Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 5

Artikel: Anwendung von Radionukliden in der Elektrotechnik

Autor: Detzer, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916689

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

teilte Kohlenstoff als Absorber für chemische Produkte dient, welche an seiner Oberfläche festgehalten und daher unschädlich gemacht werden. Vor allem die polaren Reaktionsprodukte, welche an der Oberfläche des metallischen Leiters entstehen, werden dabei mehr oder weniger weitgehend absorbiert. Aber auch mechanische Verunreinigungen können festgehalten und damit schliesslich eine höhere Betriebssicherheit, höhere Stossfestigkeit, längere Lebensdauer und bessere Alterungsbeständigkeit einer Isolation erreicht werden.

Angeregt durch Anfragen seitens der Verbraucher von Isocel wurde die Frage der Herstellung von Carbonblack auf Basis acetylierter Fasern geprüft und an dem entsprechenden Material erste Versuche durchgeführt. Die Herstellung von Carbonblack-Isocel kann natürlich nur auf dem Wege einer nachträglichen Imprägnierung des Isocelblattes mit einer Russ-Schicht erfolgen. Das Resultat erster Versuche war folgendes: Die Ölfestigkeit wurde erreicht, die Porosität oder besser die Luftdurchlässigkeit ging durch die Imprägnierung mit Carbonblack zurück, das Absorbtionsvermögen des mit Carbonblack imprägnierten Isocels entsprach demjenigen eines normalen Carbonblackpapieres, indem z. B. in einem gebrauchten Öl eine deutliche Reduktion des Verlustfaktors gemessen werden konnte, wenn Carbonblackpapier bzw. Carbonblack-Isocel dem Öl zugegeben wurde. Als überraschendstes Moment aber darf wohl die starke Reduktion des Verlustfaktors eines Carbonblack-Isocels gegenüber einem normalen Carbonblackpapier erwähnt werden (Fig. 25).

6. Isocel für Hochspannungskabel

Acetyliertes Papier wäre für die Verwendung in Hochspannungskabeln besonders hoher Betriebsspannung prädestiniert, weil die Anforderungen gerade beim Kabel für Hoch- und Höchstspannungen derart sind, dass dort das Problem der dielektrischen Verluste, der Trocknung und der Massbeständigkeit von besonderer Wichtigkeit sind. Umgekehrt aber steigen die Materialpreise in einem Kabel rapid mit der Betriebsspannung des Kabels an, so dass das Problem der Anwendung von acetyliertem Papier für Hoch- und Höchstspannungskabel zu einer Preisfrage wird. Deshalb ist dafür Isocel nur versuchsweise und für ausgesprochene Spezialfälle verwendet worden. Nun konnten aber in letzter Zeit die Preise für Isocel beträchtlich reduziert werden, und es scheint, dass das Interesse nun auch für diese Anwendung wiederum erwacht und gestiegen ist, ganz besonders für Fragen, die mit den Gleichstromkabeln in Zusammenhang stehen. Hier ist nicht mehr die Frage der dielektrischen Verluste, sondern vor allem der Verlauf des Isolationswiderstandes in Funktion der Temperatur von Bedeutung. Praktische Versuchsresultate liegen noch keine vor.

Literatur

[1] *Dieterle, W.:* Acetyliertes Papier als Isoliermaterial für die Elektrotechnik. Bull. SEV 46(1955)22, S. 1045...1065.

[2] *Dieterle, W.:* Beitrag zur Kenntnis der Stossfestigkeit von Isolierpapieren. Bull. SEV 51(1960)13, S. 637...650.

[3] *Dieterle, W.:* Insulation features of acetylated papers. Insulation. June 1962, S. 19...22.

[4] *Haldimann, R.* und *Richon, E.:* Isoliermaterial für Hochspannungs-Innenraumanlagen. Bull. SEV 52(1961)4, S. 121...126.

[5] *Beavers, M. F., Raab, E. L.* und *Leslie, J. C.:* Permalex — A New Insulation System. AIEE Conference Paper 59—952.

[6] *Mutschler, W. H.* und *Farneth, W. C.:* Temperature Capabilities of a Modern Transformer Insulation System. AIEE Conference Paper 60—921.

[7] *Ford, J. G., Lockie, A. M.* und *Leonard, M. G.:* A New and Improved Heat-Stabilized Insulation. AIEE Conference Paper 60—936.

[8] *Brummet, B. D.* und *Sadler, F. S.:* A New Transformer Insulation. AIEE Conference Paper 61—1127.

[9] *Krasucki, Z., Church, H. F.* und *Garton, C. G.:* A New Explanation of Gas Evolution in Electrically Stressed Oil-Impregnated Paper Insulations. J. Electrochem. Soc. 107(1960)7, S. 598...602.

[10] Mannitherm — Heat Stable Transformer Insulation. John A. Manning Paper Company, Inc., Troy, New York. 17. 1. 1962.

[11] *Moser, H. P.:* Trocknung und Entgasung der in Hochspannungsleistungstransformatoren verwendeten Isolierstoffe. ETZ-A 81(1960)2, S. 41...47.

