

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

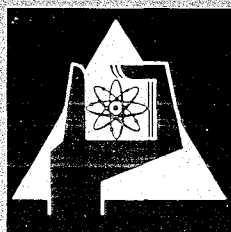
November 1969

KFK 1089

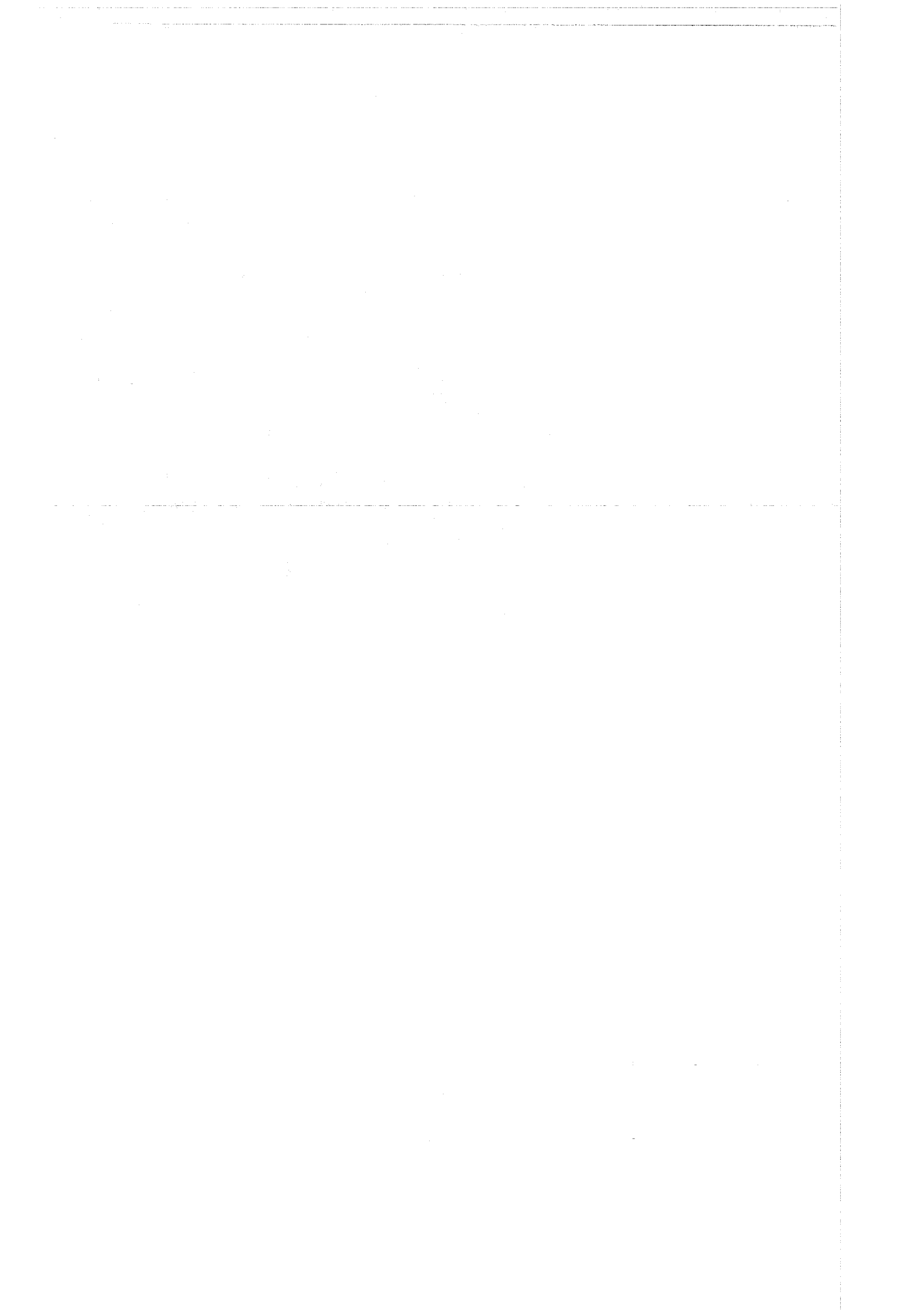
Laboratorium für Isotopentechnik

Isotopentechnik in der Textilindustrie

H. Vogg



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE



Dr. Hubert Vogg

Laboratorium für Isotopentechnik, Gesellschaft für Kernforschung m. b. H., Karlsruhe

Isotopentechnik in der Textilindustrie

Vortrag zur 8. Internationalen Chemiefasertagung am 18. 6. 1969 in Dornbirn/Österreich

Unter Isotopentechnik wird allgemein die Anwendung radioaktiver Stoffe verstanden. Diese Beschränkung auf ausschließlich radioaktive Isotope ist vom Wort Isotopentechnik allein nicht ableitbar; sie ist vielmehr durch den Verlauf der Entwicklung nur so zu erklären, daß aus dem häufigen Gebrauch von Radioisotopen und deren Anwendung eine eigene Technik entstanden ist, für die man schließlich in abgekürzter Form „Isotopenanwendung bzw. Isotopentechnik“ als feststehende Begriffe geprägt hat.

