

MESSUNG DER DICKE VON DÜNNEN SCHICHTEN, FOLIEN, BEZÜGEN MIT RÜCKSTREUUNG VON BETA STRAHLUNG

Von

I. LIPOVETZ und D. VÖDRÖS

Lehrstuhl für Anorganische Chemie, Technische Universität, Budapest
(Eingegangen am 13. Februar 1969)

Vorgelegt von Prof. Dr. J. NAGY

I. Einleitung

Es ist keine einfache Aufgabe, die Dicke von Kunststoff-, Papier-, Metallfolien und Staubschichten zu messen. Die radioaktive Strahlung bietet eine Möglichkeit zur Durchführung dieser Messungen.

Es ist bekannt, daß die Intensität der von einem Medium zurückgestrahlten (zurückgeworfenen) Betastrahlung über einer gewissen Dicke des rückstreuenden Mediums der Ordnungszahl des Reflektors proportional ist.

Die Intensität der rückgestreuten Strahlung wird von der auf den Reflektor gelegten Schicht vermindert. Durch die Abnahme der Intensität kann man, unter gewissen Verhältnissen, die Dicke, die Veränderung der Dicke, der auf den Reflektor gelegten Schicht messen.

Dieses Meßverfahren ermöglicht ohne Unterbrechung, ohne Störung des technologischen Vorganges, auch in solchem Falle eine zuverlässige, kontinuierliche, registrierbare Messung, wenn z. B. die Dicke einer Kunststoffolie bereits auf der Walze gemessen werden soll. Weil die Dicke der zu messenden Schicht auch von der Energie der in der Messung angewandten Betastrahlung, von der Ordnungszahl der zu messenden Folie und der darunterliegenden Substanz abhängig ist, darf die Schichtdicke einen Grenzwert nicht überschreiten. Dieser Grenzwert ist etwas niedriger als die Hälfte der Reichweite der aus der Strahlungsquelle austretenden Betastrahlung in der zu messenden Substanz.

Nach diesem Verfahren kann man auch die Dicke von Bezügen (Lack, Emaille usw.) messen, wenn die Ordnungszahlen der Trägersubstanz Z_T und des Belags Z_B voneinander fern genug liegen, z. B. im Falle von verzinntem Eisenblech:

$$Z_T(\text{Eisen}) = 26$$

$$Z_B(\text{Zinn}) = 50$$

Zur Gewährleistung einer den Betriebsanforderungen entsprechenden Genauigkeit, muß das Verhältnis Z_B/Z_T höher als 1,5 sein. Es kann auch ein

solcher Fall vorkommen, daß die Ordnungszahl der Trägersubstanz höher als die des Bezuges ist, z. B. Eisenblech mit Emaillebezug. Auch in einem solchen Falle ist die Messung durchführbar, weil die (durchschnittliche) Ordnungszahl der Emaille von derjenigen des Eisens genügend abweicht. Wenn die Dicke der Trägersubstanz die Grenzdicke d_G überschreitet, dann vermindert z. B. die, auf Eisenblech aufgetragene Emailleschicht die Intensität der von dem Eisenblech rückgestreuten Strahlung, proportional der Dicke der Emailleschicht. Demgemäß kann man die Dicke der Emailleschicht aus der Intensität der zurückgeworfenen Strahlung ermitteln.

2. Über die Meßvorrichtung

Um die Meßwerte zu reproduzieren, ist die Zusammenstellung einer eigenartigen Meßvorsichtung erforderlich. Es wurde an die Meßvorrichtung die Anforderung gestellt, einfach, leicht zu behandeln zu sein und auch mit einer