[12] *Fabre, J.* und *Pichon, A.:* Bericht CIGRE 1960, No. 137.

[13] *Gazzana-Priaroggia, P., Palandri, G. L.* und *Pelagatti, U. A.:* The influence of ageing on the characteristics of oil-filled cable dielectric. Proc. IEE 108(1961)A, S. 467...479.

[14] *Dieterle, W.:* Hochfrequenz im Dienste physikalisch-chemischer Untersuchungsmethoden. Bull. SEV 51(1960), S. 943...952.

[15] *Rey, E.* und *Erhart, L.:* Die Beurteilung von inhibierten und nichtinhibierten Isolierölen für Hochspannungstransformatoren und Wandler. Bull. SEV 52(1961), S. 401...413.

Adresse des Autors:
Dr. *W. Dieterle,* Prokurist, Sandoz AG, Basel.

Anwendung von Radionukliden in der Elektrotechnik

Von *K. Detzer,* Frankfurt/M.

621.039.8

An Hand der physikalischen Eigenschaften von Radionukliden werden einige typische Anwendungsbeispiele von Radionukliden als Indikatoren, in der Radiographie, der Aktivierungsanalyse, der Dicke- und Dichtebestimmung, Feuchtigkeitsmessung, als Leuchtfarben, in Isotopenbatterien u. a. m. erläutert. Die Beispiele sind soweit als möglich aus dem Bereich der Elektroindustrie genommen.

Des propriétés physiques des radionucléides, l'auteur déduit quelques exemples typiques de leur utilisation en tant qu'indicateurs dans la radiographie, l'analyse par activation, la détermination d'épaisseurs et de densités, le mesurage de l'humidité; en tant que colorants lumineux, en des batteries d'isotopes, etc., qu'il décrit. Les exemples ont été puisés autant que possible dans le domaine de l'industrie électrique.

1. Allgemeine Übersicht

Die Anwendung von radioaktiven Isotopen (Radionukliden) in der industriellen Forschung und betrieblichen Praxis nahm ihren Anfang nach dem zweiten Weltkrieg, als durch den Betrieb von Kernreaktoren radioaktive Isotope in grösseren Mengen zum Teil als zunächst unerwünschte Nebenprodukte anfielen. Die beiden von den Vereinten Nationen in den Jahren 1955 und 1958 in Genf veranstalteten Konferenzen über die friedliche Nutzung der Atomenergie, in deren Rahmen auch über die Isotopenanwendung verhandelt wurde, trugen nicht unwesentlich zur raschen Verbreitung der bereits bekannten und zur weiteren Erschliessung neuer Isotopentechniken in den hochentwickelten Industriestaaten der Welt bei. Nach Ansicht von Isotopenfachleuten aus aller Welt ist jedoch seit Jahren eine gewisse Stagnation der Entwicklung unverkennbar; die von der gewerblichen Wirt-

schaft aufgegriffenen Isotopenverfahren stehen zahlenmässig in keinem Verhältnis zur Vielzahl der vorhandenen Möglichkeiten eines wirtschaftlichen Einsatzes von Radionukliden. Dies gilt nicht zuletzt auch für die Elektroindustrie, aus der bisher nur eine verschwindend geringe Zahl von Anwendungen bekannt ist. Die Ursache hiefür dürfte zum Teil in der umständlichen Genehmigungserteilung zum Umgang mit radioaktiven Stoffen, einer gewissen Scheu vor dem Strahlungsschutz, Schwierigkeiten bei der Abfallbeseitigung (hauptsächlich wegen des Fehlens zentraler Abfallsammelstellen), ungelösten Versicherungsproblemen und hohen Erstausstattungskosten für Isotopenlaboratorien zu suchen sein. Haupthindernis für einen vermehrten Einsatz von Radionukliden ist jedoch das Fehlen von geeigneten Fachleuten, die sowohl mit den im Betrieb auftretenden Problemen als auch mit den verschiedenen Isotopentechniken vertraut sind. Dieses wird verständlich, wenn man berücksichtigt, dass die meisten Anwendungsmöglichkeiten nicht von vornherein im einzelnen feststehen und sozusagen konsumfertig bereitliegen. Vielmehr bedarf es fast immer einer sinnvollen Anpassung bekannter Techniken an das jeweils zu behandelnde Problem und dem vorangehend der Erkenntnis, dass eine bestimmte Aufgabe unter Umständen mit Hilfe von Radioisotopen vernünftig zu lösen ist.

Zweck dieses Artikels ist daher, dem in der Elektroindustrie tätigen Ingenieur einen kurzen Überblick über die Eigenschaften der Radionuklide zu geben und an Hand von einigen wenigen Beispielen (die soweit als möglich aus dem Bereich der Elektrotechnik genommen sind) sich daraus ergebende typische Anwendungsmöglichkeiten zu erläutern.

2. Radionuklide als Indikatoren

Beim Zerfall der Radionuklide entsteht Strahlung, die durch geeignetes photographisches Material und mit einer Reihe von handelsüblichen Geräten ohne grössere Schwierigkeit qualitativ und quantitativ nachgewiesen werden kann. Auf dieser Eigenschaft beruht die Anwendung der Radionuklide als Radioindikatoren, auch Leitisotope oder Tracer genannt.