Isotopentechnik im Sinne der folgenden Ausführungen soll so verstanden werden, daß die Strahlung radioaktiver Stoffe dabei ausschließlich als Erkennungsmerkmal benützt wird, sei es, daß man aus einer gemessenen Strahlungsschwächung heraus bestimmte Aussagen über das Absorbermaterial machen kann, sei es, daß man mittels der Strahlung einen radioaktiven Stoff an einer bestimmten Stelle lokalisieren oder seinen Weg verfolgen kann. Nicht betrachtet wird, entsprechend der gegebenen Definition, die technische Strahlenchemie, bei der die Strahlung allein als Energielieferant dient. Hier ist nicht nur die Anwendung eine völlig andere, sondern auch der Anwender selbst muß über andere fachliche Voraussetzungen verfügen, als sie vom „Isotopentechniker“ im erstgenannten Sinne erwartet werden.

1. Notwendige Grundbegriffe

Will man radioaktive Stoffe in der Technik einsetzen, so ist die Kenntnis folgender Einzelheiten wichtig:

- a) Art der Strahlung
- b) Energie der Strahlung
- c) Aktivitätsmenge
- d) Halbwertszeit
- e) Verfügbarkeit
- f) spezifische Aktivität
- g) Nachweismöglichkeiten
- h) Radiotoxizität und Strahlenschutz

Zu a)

Neben der Alpha-, Beta- und Gammastrahlung wird in der Isotopentechnik noch die Neutronenstrahlung ausgenützt. Diese Neutronenstrahlung kommt zustande, wenn man Alpha-Teilchen, beispielsweise von Americium-241, auf Beryllium einwirken läßt. Dabei findet eine sogenannte (α, n)-Reaktion statt, d. h. nach Absorption eines α -Teilchens durch einen Beryllium-Kern wird aus dem gebildeten Zwischenkern ein Neutron emittiert.

Zu b)

Für die Energie der Strahlung stehen unter den heute zugänglichen Radionukliden sowohl für Beta- wie für Gamma-Strahler Energien zwischen einigen keV und einigen MeV zur Verfügung. Die Strahlungsenergie ist wichtig, weil die Möglichkeit der Durchstrahlung von Materie davon stark abhängt.

Zu c)

Die Aktivitätsmenge wird in Curie (Ci) oder in dazu kleineren Einheiten in Millicurie (mCi = 10^{-3} Ci) oder in Mikrocurie (μ Ci = 10^{-6} Ci) angegeben. 1 Curie bedeutet, daß $3,7 \cdot 10^{10}$ radioaktive Zerfälle/sec stattfinden.

Zu d)

Die Halbwertszeit eines radioaktiven Stoffes gibt die Zeit an, in der seine Aktivität auf die Hälfte abnimmt. Nach zwei Halbwertszeiten ist die Radioaktivität auf $1/4$, nach 10 Halbwertszeiten auf etwa $1/1000$ der Ausgangsaktivität abgeklungen. Für die Halbwertszeit beim Einsatz von Radionukliden gibt es ebenfalls breite Auswahlmöglichkeiten. Radionuklide mit

Sekunden-Halbwertszeiten bis hin zu solchen mit Halbwertszeiten von mehreren Jahren stehen zur Verfügung.

Zu e)

Unter Verfügbarkeit ist zu betrachten, ob ein radioaktiver Stoff leicht, z. B. käuflich, zugänglich ist, bzw. unter welchen Voraussetzungen er in einem Reaktor oder Zyklotron hergestellt werden kann.

Zu f)

Die spezifische Aktivität gibt die erzielte Aktivität pro Masse des Ausgangselementes an. Sie muß manchmal für das Gelingen eines Versuches möglichst hoch sein, z. B. wenn hohe Verdünnungen während eines Versuchsablaufes auftreten. Die spezifische Aktivität kann entsprechend den Gesetzen für die Erzeugung eines radioaktiven Stoffes nur bis zu einem bestimmten Maximalbetrag, der sog. Sättigungsaktivität, erhöht werden.

Zu g)

In der hohen Nachweisempfindlichkeit für radioaktive Strahlung ist die Anwendung radioaktiver Stoffe im wesentlichen begründet. Hier besteht ein enger Zusammenhang zur Energie der nachzuweisenden Strahlung, da härtere Strahlung leichter nachzuweisen geht als schwachenergetische Strahlung.

Zu h)

Die Radiotoxizität trägt der unterschiedlichen Gefährlichkeit der einzelnen Radionuklide Rechnung. Jede Versuchsplanung muß aus der Kenntnis dieser Details heraus so erfolgen, daß keinerlei Sicherheitsrisiken während des Versuchsablaufes existieren. Dazu sind in den jeweils gültigen Strahlenschutzverordnungen die allgemeinen Regeln beim Umgang mit radioaktiven Stoffen genau festgelegt.

Durch geschickte Kombination der oben angegebenen Einzelparameter kann erreicht werden, daß ein Optimum an Information aus einem Versuch bei einem ebenfalls gegebenen Maximum an Sicherheit gewonnen werden kann.

