. 5. Auflage. Vieweg + Teubner Verlag, 2005. – 215 S. – ISBN 978-3519302247
- [4] HERING, E. ; MARTIN, R. ; STOHRER, M.: *Physik für Ingenieure*. 11. Auflage. Springer Verlag, 2012. – 1008 S. – ISBN 978-3540718550
- [5] KOHLRAUSCH, F.: *Praktische Physik*. 24. Auflage. B.G.Teubner, Stuttgart, 1996

- [6] Metallische und andere anorganische Überzüge - Dickenmessung - Betarückstreu-Verfahren. In: *Deutsche Norm DIN EN ISO 3543 Berichtigung 1:2006-07* (2006)
- [7] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrahlV). In: *Bundesgesetzblatt 2001 i.d.V. 2012* (2012)
- [8] Schichtdicken- und Mikrohärtmessung in der Qualitätsprüfung, Seminarunterlagen: Schichtdickenmessung - Theorie und Praxis Helmut Fischer GmbH, 1992