Bei der Lösung strömungstechnischer Probleme (Messen der Durchlaufgeschwindigkeit, Geschwindigkeitsverteilung usw.), der Untersuchung von Betriebsabläufen (Mischprozessen, Materialdurchsatz usw.) für hydrologische Untersuchungen und Verschleissbestimmungen ist es im allgemeinen nicht erforderlich, dass das als Tracer verwendete Radionuklid dieselben chemischen Eigenschaften besitzt wie die zu untersuchende Substanz; bei der Auswahl des Tracers können daher mess- und strahlungsschutztechnische Gründe (geeignete Halbwertszeit, Strahlungsart und -energie) sowie Kosten berücksichtigt werden.

Zur Bestimmung der Durchflussgeschwindigkeit des Wassers durch eine Rohrleitung eines Kraftwerkes wird beispielsweise Ra 224 verwendet [1; 2] [1]). Das zur Auffindung von Leckstellen in Rohrleitungen entwickelte Prinzip der Beigabe eines Leitisotops kann analog auch für Hohlkabel Verwendung finden. Als Tracer dient z. B. Br 82 in Form von Methylbromid, das man dem Füllgas (Stickstoff) beimengt. Befindet sich das Kabel über der Erde, so kann die infolge des Lecks vorhandene Strömung direkt verfolgt werden; ist das Kabel unter der Erde, so findet man die Leckstelle, an der das Bromid nach einiger Zeit auch an die Oberfläche diffundiert, durch Abschreiten der Strecke mit einem Messgerät [3].

Ein weiteres Anwendungsbeispiel von Leitisotopen ist die Untersuchung von Mischvorgängen. Der Herstellungsprozess einer bestimmten Elektrodenart (Metallurgische Schmelzelektroden) erfordert eine gründliche Durchmischung mehrerer Bestandteile (hauptsächlich Kohle und Pech). Mit Hilfe eines Tracers (Na 24 in Form von Natriumacetat), den man einige Minuten nach Beginn des Mischvorganges der Maschine zusetzt, und Entnahme von Messproben an verschiedenen Stellen und zu verschiedenen Zeiten, kann der zeitliche Verlauf und die Homogenität des Mischprozesses geklärt werden [4].

Die Wirksamkeit einer Zementeinspritzung in den Boden, wie sie beim Bau von Kraftwerkdämmen bei porösem Untergrund zur Befestigung angewandt wird, kann durch Beigabe eines Radioisotops in den Zement untersucht werden. In Bohrlöchern rund um die Einspritzstelle wird mit einer Meßsonde die Reichweite und Verteilung des Zements ermittelt [5].

Um Metalldrähte in einem kontinuierlichen Verfahren mit Kunststoff überziehen zu können, lötet man die einzelnen Drahtlängen zusammen. Da die Lötstellen aber nicht in das Endprodukt gelangen sollen, werden sie anschliessend automatisch herausgeschnitten. Diesen Schneid- oder Stanzvorgang steuert die vorher radioaktiv markierte Lötstelle selbst.

In den Vereinigten Staaten von Amerika errechnete man die durch Einführung dieses Verfahrens jährlich gemachten Einsparungen zu 30 000 $ [6].

Verschleissuntersuchungen mit Radioisotopen wurden bereits an verschiedensten Maschinenteilen, wie Kolbenringen, Zylinderbüchsen, Achsschenkelbolzen, Kolbenbolzen, Zahnrädern, Werkzeugstählen und Lagern durchgeführt. Meist ist es aus Strahlungsschutzgründen (nachfolgende Bearbeitung) nicht möglich, bereits beim Herstellen eines Prüfteils in die Schmelze ein radioaktives Isotop zu geben. Die fertig bearbeiteten Prüfteile werden daher häufig in Reaktoren aktiviert (durch Neutroneneinfang und z. T. auch andere Reaktionen entstehen radioaktive Kerne). Die gleichzeitige Bestrahlung eines Vergleichsstandards desselben Werkstoffs von bekanntem Gewicht ermöglicht später die Umrechnung von gemessener Strahlung in gewichtsmässigen Abrieb [7].

So werden beispielsweise für Verschleissmessungen beim Drahtziehen Ziehsteine aus Hartmetall im Reaktor aktiviert. Der Ziehstein-Abrieb überträgt sich beim Ziehen auf Drahtproben; diese werden 30 min in Königswasser gekocht, die Lösung eingedampft und mit Salzsäure aufgenommen. Anschliessend extrahiert man das gelöste Eisen mit Äther und misst die Radioaktivität in einem Bohrlochszintillationskristall mit Zählgerät [8]. Analog erfolgt die Untersuchung des Materialtransports an elektrischen Abhebekontakten [9].