2. Anwendungsbeispiele

Die in der Folge beschriebene mögliche Anwendung radioaktiver Stoffe gliedert sich in drei große Gebiete:

- a) Ausnutzung der Strahlung als solche, unabhängig vom die Strahlung aussendenden chemischen Element oder dessen Verbindung (Einsatz umschlossener radioaktiver Kleinstrahlenquellen, Radiometrie).
- b) Einsatz bestimmter, auch vom chemischen Element her festgelegter radioaktiver Stoffe zum Zwecke der Markierung von Materie; diese wird durch die Markierung über die Strahlungsmenge in ihrer Konzentration festgelegt (Anwendung offener radioaktiver Stoffe).
- c) Radioaktive Stoffe als Hilfsmittel der Analytik; Aktivierungen.

Zu a)

Anwendung umschlossener radioaktiver Stoffe

Unter umschlossenen radioaktiven Stoffen versteht man käuflich erwerbende Strahlenquellen, deren Radioaktivität von μ Ci bis zu etwa 100 mCi reicht.

Neben der Aktivitätsmenge sind maßgebende Kenngrößen die Art der Strahlung, die Energie der Strahlung sowie die Halbwertszeit.

Während für die Strahlenart und Strahlenenergie je nach Anwendungsproblem eine breite Variation möglich ist, soll die Halbwertszeit der verwendeten Radionuklide wegen einer guten Langzeitkonstanz der Strahlungsintensität möglichst lang sein, freilich ohne daß dabei die spezifische Aktivität zu niedrig wird. Am günstigsten sind Radionuklide mit Halb-

wertszeiten zwischen 5 und 50 Jahren. Trotz der Vielfalt von verfügbaren Radionukliden erfüllen diese Voraussetzung nur einige wenige. Es müssen daher manchmal auch Stoffe herangezogen werden, deren Halbwertszeit kleiner als 5 Jahre ist. Die wichtigsten, für Kleinstrahlenquellen sich eignenden Radionuklide sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Tab. 1 Gebräuchliche umschlossene radioaktive Kleinstrahlenquellen

Radionuklid	Halbwertszeit	Art u. Energie (MeV) d. Strahlung		
		α	β	γ
Am-241	458 a	5,4	—	0,06; 0,03
Co-60	5,2 a	—	0,31	1,17; 1,33
Cs-137/Ba-137m	30 a	—	0,51	0,66
Ir-192	74 d	—	0,67	0,32; 0,47
Kr-85	10,7 a	—	0,67	—
Pm-147	2,67 a	—	0,22	—
Sr-90/Y-90	27,7 a	—	0,54; 2,26	—
Tl-204	3,8 a	—	0,76	—

Für den Einsatz umschlossener radioaktiver Kleinstrahlenquellen in der *Textilindustrie* hat es eine Reihe von Vorschlägen, vor allem auch auf der vom Büro EURISOTOP im Mai 1967 in Evian-les-Bains veranstalteten Informations-tagung gegeben. Das Meßprinzip besteht entweder in der Durchstrahlung von textilem Material, wobei über die Strahlungsschwächung (Absorptionsverfahren) die Messung des Flächengewichts erfolgt, oder in der Ermittlung der Massenbelegung durch die Rückstreumeßtechnik, bei der nur von einer Seite an das zu prüfende Material herangegangen werden muß. Neben verschiedensten Flächengewichtsmessungen, u. a. zum Beispiel von an Rundstrickmaschinen gewonnenem Textilmaterial [1], wurden besonders Gleichmäßigkeitsprüfungen von Bändern [2, 3], die Bestimmung des Schlichteauftrags [4], Beschichtungsprobleme [5] oder die Erkennung von Dichteschwankungen im Fasermaterial [6] bzw. in Imprägnierbädern [7] als mögliche Anwendungsbeispiele demonstriert. Auch Feuchtigkeitsmessungen unter Verwendung der Neutronenmeßtechnik worden gezeigt [8].

Es herrscht der Eindruck vor, daß für derartige Anwendungen keine besonderen Entwicklungen mehr notwendig sind, sondern daß die bei Herstellern von Strahlungsmessgeräten vorhandene reichhaltige Erfahrung für derartige Meßprobleme die beste Gewähr für einen breiten Einsatz der radiometrischen Methoden auch im Textildbereich bietet.

Wenn trotzdem nicht wie erwartet umfangreich die Anwendung bisher gelungen ist, so dürfte es hierfür im wesentlichen zwei Ursachen geben:

1. Im Einzelfall mag eine bestimmte Spezialproblematik gegeben sein, die durch ein käufliches Gerät nicht automatisch und sofort gelöst werden kann, sondern einer Spezialanpassung bedarf, für die niemand Zeit und Kosten aufzubringen bereit ist.
2. Ohne die Möglichkeit von Vorexperimenten kann der Erfolg solcher Messungen manchmal schwer vorausgesagt werden, häufig mit der zwangsläufigen Konsequenz, daß finanzielle Investitionen aus Vorsichtsgründen dann nicht getätigt werden.