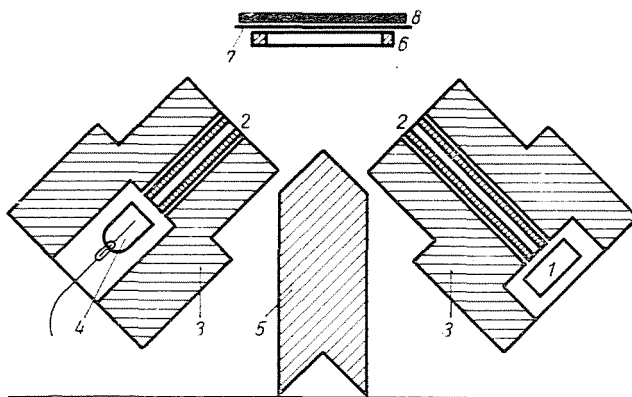


Abb. 1. Das Blockdiagramm der Meßvorrichtung. 1. Strahlungsquelle; 2. Abschirmer aus Plexiglas; 3. Bleiwand; 4. Detektor; 5. Bleiziegel; 6. Probehalter; 7. Folie zur Messung; 8. Rückstreuende Substanz

kleinen Strahlungsquelle zuverlässige Daten zu liefern, ferner einen völlig zufriedenstellenden Strahlenschutz zu besitzen.

Abb. 1 zeigt das Blockdiagramm unserer Meßvorrichtung.

Als Strahlungsquelle wurden 5 mCi Tl-204, beziehungsweise 1 mCi Sr-90 + Y-90 geschlossene Strahlungsquellen verwendet, deren Kennzeichnungen in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

Für die Abschirmung der Betastrahlung ist eine Substanz mit niedriger Ordnungszahl am besten geeignet, darum fiel die Wahl auf Plexiglas (2). Um die Bremsstrahlung abzuschirmen, wurden Strahlungsquelle und Detektor mit einem 5 cm dicken Bleizylinder umgeben (3). Mit Hilfe einer, auf die

Tabelle I

	Tl-204	Sr-90	Y-90
HWZ	4.26 Jahre	27.7 Jahre	61 Stunden
Max. Energie der Betastrahlung	0,765 MeV	0,61 MeV	2,18 MeV
Max. Reichweite der Betastrahlung ca.	300 mg/cm ²	200 mg/cm ²	1000 mg/cm ²
Dicke der Schutzschicht	30 mg/cm ² Al	30 mg/cm ² Al	30 mg/cm ² Al
Meßbereich	1–50 mg/cm ²	10–200 mg/cm ²	
Art der Strahlung	nur Beta	nur Beta	nur Beta

Strahlungsquelle einstellbaren Lichtquelle kann man auch darüber Aufschluß erhalten, wo der Mittelpunkt des Strahlenbündels auf dem Reflektor liegt, und welche Flächen bei verschiedenen Blenden gemessen werden.

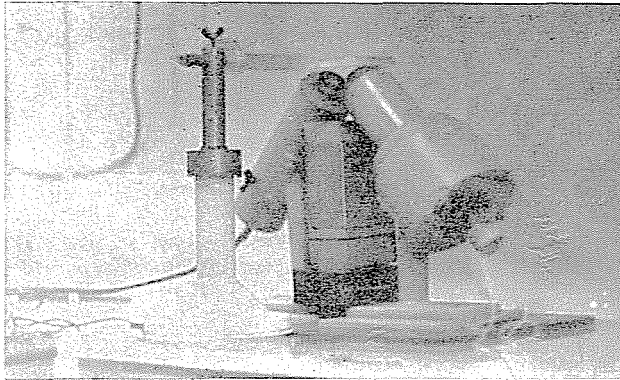


Abb. 2. Die Meßvorrichtung

Zur Messung der Intensität der Strahlung wird ein dünnwandiges endfenstriges GM Zählrohr verwendet (4), weil dieses gegen Betastrahlung die beste Ansprechwahrscheinlichkeit hat und den geringsten Hintergrund besitzt.

Zwischen dem Endfenster des GM-Rohres und dem Detektor wird eine ebenfalls aus Plexiglas hergestellte Blende angewendet (2).

Zwischen der Strahlungsquelle und dem Detektor wurde zur weiteren Abschirmung noch ein 5 cm dicker Bleistein gestellt (5).

Der Probehälter ist ein in irgendeiner Stellung befestigbarer Plexiglas-Rahmen (6) von 80 mm Durchmesser, der zur Befestigung und genauen Einstellung der zu messenden Folie (7) sowie des rückstreuenden (zurückwerfenden) Mediums (8) dient.

Die Registrierung der Intensität der Strahlung erfolgt mit einem EMG 1872 Labor Scaler, an den eine Zeitschalteruhr der Gamma-Fabrik angeschlossen wird. Der Teilchenzähler wird von einer stabilisierten Hochspannungsquelle gespeist.