Bei grösseren Prüfstücken kommt natürlich eine Aktivierung im Reaktor nicht mehr in Frage. Bei der Untersuchung der Korrosion von Francisturbinenschaufeln infolge Kavitation [4] behilft man sich durch Streichen der am meisten der Korrosion ausgesetzten Schaufelflächen mit geeigneter radioaktiver Farbe. Die Korrosionsrate für Metall und Farbe ist natürlich nicht gleich. Für die Bestimmung optimaler Betriebsbedingungen ist jedoch die Ermittlung einer relativen

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Verschleissrate ausreichend. Die Untersuchung ergibt eine Erhöhung der Korrosionsrate mit steigender Turbinenlast Nach Überschreiten der Optimallast (maximaler Wirkungsgrad) wächst die Korrosionsrate besonders stark an.

Eine zweite grosse Gruppe von Tracer-Anwendungen beruht darauf, dass die chemischen Eigenschaften eines Radioisotops identisch mit denen des nicht radioaktiven Isotops desselben Elements sind. Es können daher durch geeignete Messvorrichtungen Prozessabläufe, wie Ionenaustausch, Adsorption, Filmbildung, Diffusion und insbesondere chemische Reaktionen geklärt werden. Nachfolgend seien in Stichworten einige Beispiele aufgeführt:

Zur Aufklärung des Verhaltens von Silber in einer Kupferanode bei der elektrolytischen Kupfergewinnung findet das Radionuklid Ag 110 Verwendung [10]. Der Elektropoliervorgang von Aluminium wird durch mit P 32 markierter Phosphorsäure untersucht [10]. Die H-Ionenbeladung der Schirmfläche von Bildröhren ist für die spätere Haftfestigkeit des Leuchtstoffes wichtig. Verteilung und Menge der H-Ionen können über einen Ionen-Austausch (Sr 89 Cl_2) indirekt bestimmt werden [11].

In der Röhrentechnik versieht man Kathoden zur Herabsetzung der Elektronenaustrittsarbeit mit Ba-, Sr- und Ca-Oxydschichten. Das Verhalten derartiger Oxydkathoden unter Betriebsbedingungen ist für das einwandfreie Arbeiten der Röhren von einiger Bedeutung. Durch Verwendung der Radionuklide Ba 140 und Sr 89 kann die Verdampfung des Überzugsmaterials in Abhängigkeit von verschiedenen technologischen Verfahren und die Verteilung des Verdampfungsproduktes auf den einzelnen Elektroden ermittelt werden [1; 11]. Die Isolation von Heizwendeln (Wolfram) gegen die Kathode erfolgt mit kataphoretisch abgeschiedenem Al_2O_3. Die dazu notwendige Umpolung des Al_2O_3 geschieht durch Adsorption an dreiwertige Ionen, ein Vorgang, der noch nicht technisch einwandfrei beherrscht wird und durch Markierung (Ce 141) des zur Umpolung benützten Salzes untersucht werden kann [11].

In der Spektrographie spielt häufig die Art der Verdampfung des zu untersuchenden Materials von der Elektrode eine Rolle. Das Leitisotop In 113m dient zur Ermittlung des Verdampfungsvorganges von Indium aus einer Kohleelektrode [1]. Über das Verhalten von Antimon beim Herstellen von Akkumulatorplatten und Betrieb von Bleibatterien geben Messungen mit Sb 124 Aufschluss.

Analoge Verwendung finden Radionuklide bei kinetischen Untersuchungen über den Ionenaustausch in Lapislazuli [5] und an Glaselektroden [12], der Analyse von elektrolytischen Vorgängen [13; 14] und der Untersuchung des Schweissvorgangs in Lichtbogen [15].

3. Autoradiographie

Da die radioaktive Strahlung auch mit geeignetem Filmmaterial nachgewiesen werden kann, ist es mit Hilfe von Radionukliden möglich, sog. autoradiographische Aufnahmen vom Verteilungsmuster des Nuklids herzustellen. Diese Methode ist insbesondere in der Metallurgie von grosser Bedeutung [16].

Bei Halbleitermaterial (Germanium) wird die Verteilung von Verunreinigungen (Antimon, radioaktiv markiert durch Zusatz von Sb 124 zur Germaniumschmelze) durch Zerschneiden des erstarrten Materials in Scheiben und Herstellung autoradiographischer Aufnahmen untersucht [11; 17].

4. Impulshöhenanalyse und Aktivierungsanalyse

Die von einem Radionuklid emittierte Strahlung ist charakteristisch für dieses Nuklid; ein Radionuklid sendet beim Zerfall ein oder mehrere Alpha- (= Heliumkerne), Beta- (= Elektronen) und/oder Gamma- (= Photonen) Teilchen von ganz bestimmter Energie aus. Durch Impulshöhenanalyse insbesondere bei Gammastrahlen kann man daher bestimmte Nuklide erkennen. Dies benützt man bei der Tracertechnik etwa zur getrennten Messung zweier Isotope (z. B. Fe 59 und Cr 51); besonderen Nutzen bringt das Verfahren in der Aktivierungsanalyse. Hier werden auf bestimmte Spurenelemente zu untersuchende Proben z. B. im Reaktor aktiviert und anschliessend vermessen [18]. Der Nachweis gelingt in vielen Fällen mit extrem hoher Empfindlichkeit. Die elektrischen Eigenschaften von Halbleitern bzw. Lumineszenzeigenschaften von Phosphoren sind in hohem Masse von Verunreinigungen abhängig. Oft spielen hier schon Mengen eine Rolle, die mit üblichen analytischen Methoden nicht mehr erfasst werden können, so dass man zur Aktivierungsanalyse greift.