Beide Schwierigkeiten kann man überwinden, indem man außer den Strahlungsmessgerätfirmen isotopentechnische Laboratorien, die es in jedem Lande heute gibt, mit einschaltet. Diese Stellen arbeiten in der Regel eng mit den Strahlungsmessgerätfirmen zusammen und sind in der Lage, notwendige Spezialanpassungen durchzuführen oder mit vorhandenen Geräten in einem abzusprechenden Versuchsprogramm diese oft erwünschten Demonstrationen an Ort und Stelle eines Betriebes zu verwirklichen.

Zu b)

Anwendung offener radioaktiver Stoffe

Während für einen breiten Einsatz der radiometrischen Meßmethoden keine grundsätzlichen Schwierigkeiten existieren, sondern dafür nur nach den günstigsten organisatorischen Voraussetzungen gesucht werden muß, ist für die Anwendung offener radioaktiver Stoffe ein sehr viel massiverer Anstoß

notwendig. Ein Hauptgrund dürfte darin bestehen, daß die Markierung mit offenen radioaktiven Stoffen, die auch als Tracertechnik, Indikator- oder Leitisotopenmethode bezeichnet wird, in ihren Möglichkeiten noch zu unbekannt ist. Man muß deshalb das Prinzip kurz erläutern.

Bei diesen Verfahren will man bestimmte Reaktionen oder Produktionsströme oder auch Produkte selbst dadurch näher untersuchen, daß man artgleiche Radionuklide zur Markierung zugibt, um durch Messung deren Strahlung in Abhängigkeit von der Zeit das Verhalten des Gesamtsystems verfolgen zu können. Auf diese Weise lassen sich auch in geschlossenen Systemen Materialbewegungen oder Konzentrationsänderungen ermitteln.

Für die praktische Durchführung ist zu beachten, daß durch offene radioaktive Markierung eine Kontamination des betreffenden Systems verursacht wird und daher Strahlenschutzmaßnahmen entsprechend sorgfältig vorzuplanen und Überwachungseinrichtungen vorzusehen sind.

Im Gegensatz zum Einsatz geschlossener Kleinstrahlenquellen muß man für die Verwendung offener radioaktiver Stoffe in der Technik relativ kurze Halbwertszeiten verlangen. Es sind dies Halbwertszeiten zwischen mehreren Stunden und mehreren Tagen. Kann diese Bedingung erfüllt werden, dann ist man sicher, daß die Radioaktivität durch natürlichen Zerfall entsprechend der Halbwertszeit in einer im voraus angebbaren Zeit aus dem System wieder verschwindet.

Zu beachten sind ferner die maximal zulässigen Konzentrationen der verwendeten Radionuklide vor allem in Wasser und Luft.

Die Einhaltung dieser Forderungen muß mit genügender Sicherheit garantiert werden. Dazu sind entsprechende Meßgeräte sowie im Umgang mit radioaktiven Stoffen geschultes Personal erforderlich. Wer darüber nicht verfügt, kann von privaten wie von öffentlichen Stellen im Auftrag Versuche durchführen lassen. Manchmal besteht außerdem die Möglichkeit, durch Modellversuche die Untersuchungen vom Betrieb weg in ein Isotopenlabor zu verlegen.

Die wichtigsten Radionuklide, die für eine offene Anwendung in Frage kommen, sind in der folgenden Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2 Gebräuchliche offene radioaktive Stoffe

Radionuklid	Halbwertszeit	Art u. Energie (MeV) d. Strahlung	
		β	γ
Na-24	15,0 h	1,39	1,37; 2,75
K-42	12,5 h	3,54	1,52
Sc-47	3,4 d	0,44; 0,60	0,16
Mn-56	2,6 h	1,03; 2,84	0,85
Cu-64	12,8 h	$\beta^-0,57; \beta^+0,66$	1,34
Ge-77	11,0 h	1,56; 2,12	0,27
As-76	26 h	2,42; 2,97	0,56
Br-82	36 h	0,44	0,55; 0,78
Zr-97	17 h	1,91	1,15
Mo-99/Tc-99m	67 h	1,23	0,14; 0,74
Sb-122	66 h	1,4; 1,97	0,56
J-132	2,3 h	0,8; 1,61	0,67; 0,77
J-131	8,0 d	0,61	0,36
La-140	40 h	1,1; 1,38	0,49; 0,75; 1,6
Au-198	65 h	0,96	0,41

Für eine praktische Anwendung kommt im wesentlichen das große Gebiet der chemischen Verfahrenstechnik in Frage.

Überall wo Reaktionen ablaufen und Produkte erzeugt werden, beispielsweise bei der Faserherstellung, treten Fragen der Verweilzeit von Einzelbestandteilen zwischen verschiedenen technischen Aggregaten [9] auf. Durch radioaktive Tracermarkierung lassen sich solche Vorgänge ohne Eingriffnahme in das System durch Messung von außen, zum Beispiel an einer Rohrleitung, verfolgen.