Die einzelnen Elemente der Meßanordnung sind auch einzeln bewegbar, so können sie zur verschiedenen Reflektorgrößen angewandt werden. Das Photo der Meßvorrichtung ist in Abb. 2 zu sehen.

3. Messungen

Für die Messungen wurde ein unendlich dicker rückstreuender Stoff von derselben Größe verwendet. Um zuverlässigere Meßdaten zu erhalten, wurden hohe Impuls-Zahlen angestrebt. Die Daten, von denen die Hintergrundstrahlung vorher abgezogen wurde, beziehen sich immer auf 1 Minute.

Zuerst wurden die, von Aluminium-, Schwefel-, Eisen-, Kupfer-, Zink-, Zinn- und Bleiblechen rückgestreuten Strahlungsintensitäten mit Tl-204 in derselben geometrischen Anordnung gemessen. Danach wurden dieselben Messungen auch mit Sr-90 + Y-90 durchgeführt. Die Meßergebnisse sind in Tabelle II dargestellt (diese Daten sind I_0 Werte in c. p. m.).

Tabelle II

	von Al	von S	von Fe	von Cu	von Zn	von Sn	von Pb
Tl-204	6028 cpm	7375 cpm	9035 cpm	10092 cpm	10635 cpm	13780 cpm	16636 cpm
In % der durch Blei rückgestreuten Strahlung	36%	44%	54%	59%	64%	83%	100%
Sr-90 + y-90	1234	1425	1827	1933	1986	2298	2642
In % der durch Blei zurückgestreuten Strahlung	33%	40%	50%	53,5%	57,5%	80%	100%

Abb. 3 enthält diese Meßwerte in Abhängigkeit von den Ordnungszahlen.

Im Laufe der weiteren Messungen wurde das Verfahren im Falle verschiedener rückstreuender Substanzen zur Bestimmung der Dicke von Papierschichten angewendet. Zu diesem Zweck wurden auf verschiedene Untergründe, und zwar auf Aluminium, Schwefel, Eisen, Kupfer, Zink, Zinn und Blei, Papierblätter von 2 mg/cm² Oberflächenschichtdicke (0,02 mm) in zunehmender Menge gelegt, und die Intensität der zurückgestreuten Betastrahlung wurde zuerst mit einer Strahlungsquelle Tl-204, dann mit einer Strahlungsquelle Sr-90 + Y-90 gemessen.

Die Meßwerte waren in beiden Meßreihen gut reproduzierbar und die Streuung überschritt nicht die Intervalle $\bar{N} + \sqrt{\bar{N}}$ und $\bar{N} - \sqrt{\bar{N}}$ des Mittelwertes \bar{N} der abgelesenen 3 Meßwerte.

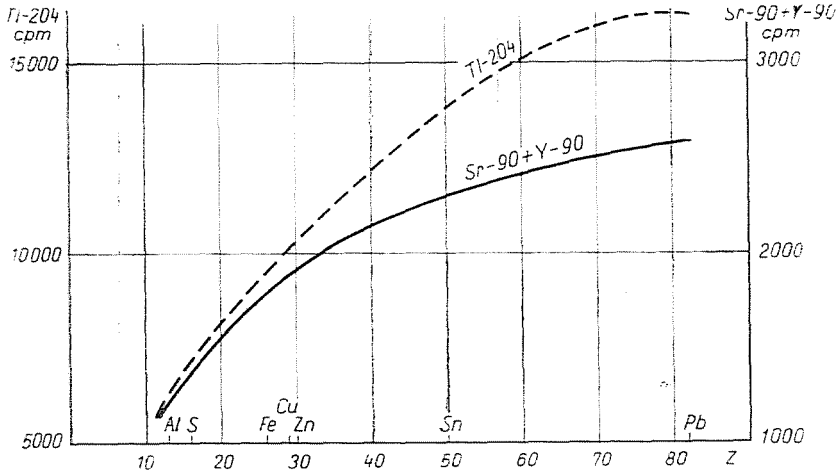


Abb. 3. Intensität der zurückgestreuten Strahlung in Abhängigkeit von der Ordnungszahl der rückstreuenden Substanz