5. Isotopenanwendungen, die auf einfachen Wechselwirkungsvorgängen von Strahlung mit Materie beruhen

Weitere zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten beruhen auf der Wechselwirkung der von Radionukliden ausgehenden Strahlung mit Materie. Hiezu gehören die Absorption und die Streuung von Beta- und Gammastrahlung sowie das Auslösen von Kernreaktionen (Neutronenquellen).

Die Schwächung der Gamma- bzw. Betastrahlung beim Durchgang durch Materie sowie die Intensität der von einem Körper rückgestreuten Beta- und Gammastrahlung ist abhängig von:

a) Intensität und Energie der einfallenden Strahlung;
b) Geometrie der Messanordnung;
c) Flächengewicht (= Produkt aus Dicke und Dichte) des Absorbers bzw. Streukörpers;
d) u. U. von der Ordnungszahl bei Gammastrahlen bzw. dem Verhältnis Ordnungszahl zu Atomgewicht sowie der Ordnungszahl allein bei Betastrahlen.

Durch Konstanthalten aller Einflussgrössen bis auf eine Messvariable ist damit die Grundlage gegeben für Messungen der Dicke, der Dichte und u. U. zur Analyse von Zweistoffsystemen, Schichtdickenmessung usw.

5.1 Radiographie

In der Gamma- und für sehr kleine Wandstärken der Betaradiographie macht man zur Herstellung von «Durchleuchtungsbildern» von der zusätzlichen Eigenschaft der Kernstrahlung, geeignetes photographisches Material zu schwärzen, Gebrauch. So ist der radiographische Nachweis von Lunkern, Rissen, Poren u. dgl. in Gussteilen (z. B. Turbinengehäusen, Kaplanturbinenschaufeln und Fittings) und Schweissnähten von Druckkesseln und Rohrleitungen auch im Kraftwerk- und Reaktorenbau längst Routine geworden [19; 20; 21; 22]. Die Gammaradiographie kann aber auch für so ausgefallene Problemstellungen, wie die Feststellung eines Defektes am stromführenden Draht eines Polumschalters herangezogen werden [23].

5.2 Dicke- und Dichtemessungen, Füllstandskontrolle

Zu den Gammaschwächungsverfahren ist auch die Bodendichte-Messung zur Ermittlung der Untergrundfestigkeit [2]) [24], [19; S. 141] und die Kontrolle von Wanddicken an komplizierten Gusskörpern (Turbinengehäusen) [19; S. 142] zu zählen.

Die neuere Entwicklung bei der Bodendichtebestimmung und bei der Dichtemessung von Gesteinen in Bohrlöchern geht in Richtung auf Verwendung der Gamma-Rückstreuung [19; S. 147], [25; 26].

Die Abhängigkeit der Beta-Rückstreuung von der Ordnungszahl benützt man bei der Schichtdickenmessung. Von technischem Interesse sind derartige Messungen für Chrom auf Aluminium, Kupfer auf Kohle, Silber und Gold auf Messing und für Gummi auf Stahl. Liegt z. B. auf einer Messinggrundschicht eine dünne Goldschicht (dünner als die halbe Reichweite der Beta-Strahlen), so ist die gemessene Rückstreuintensität abhängig von der Dicke der Goldschicht. Die Messempfindlichkeit ist durch den Unterschied der Ordnungszahlen bestimmt und erreicht z. B. für Chrom auf Aluminium $\pm$ 3 % der Chromschichtdicke [19; S. 151], [27; 28].

Ein breites Anwendungsgebiet der Gamma-Dichtemessung ist die Füllstandskontrolle an Behältern, Bunkern usw. Im einfachsten Fall befinden sich an gegenüberliegenden Stellen der Aussenwand des Behälters ein Gammastrahler bzw. Messgerät (Zählrohr oder Szintillometer). Die gemessene Strahlenintensität zeigt an, ob die Füllung über oder unter der Verbindungslinie Strahler—Empfänger liegt. Die Anordnungen sind, je nach Einsatz, sehr mannigfaltig und finden z. B. auch zur kontinuierlichen Füllstandsmessung in einem Kohlenstaub-Bunker Verwendung [19; S.138].

Ein interessantes, mit Hilfe der Gamma-Absorption gelöstes Ortungsproblem ist die Axialverschiebung von Turbinenläufern. Mit dem Läufer wird ein kleines Präparat verbunden, das durch eine scharfe Ausblendung auf einen Empfänger (Zählrohr) wirkt. Kleine Verschiebungen des Strahlers aus der Mittelachse der Blende verursachen starke Änderungen der hinter der Blende gemessenen Intensität [19; S. 134], [29].