Probleme der Durchmischung von Ausgangsstoffen treten in jedem Industriezweig, so auch in der Textilindustrie, auf. Man gibt auch hier wieder ein radioaktives Leitelement zu. Die Verteilung kann man wie folgt bestimmen: Man nimmt entweder zu verschiedenen Zeiten an verschiedenen Stellen

des Mischgefäßes kleine Probemengen ab und bestimmt darin auf einfachem radiometrischen Wege den Anteil der zugegebenen aktiven Substanz, oder man mißt von außen am Mischaggregat selbst durch aufgebaute Sonden an den interessierenden Stellen die Radioaktivität durch die Behälterwandung hindurch. In letzterem Fall kann das Ergebnis auf Schreibern registriert und nach Auswertung eine Fülle verfahrenstechnischer Details herausgefunden werden.

Betrachtet man die Probleme des Gleichmäßigkeitsauftrags, sei es nun von Farbstoffen, von Schmelzmitteln, von Appreturen oder dergleichen auf Textilien, so gibt es keine ähnlich elegante Methode des Verteilungsnachweises dieser Stoffe, als die durch radioaktive Markierung [10, 11, 12]. Dabei hat man in diesen Fällen in der sogenannten Autoradiografie ein hervorragendes Mittel, die Ergebnisse nicht etwa in einer Fülle von Zahlendaten, sondern als echtes fotografisches Abbild der realen Verteilungsverhältnisse in anschaulicher Weise zur Darstellung zu bringen.

Auf diesem Wege wird z. Z. von uns die Verteilung des als Katalysator bei der Polyesterherstellung eingebrachten Antimons in diesem Fasermaterial untersucht, ein Beispiel, an dem stellvertretend für die vielen genannten Möglichkeiten die Methode der Autoradiografie erläutert werden kann. Bestrahlt man Polyester, vorliegend am besten in Plattenform, in einem Reaktor und läßt man die Probe zum Abklingen erzeugter kurzlebiger Radionuklide etwa 1 Woche liegen, dann enthält dieses Material vorwiegend nur noch Sb-Aktivität (Sb-122 mit einer Halbwertszeit von 2,7 Tagen bzw. Sb-124 mit einer Halbwertszeit von 60,3 Tagen). Der Prüfkörper wird jetzt für einige Zeit mit einem fotografischen Film in Kontakt gebracht und nach Entwicklung der Prüfkörper als Schwärzungsbild erhalten (Bild 1).

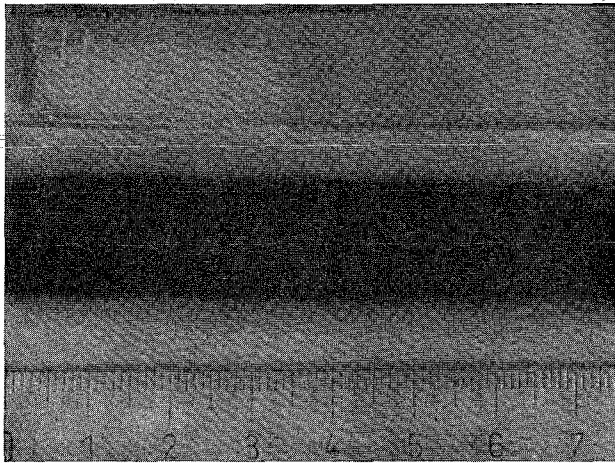


Bild 1 Sb-Autoradiografie von Polyester (Bestrahlungszeit 60 Min. bei einem Fluß von $9 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2/\text{sec}$. Verwendeter Film: Kodak AR 10, Expositionszeit 48 Stunden)

In einer Ausschnittvergrößerung (Bild 2) zeigen sich, besonders wenn man mit einer durch Belichtung mit diffusem Licht gewonnenen Aufnahme vergleicht, im Bereich von ca. 5μ Schwärzungsunregelmäßigkeiten, die auf eine in diesem Bereich ungleichmäßige Verteilung des Antimons zurückgeführt werden könnten. Durch noch empfindlichere Untersuchungen müssen darüber exaktere Aussagen noch gewonnen werden.

Denkt man weiter an das umfassende Gebiet der Verschmutzung und Reinigung von Textilien, so hat man wiederum hervorragende Anwendungsmöglichkeiten, z. B. für die Praxis des Entwicklungslabors, vor sich [13, 14].

Auf Verschleißmessungen, die besonders für den auch im textilen Bereich stark vertretenen Maschinenbausektor besonders interessant sind, sei ebenfalls hier kurz hingewiesen. Durch radioaktive Markierung bestimmter Verschleißteile können in kurzen Versuchsläufen wichtige Verschleißdaten schnell gewonnen werden.

Die angeführten Beispiele zeigen, daß diese Untersuchungen nicht so sehr für den Betriebsingenieur interessant sind, der in der Regel kontinuierliche Kontrollmessungen am durch-

laufenden Produkt haben will, sondern daß solche Versuche vor allem den Verfahreningenieur, der mit Verfahrensplanung und Produktionsoptimierung zu tun hat, ansprechen. Es ist enorm wichtig, darin eine bedeutende Aufgabe zu sehen; will man nämlich echten technischen Fortschritt erzielen, dann muß man sich mit den Grundlagen der Verfahrenstechnik in der täglichen Praxis auseinandersetzen.