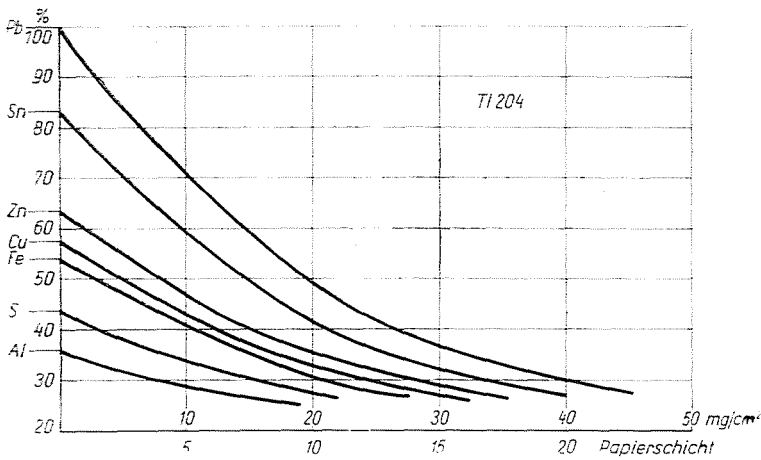


Abb. 4. Schichtdicke mit Strahlungsquelle Tl-204 gemessen

Die mit einer Strahlungsquelle Tl-204 gewonnenen Daten sind im Diagramm in Abb. 4, und die mit der durchdringenderen Sr-90 + Y-90 Strahlungsquelle erhaltenen Meßergebnisse im Diagramm in Abb. 5 dargestellt.

Auf den Abszissen der Diagramme ist die Dicke der gemessenen Schicht in Maßstab mg/cm^2 dargestellt und der Ordinatenachse stehen die durch den Reflektor zurückgeworfenen Strahlungsintensitäten in Prozenten der durch Blei zurückgeworfenen Intensitäten.

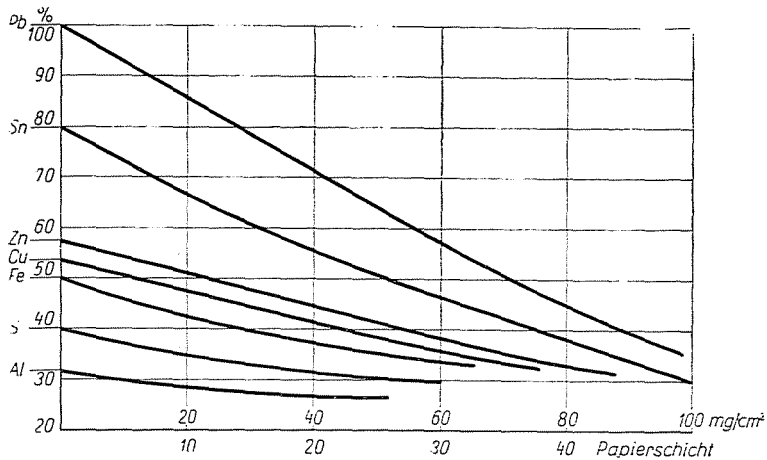


Abb. 5. Schichtdicke gemessen mit einer Strahlungsquelle Sr 90 + Y-90

4. Auswertung der Messungen

Aus Diagramm 3 ist festzustellen, daß die Intensität der zurückgestreuten Strahlung mit der Ordnungszahl der rückstreuenden Substanz zunimmt. Ebenso ist ersichtlich, daß sich die Strahlung geringerer Energie besser zurückstreut. Mit der Meßvorrichtung kann mit einer Strahlungsquelle TI-204 auf Aluminium bis zu 20 mg/cm² (0,16 mm), auf Bleireflektor bis zu 40 mg/cm² (0,32 mm) Papierdicke gemessen werden (Abb. 4). Eine Dickenveränderung gegebener Größe ergibt eine größere Intensitätsänderung im Anfangsabschnitt der Kurven als am Ende derselben. Daher kann auf Blei bis 20 mg/cm² Schichtdicke mit großer Genauigkeit, bis 40 mg/cm² befriedigend gemessen werden.

Die Größenänderung $\left(\frac{d(I/I_c)}{dx}\right)$ nimmt vom Bleireflektor dem Aluminium ab. (I_0 bedeutet die durch einen Bleireflektor zurückgestreute Strahlungsintensität ohne Absorber, I die mit einem gegebenen Absorber gemessene und x die Schichtdicke des Absorbers.)