5.3 Feuchtigkeitsmessung

Die von Radium emittierte Alpha-Strahlung reagiert mit Beryllium unter Abgabe von schnellen Neutronen. Die Verlangsamung (Moderierung) dieser Neutronen erfolgt besonders wirksam an Wasserstoffatomen, so dass mit Hilfe eines Detektors für langsame Neutronen unter gewissen Bedingungen Feuchtigkeitsmessungen [19; S. 152], [40], z. B. auch des Bodens [25; 26], [5; S. 34], möglich sind.

5.4 Quantitative Analyse

Der Vollständigkeit halber sei ein weiterer Wechselwirkungsprozess zwischen Strahlung und Materie aufgeführt. Wie bei der Analyse durch Röntgen-Fluoreszenz kann man auch durch die von Radioisotopen ausgesandte Strahlung die für die einzelnen Elemente charakteristischen Röntgen-Spektrallinien hervorrufen und zum Beispiel zur chemischen Analyse von einfachen Systemen (wie Lösungen, Erzen und Zweistofflegierungen) sowie zur Schichtdickenmessung ausnützen [30; 41].

[2]) Man hofft auf diese Art und Weise bei der Fundamentierung von Bauvorhaben (z. B. auch bei Dämmen) das Ausheben von «trial holes» zu umgehen.

6. Chemische Ausnützung der Strahlungswirkung

Ein sehr grosses Anwendungsgebiet eröffnet sich den Radionukliden in der chemischen und pharmazeutischen Technik (z. B. Sterilisation von medizinischen Geräten sowie Konservieren von Nahrungsmitteln) und beim Ausnutzen der Kernenergie für chemische Prozesse (z. B. Werkstoffveränderung durch Strahlungseinwirkung) [31]. Für die Elektroindustrie kann diese Entwicklung durch Gewinnung neuer Werkstoffe oder von Werkstoffen mit veränderten elektrischen und mechanischen Eigenschaften (insbesondere bei Kunststoffen) von Bedeutung sein.

7. Leuchtfarben

Bei der Wechselwirkung von Alpha- oder Betastrahlern mit Materie wird ein Energieanteil zur Anregung der Elektronenhüllen abgegeben. Diese Energie wird bei den sog. Phosphoren wieder teilweise als sichtbares Licht abgestrahlt. Hierauf beruht die Verwendung von Radionukliden (Radium, Promethium, Tritium) in Leuchtstoffen [19; S. 158], [32; 39].

8. Ionisierende Strahlenwirkung

Energiereiche Strahlen geben bei der Wechselwirkung mit Materie einen Teil ihrer Energie durch Ionisation ab. Die Ionisationsdichte nimmt dabei von den Alpha- über die Beta- zu den Gammastrahlern stark ab. Die ionisierende Strahlenwirkung dient u. a. der Erleichterung der elektrischen Entladung in Gasen, z. B. bei Spannungsmessungen mit Funkenstrecken (Überschlagstrecke mit UV-Licht oder Radium bestrahlt), der Erleichterung der Zündung in Explosionsmotoren (den Elektroden der Zündkerzen wurde der Alpha-Strahler Polonium beigegeben) sowie gasgefüllten Entladungsröhren (Einbau radioaktiver Substanzen oder Zugabe radioaktiver Gase) [19; S. 156], [33, 11].

9. Isotopenbatterien

Schon frühzeitig wurde der Gedanke geäussert, die Strahlungsenergie von Radionukliden in sog. Kernbatterien auszunutzen. Die praktische Verwirklichung kann hiebei auf dem Umweg über die Wärme erfolgen, aber auch eine direkte Konvertierung von Strahlungsenergie in elektrische Energie ist möglich. Da beim Betrieb von Kernreaktoren grosse Mengen von Radionukliden (insbesondere Spaltprodukten) anfallen, finden Kernbatterien in Spezialfällen (Erdsatelliten und unbemannte Wetterstationen) schon heute Verwendung [34; 35; 42; 43; 44].

10. Anwendung von Radionukliden in Sicherheitsanlagen und zur Regelung von Betriebsabläufen

Als Sicherheitsanlagen werden Strahlenschranken bei der automatischen Bremsung im Fahrbetrieb, der Geschwindigkeitskontrolle von Strassenbahnen, der Zugschlussmeldung und der automatischen Steuerung von Signalen eingesetzt [30; 37; 38].

Einer der Hauptvorteile radioaktiver Messungen (Dicken-, Dichte-, Füllstands- und Feuchtigkeitsmessungen) ist, dass die Ergebnisse in Form von elektrischen Stromimpulsen anfallen und daher unmittelbar zum Regeln und Steuern von Betriebsabläufen verwertbar sind. So finden bereits heute

insbesondere in den hochindustrialisierten Staaten Regelsysteme, die auf den bekannten, weiter oben beschriebenen Messmethoden mit Radionukliden aufbauen, bei der Qualitätskontrolle von Papier, Gummi, Metallen, Kunststoffen, Tabak, Überzügen, Imprägniermaterial usw. Verwendung [26; 36]. Fachleute glauben, dass die Isotopentechniker zusammen mit den Elektronikern und Automationsfachleuten durch blosse Kombination bereits bekannter Techniken das Zeitalter der «nuklearen Automation» einleiten werden [24; 26].