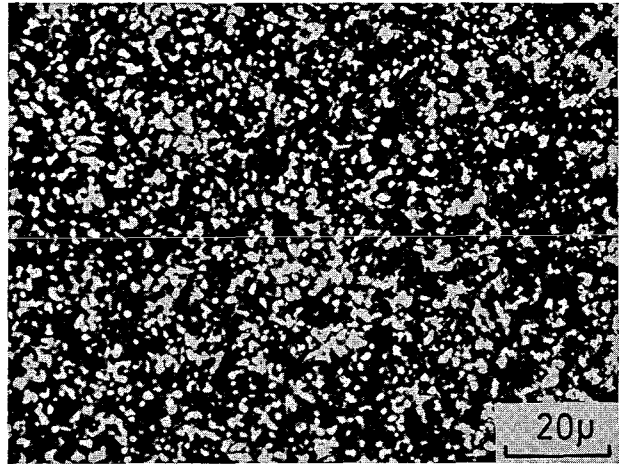


Bild 2 Ausschnittvergrößerung aus Bild 1. Sb-Autoradiografie von Polyester

Inaktive Markierungen

Trotz des großen Angebotes für Versuche mit offenen radioaktiven Stoffen ergeben sich wegen besonderer betrieblicher Gegebenheiten manchmal Anwendungsschwierigkeiten, die eine Markierung mit offenen Radionukliden nicht zulassen. Hier bietet sich die günstige Möglichkeit einer inaktiven Tracermarkierung an, bei der man den kerntechnischen Teil der Untersuchungen ins Isotopenlabor verlegt, indem man gezogene Analysenproben nachträglich aktivierungsanalytisch auf das zugegebene inaktive Leitisotop untersucht.

Das Prinzip dieses Verfahrens kann in einem praktischen Beispiel, das wir zur Zeit zusammen mit der Forschungsgesellschaft für Chemiefaserverarbeitung Denkendorf bearbeiten, gezeigt werden.

Hierbei handelt es sich um die Bestimmung der Mischkomponentenverteilung im System Polyester/Zellwolle. Polyester wurde bei seiner Herstellung mit 0,2 % Lanthan inaktiv markiert und mit diesem Material ein Mischkomponentengarn Polyester/Zellwolle im Verhältnis 70/30 hergestellt. Gibt man Garnabschnitte dieses Materials zur Aktivierung in einen Reaktor, so finden entsprechend der stofflichen Zusammensetzung des Garns verschiedene Kernreaktionen statt. Die wichtigste dieser Reaktionen ist die sogenannte Neutroneneinfangreaktion, bei der von einem Atomkern ein einzelnes Neutron eingefangen und damit ein um die Masse 1 schwereres Isotop gebildet wird. Eine derartige Reaktion geht auch das im Polyester enthaltene Lanthan ein, indem aus dem stabilen Lanthan-139-Kern durch Neutroneneinfang Lanthan-140 gebildet wird. Dieses Lanthan-140 ist radioaktiv und kann aufgrund seiner emittierten Gammastrahlung meßtechnisch bequem nachgewiesen werden. Andere im Garn erzeugte Radioaktivität, die von anderen Matrixelementen stammt (z. B. Sb), stört den Nachweis dieses Lanthan-140 nicht.

In den Bildern 3 und 4 ist jeweils das nach Reaktoraktivierung erhaltene γ -Spektrum einer reinen Polyesterkomponente sowie einer mit Lanthan markierten Polyesterkomponente dargestellt.

Da das Lanthan repräsentativ ist für Polyester, ermittelt man über die Lanthananalyse unmittelbar den Polyestergehalt und schließlich die Verteilung Polyester/Zellwolle. Der besondere Vorteil dieses aktivierungsanalytischen Nachweises liegt darin, daß täglich bis zu 200 Analysenproben auf diesem Wege verarbeitet werden können. Man hat daher in kurzer Zeit genügend statistisches Material, um die Längenvariationskurve des Mischkomponentengarns aufstellen zu können.

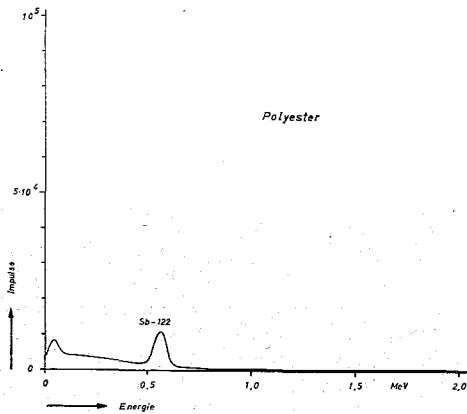


Bild 3 γ -Spektrum von neutronenbestrahltem, reinem Polyester

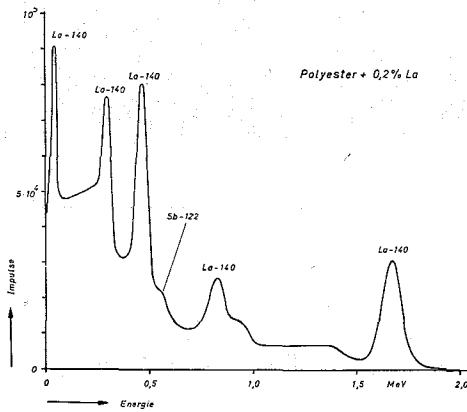


Bild 4 γ -Spektrum von neutronenbestrahltem, La-markiertem Polyester

Zu c)