Aus Abb. 5 ist festzustellen, daß mit Betastrahlen höherer Energie dickere Schichten gemessen werden können. Bei der Messung dünner Schichten ist die Streuung der Meßwerte bedeutend größer als die mit weicherem Strahler erhaltenen Meßwerte.

Abb. 6 wurde so hergestellt, daß die Maßstäbe für die Daten beider Strahlungsquellen gleichwertig seien. Daraus ist klar zu entnehmen, welche bedeutende Rolle die Energie der Betastrahlung bei der genauen Messung der zu messenden Schicht spielt. Mit weicherer Betastrahlung kann man folglich um eine Größenordnung dünnere Schichten messen, als unsere Proben waren

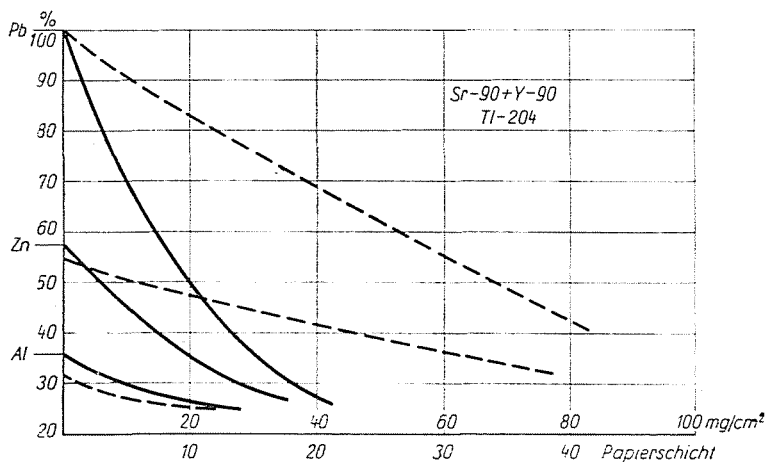


Abb. 6. Mit Strahlungsquellen Tl-204 und Sr-90 + Y-90 aufgenommene Kurven in gleichem Maßstab

(z. B. mit Ca-45). Außerdem ist auch zu sehen, daß für die genauere Messung einer gegebenen Dicke die Energie der Betastrahlung und der Reflektor zweckmäßig zu wählen sind.

Unser besonderer Dank gilt dem Herrn Professor Dr. József Nagy für die freundliche Gewährleistung der Versuchsbedingungen sowie dem Hauptwerkführer Mihály Tóth und der selbständigen Laborantin Frau Paulik für ihre sorgsame Hilfe bei der Ausführung der Messungen und der Aufnahmen.

Zusammenfassung

Die Meßvorrichtung ist einfach, arbeitet zuverlässig und ist sogar für kontinuierliche Messungen erfolgreich anwendbar. Die Strahlungsquelle stellt keine arbeit- und produktionshemmende Strahlungsgefahr dar, ihre Anwendung erfordert keine Warmlaboratoriumsausstattung. Bei der Wahl einer entsprechenden Strahlungsquelle ist das Verfahren zur schnellen Messung der Dicke von Lack-, Kunststoff-, Farben- oder anderen Bezügen bzw. von Folien veränderlicher Dicke anwendbar.

Literatur

1. TÖLGYESSY, J.: Magsugárzás a kémiai analízisben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
2. WHITEHOUSE, H. J.—PUTMAN, O. M.: Radioaktív izotópok. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1955.
3. HART, H.: Radioaktive Isotope in der Betriebsmeßtechnik. VEB Verlag Technik, Berlin, 1962.
4. VÖDRÖS, D.: A radioaktív izotópok mérésének technikája. Energia és Atomtechnika **12**, 263 (1959)
5. VÖDRÖS, D., GÉMESI, J.: Építőanyagok nedvességtartalmának meghatározása radioizotópokkal. Energia és Atomtechnika **17**, 287 (1964)

Iván LIPOVETZ, Budapest, XI. Gellért-tér 4, Ungarn
Dániel VÖDRÖS, Budapest, XI. Orlay-u. 2, Ungarn