Abschliessend sei nochmals betont, dass die gegebene Auswahl von Anwendungen radioaktiver Isotope keineswegs erschöpfend ist. Sie soll vielmehr den einzelnen Ingenieur anregen, zu untersuchen, ob gewisse Probleme seines Verantwortungsbereiches wirtschaftlich mit Isotopen zu lösen sind. Genauere Informationen über isotopenmesstechnische Einzelheiten sind dann aus der Fachliteratur ersichtlich. Auch empfiehlt sich die Konsultierung von Institutionen und Forschungsinstituten, die sich mit der praktischen Isotopenanwendung beschäftigen.

Literatur

Abkürzungen

G. B. I 15 = Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Genf 1955, vol. 15.

G. B. II 19 = Proceedings of the Second U. N. International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Genf 1958, vol. 19.

[1] *Kimura, Kenjiro:* Applications of Radioisotopes to Research and Industrial Problems in Japan. G. B I 15, S. 220...225.

[2] *Beatty, K. O.* u. a.: Radioisotopes in the Study of Fluid Dynamics. G. B. I 15, S. 194...198.

[3] *Dr. Hogrebe, Kernforschungszentrum Karlsruhe:* Persönliche Mitteilungen.

[4] *Been, U.* und *E. Saeland:* Some Industrial Uses of Radioisotopes in Norway. G. B. I 15, S. 170...173.

[5] *Lévêque, P.* u. a.: Some New Applications of Radioelements in France. G. B. II 19, S. 34...41.

[6] *Clancy, M. J.:* Radioactive Wire-Splice Tags. Nucleonics 19(1961)3, S. 84.

[7] *Djatschenko, P. J.:* Verschleissuntersuchungen mit Hilfe radioaktiver Isotope. Berlin Technik 1958.

[8] *Dahl, W.* und *Lueg, W.:* Über ein Verfahren zur Verschleissmessung beim Drahtziehen mit aktivierten Ziehsteinen. Stahl und Eisen 76(1956)5, S. 257...261.

[9] *Dietrich, M.* u. a.: Untersuchungen des Materialtransports an elektrischen Abhebekontakten mit Hilfe radioaktiver Isotope. Z. angew. Phys. 12(1960)12, S. 538...544.

[10] *Kato, Masao:* Brief Review of Applications of Isotopes in Process and Quality Control. G. B. I 15, S. 167...169.

[11] *Rössler, Ch.:* Radioaktive Isotope in der Elektronenröhren- und Halbleiterindustrie. Isotopentechn. 1(1960)1, S. 25...26.

[12] *Schwabe, K.* und *H. Dahms:* Untersuchung des Ionenaustausches an Glaselektroden mit Radioindikatoren. Isotopentechn. 1(1960)2, S. 34...39.

[13] *Saito, T.:* Process Analysis by Radioisotopes in the Chemical and Metalurgical Industries. G. B. II 19, S. 201...212.

[14] *Simnad, M. T.:* Advances in the Application of Radioisotopes and Nuclear Irradiation in Metallurgical Research. G. B. II 19, S. 193...198.

[15] *Brook, B.:* A Study of Element Redistribution in Metall Alloys and Welds by Autoradiographic and Radiometric Methods. G. B. II 19, S. 219...230.

[16] *Kishkin, S. T.* und *S. Z. Bockstein:* Distribution and Diffusion of Components in Metall Alloys studied by the Autoradiographic Method. G. B. I, B. 15, S. 87...98.

[17] *Riezler W.* und *W. Walcher:* Kerntechnik. Stuttgart: Teubner. S. 318.

[18] *Born, H.-J.:* Zum Entwicklungsstand und Anwendungsbereich der Aktivierungsanalyse. Kerntechn. 3(1961)1, S. 12...14.

[19] *Berthold, R.:* Stand und Entwicklung der industriellen Anwendung geschlossener Radioisotope. Dechema-Monographien, Bd. 30, S. 133...162; dort weitere Literaturangaben.

[20] *Anonym:* G. B. I 15, 3 Veröffentl., S. 174...180.

[21] *Baimler, M.:* The Present State of the Utilization of Radioactive Isotopes for the Nondestructive Testing of Materials in Czechoslovakia. G. B. II, B. 19, S. 51...59.

[22] *Listwan, W.:* Anwendung radioaktiver Nuklide zur Kontrolle von schwer zugänglichen Dampfkesselschweissnähten. Isotopentechn. 2(1962)2, S. 40...42.

[23] *Rumyantsev, S. V.* und *L. N. Matsyuk:* Thulium 170, Europium-155 und Cerium-144 Isotopes as Sources of Radiation for Checking Thin-walled Products. G. B. II(1959)19, S. 120...126, Abb. 14.

[24] *Putman, J. L.:* Recent Developments in the Use of Radioisotopes for Industrial Research and Process Control. G. B. II(1959)19, S. 23.