Analytische Anwendungen

Offene radioaktive Stoffe leisten auch wichtige analytische Hinweise. Gibt man beispielsweise einem Reaktionsgemisch eine bestimmte Menge einer radioaktiven Lösung zu, wartet, bis eine homogene Mischung erreicht ist, und zieht dann wieder eine Probe, so kann man über eine einfach mögliche Radioaktivitätsbestimmung in dieser Probe den Verdünnungsgrad und damit leicht die Gesamtmenge des Reaktionsgemisches ermitteln (Verdünnungsanalyse).

Besondere Bedeutung hat die bereits beschriebene Methode der Aktivierungsanalyse erlangt. Mit keinem anderen Verfahren kann die Spurenelementbestimmung ohne Zerstörung der Probe ähnlich schnell und elegant durchgeführt werden. So wurden von uns ohne besondere Schwierigkeit in Polyester die Elemente Natrium, Mangan, Chlor, Brom, Zink, Gold, Caesium als Spurenelemente qualitativ ermittelt. Quantitative Analysen auf diesem Wege sind ebenfalls ohne Schwierigkeiten möglich. Die Methode hat Bedeutung, um über die Reinheit von Ausgangsmaterialien Auskunft zu erhalten oder über ein bestimmtes Spurenmuster eine Güteklassifizierung oder eine Herkunftsbestimmung zu treffen.

Neben der Spurenelementbestimmung ist die Aktivierungsanalyse als besondere Schnellanalysemethode im Makro Konzentrationsbereich ebenfalls stark zu beachten. Dazu stehen heute leicht zugängliche, käufliche Neutronengeneratoren zum Zwecke der Probenaktivierung zur Verfügung. Eine derartige Bestrahlungseinrichtung zeigen die Bilder 5 und 6.

In Bild 5 ist die eigentliche Neutronenröhre – es handelt sich um eine abgeschlossene Röhre vom Typ Philips, Quellstärke $3 \cdot 10^{10}$ n/sec –, in Bild 6 die Meßeinrichtung dargestellt. Neutronenröhre und Meßeinrichtung sind über ein Rohrpostsystem für schnellen Transport der Bestrahlungsproben miteinander verbunden.

Sauerstoffanalysen sind aktivierungsanalytisch unter Verwendung von Neutronengeneratoren im Makro- wie im Mikro Konzentrationsbereich (eine Neutronenquellstärke von $3 \cdot 10^{10}$ n/sec erlaubt bei kompakten Proben O_2 -Analysen bis zu einem Gehalt von etwa 10^{-3} %) ebenfalls leicht möglich. Ist der Sauerstoffgehalt einer reinen Faser z. B. konstant, so kann dies auch zur Feuchtigkeitsbestimmung herangezogen werden, indem einmal der Wert für getrocknete Faser ermittelt und damit jeweils der Wert der unterschiedlich feuchten Faser verglichen wird. Auf diese Weise kann sogar in Zellwolle, die einen relativ hohen Sauerstoffgehalt aufweist, die Feuchtigkeitsbestimmung bei Werten zwischen 10 und 14% auf etwa $1/2$ % genau erfolgen. Die benötigte Analysenzeit beträgt etwa 1 Minute. Die Kosten für eine Analyse liegen etwa bei DM 15.–.

3. Ausblick

Es kann kaum ein Zweifel bestehen, daß isotopentechnische Methoden auch in der Textilindustrie gute Dienste leisten können. Zwischen textilen Fachleuten und solchen der Isotopentechnik gilt es, einzelne interessante Probleme durch das gegenseitige Gespräch herauszuarbeiten und gemeinsam anzugehen.

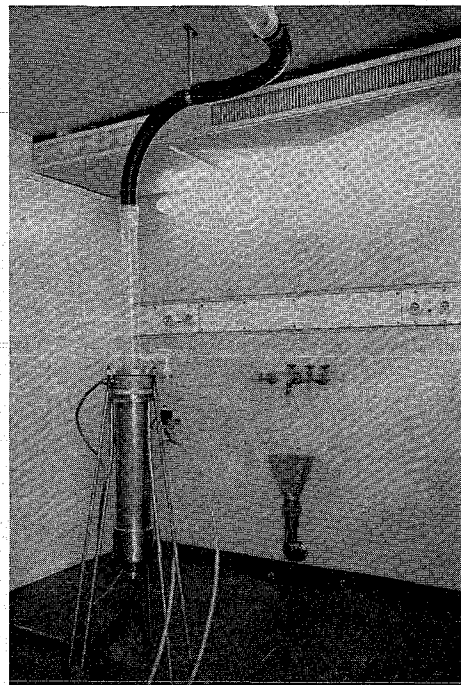


Bild 5 Neutronenröhre des Laboratoriums für Isotopentechnik der Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe

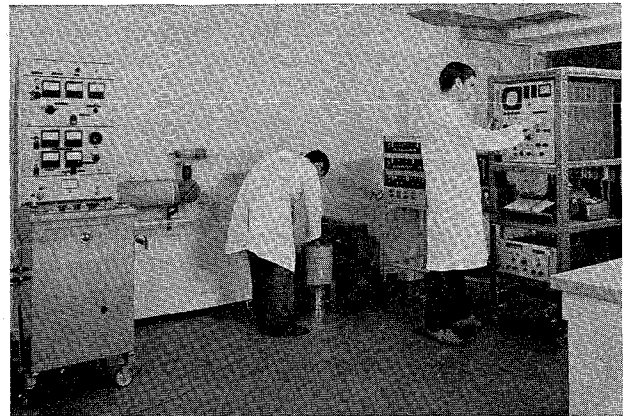


Bild 6 Meßeinrichtung zur Auswertung bestrahlter Proben, bestehend aus Multikanalanalysator und 2 NaI-4' x 4'-Detektoren. Laboratorium für Isotopentechnik der Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe

Solches Bemühen darf nicht unterminiert werden, indem in übertriebener Weise als erste Frage immer wieder die nach den wirtschaftlichen Gewinnen gestellt wird. Ökonomische Betrachtungsweise ist notwendig, sie sollte jedoch den Schlußpunkt und nicht den Auftakt isotopentechnischer Studien bilden.

Eine allgemeine Antwort auf die Frage der Wirtschaftlichkeit kann man geben. Sie lautet:

Ertragsrechnungen lassen sich bei Anwendung von umschlossenen Kleinstrahlenquellen mit festeingebauten Detektoren und Strahlungsmeßgeräten im Einzelfall immer durchführen. Dies gilt in gleicher Weise auch für die analytischen Anwendungen. Bisherige Ergebnisse sprechen für die isotopentechnischen Methoden. Bei verfahrenstechnischen Untersuchungen mit offenen Radionukliden, einer Untersuchungsmethodik, die sich mehr den Grundlagen zuwendet, ist eine Ertragsrechnung nur schwer möglich. Daraus darf man nicht ableiten, daß diese Verfahren unwirtschaftlich seien. Genau das Gegenteil ist der Fall; erkennbar wird dies freilich nur für denjenigen sein, der weiß, wieviel eine gesunde, erforschte und letztlich optimierte Verfahrenstechnik wert ist.

Meinen Mitarbeitern, Herrn Dr. *Schmitz* und Herrn *Deffaa*, bin ich für die Durchführung der autoradiografischen Untersuchungen zu Dank verpflichtet.

Literatur

- [1] *K. H. Waechter*, Möglichkeiten der Überwachung des Flächengewichts von an Rundstrickmaschinen gewonnenem Textilmaterial mittels Radionukliden. *Tex. I/13*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [2] *P. G. Caldera, M. Bona*, Von Radioisotopen gebotene Möglichkeiten zur Messung der Gleichmäßigkeit des Bandes in den Streckwerken. *Tex. I/11*, Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [3] *E. Langel, E. Kirschner*, Gleichmäßigkeitsprüfung von Bändern an der Baumwollregulierstrecke. *Tex. I/5*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [4] *E. Schenkel*, Über die Anwendung von β -Strahlen zur kontinuierlichen quantitativen Bestimmung des Schlichteauftrags. *Tex. I/24*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [5] *I. Wendt*, Kontrolle der Latexbeschichtung von Teppichen. *Tex. I/27*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [6] *D. Debuchy*, Ermittlung gelegentlicher Fehler der Faserdichte am Kardenband durch Rückstreuung und Absorption. *Tex. I/6*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [7] *H. J. Brielmaier, I. Wendt*, Kontrolle der Dichte von Imprägnierbädern bei der Naß-auf-Naß-Ausrüstung. *Tex. I/18*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [8] *L. Wiesner, W. H. Zilg*, Feuchtigkeitsbestimmung an Wollballen und an Stoffstapeln und -ballen. *Tex. I/21*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [9] *P. G. Caldera*, Kontrolle der Verweilzeit von Stoffen bei der Chemiefaserherstellung durch Anwendung radioaktiver Isotope. *Tex. II/16*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [10] *M. Rieber, G. Schulze-Pillot*, Bestimmung der Menge und Verteilung der Präparation auf Polyesterfäden durch radioaktive und inaktive Markierung. *Tex. II/6*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [11] *P. Rochas*, Untersuchungen über die Markierung von Schmälmitteln auf Garnen beim Haspeln, Spulen und Zwirnen. *Tex. II/4*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [12] *P. Rochas*, Untersuchung der Paraffinverteilung auf Trikotgarnen. *Tex. II/5*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [13] *E. Fischer*, Anwendung radioaktiv markierter Substanzen bei der Untersuchung von Wasch- und Reinigungsvorgängen. *Tex. II/10*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967
- [14] *P. Cüppers, I. Wendt*, Untersuchungen über Verschmutzungen und Reinigungsverfahren von Teppichen. *Tex. II/9*; Büro EURISOTOP, Brüssel, 1967