[25] *Pecsok, D. A.* u. a.: Beneficial Applications of Radiation in Sanitary Engineering. G. B. II(1959)19, S. 333...337, insb. S. 335.

[26] *Aebersold, P. C.* und *E. E. Fowler:* Recent Developments in Industrial Applications of Isotopes: Gaging and Nondestructive Testing. G. B. II (1955)19, S. 76...83, insb. S. 81.

[27] *Berthold, R.:* Schichtdickemessungen mit Beta-Strahlen und Zählrohr. Z.-VDI 97(1954)7, S. 207...210.

[28] *Danguy, L.* und *F. Grard:* G. B. II(1959)19, S. 176...179.

[29] *Schultz, W. W.* u. a.: The Use of Activation in Making Isotope Techniques more Available to Industry. G. B. II(1959)19, S. 112...119.

[30] *Fisher, C.:* Neuere technische Isotopenanwendungen. Atomwirtsch. 4(1961)10, S. 480...482.

[31] *Sheard, H.:* Zukunftsaspekte der industriellen Isotopenanwendung. Atomwirtsch. 4(1961)10, S. 477...479.

[32] *Heusinger, H.:* Luminiszenzanregung mit Tritium-Beta-Strahlung. Kerntechn. 3(1961)2, S. 67...70.

[33] *Reifenschweiler, O.:* A Suitable Tritium Carrier for Gas Discharge Tubes. G. B. II 19, S. 360...362.

[34] *Riehl, N.:* Radionuklide als Energiequelle. Kerntechn. 3(1961)1, S. 8...11.

[35] *Wenzel, P.:* Gewinnung von Elektroenergie aus radioaktiven Isotopen. Isotopentechn. 2(1962)3, S. 85...92.

[36] *Sahner, G.:* Die Dimensionierung von Strahlenrelais und mit Isotopen arbeitenden Grenzwertschaltern. Isotopentechn. 1(1960/61)4, S. 107...109; 7, S. 204...207; 8, S. 236...238.

[37] *Häusler, W.:* Anwendung radioaktiver Isotope im Fahrbetrieb des Braunkohlenbergbaus. Isotopentechn. 1(1960/61)5/6, S. 155...156.

[38] *Netz, V.:* Die Anwendung von Strahlenschranken im Verkehrswesen. Isotopentechn. 1(1960/61)5/6, S. 157...158; 7, S. 207...209.

[39] *Born, H.-J.:* Radioaktives Licht. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Atomenergie und Wasserwirtschaft. Radionuklide, —(1960)2.

[40] *Kühn, W.:* Feuchtigkeitsbestimmung durch elastische Streuung schneller Neutronen. Atomprax. 5(1959), S. 135...137.

[41] *Kühn, W.:* Zur Röntgen-Fluoreszenzspektroskopie mit radioaktiven Isotopen. Nukleonik 4(1962)1, S. 30...33.

[42] *Morse, J. G.* und *D. G. Harvey:* Nuclear Energy in Space-Radioisotope Auxiliary Power Systems. Aero Space Eng. 20(1961), S. 8...9; S. 58...62.

[43] *Morse, J. G.:* Suap Radioisotopic Power Systems. Trans. IRE on Nuclear Sci. NS-9(1962)1, S. 34...44.

[44] *Fleury, G.:* Nuclear Energy and Space Problem. Energie Nucleaire 4, S. 78...84.

Adresse des Autors:

Dipl.-Ing. *K. Detzer,* Isotopen-Studiengesellschaft e. V., Postfach 16 445, Frankfurt/M. (Deutschland).

Österreichische Energieanlagen im Bau *)

Von *E. Königshofer,* Wien

621.311.21 : 621.311.22 : 621.311.4 (436)

Dem unverminderten Anstieg des Energiebedarfes Rechnung tragend, wird der Energieanlagenbau in Österreich fortgesetzt. Nachfolgend werden die gegenwärtig getätigten Bauten aufgezählt und kurz erläutert, wobei die Wasserkraftwerke unter 1, die Dampfkraftwerke unter 2 und die Umspannwerke und Freileitungen unter 3 besprochen werden.

En Autriche, l'aménagement d'installations de production d'énergie électrique se poursuit activement, afin de pouvoir satisfaire aux besoins qui ne cessent de s'accroître. L'auteur énumère et décrit succinctement les ouvrages en cours, au chapitre 1 les usines hydroélectriques, au chapitre 2 les usines thermoélectriques et au chapitre 3 les postes de transformation et les lignes aériennes.

1. Wasserkraftwerke

Im Kaunertal in Tirol errichtet die TIWAG [1]) ein Grosskraftwerk für 325 MW, das einerseits durch seine Bedeutung für die europäische Energieversorgung, anderseits durch die technische Ausführung besonderes Interesse beansprucht. Die Nutzung der Donau findet im Ausbau der grössten Stufe Aschach ihre Fortsetzung. Der tiefe Stau von 40 km beeinträchtigt den Unterwasserspiegel des seit rd. 40 Jahren

[1]) Tiroler Wasserkraftwerke AG.

*) Eingang des Manuskriptes bei der Redaktion: 18. Juli 1963.