

CHROM. 10,533

## VERWENDUNG EINES ORTSAUFLÖSENDE . PROPORTIONALZÄHL- ROHRES ZUR MESSUNG VON DÜNNSCHICHTCHROMATOGRAMMEN <sup>14</sup>C-MARKIERTER SUBSTANZEN

H. PIRKER, R. NIESNER und W. EGGER

*Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Schüttelstrasse 115, A-1020 Wien (Österreich)*

(Eingegangen am 29. März 1977; geänderte Fassung eingegangen am 15. Juli 1977)

---

### SUMMARY

*Use of a position-sensitive proportional counter system for measurement of thin-layer chromatograms of <sup>14</sup>C-labelled substances*

A position-sensitive proportional counter system has been developed for the quantitative determination of thin-layer chromatograms of <sup>14</sup>C-labelled substances. The described system allows simultaneous measurement of the whole chromatogram. Data interpretation (integration of peaks) is very simple with a modern multichannel analyzer.

The specific properties of the system are compared with a normally used chromatogram scanner. The usefulness of the system is demonstrated on <sup>14</sup>C-labelled chromatograms.

---

### EINLEITUNG

Die Anwendung <sup>14</sup>C-markierter organischer Substanzen ist in den verschiedensten Disziplinen der Chemie heute weit verbreitet. In vielen Fällen wird die Dünnschichtchromatographie (DC) wegen ihrer Einfachheit und wegen des geringen apparativen Aufwandes anderen Trennmethode n vorgezogen.

Grundsätzlich lassen sich bei den Auswertemethoden von Radiodünnschichtchromatogrammen (a) die direkte zerstörungsfreie Messung und (b) die Lokalisierung, anschließende Entfernung und externe Messung der Aktivität unterscheiden. Die direkte zerstörungsfreie Messung erfolgt üblicherweise mit DC-Scannern (meist fensterlose Geiger-Müller-Zählrohre)<sup>1–6</sup>, mit Halbleiterdetektoren<sup>7</sup> oder "Channel electron multiplier"<sup>3,8</sup>. Anordnungen mit einer Serie von Geigerzählern wurden ebenfalls zur direkten Auswertung von Chromatogrammen vorgeschlagen<sup>9</sup>.

Die Lokalisierung der Aktivität kann entweder mit Hilfe der Film-Autoradiographie<sup>2,4,10,11</sup>, Szintillations-Autoradiographie<sup>2,12–14</sup> oder mit Hilfe von Funkenkammern erfolgen<sup>2–4,15,16</sup>. Die quantitative Bestimmung wird zumeist nach Entfernen der Aktivitäten von der DC-Platte mittels Flüssigszintillationsmessung durchge-

führt<sup>2,4,17,28</sup>. Weniger häufig erfolgt die direkte photodensitometrische Messung der Autoradiogramme. Eine quantitative Auswertungsmethode geringer <sup>14</sup>C-Aktivitäten durch Neutronenaktivierung der Silberatome in den Flecken des Autoradiogrammes bzw. durch Indizierung mit radioaktivem <sup>203</sup>Hg beschreiben Haikal und Bobleter<sup>19</sup>.

In der physikalischen Forschung wie beispielsweise in der Hochenergiephysik<sup>20,21</sup>, Neutronenphysik<sup>22,23</sup>, Massenspektrometrie<sup>24–26</sup> sowie in der Medizin<sup>27,28</sup> finden ortsempfindliche Detektionssysteme seit geraumer Zeit ihre Anwendung. Vornehmlich bei Experimenten, in denen das systematische Ausmessen bzw. die quantitative Auswertung einzelner Positionen sehr zeitraubend ist, sind zahlreiche ortsempfindliche Zählanlagen im Einsatz. Ein eindimensionales ortsempfindliches Proportionalzählrohr wurde aus diesen Gründen für eine Kleinwinkelstreuanlage für thermische Neutronen an diesem Institut entwickelt<sup>29–31</sup>.

Um die Verwendbarkeit von ortsempfindlichen Zählrohren für die Auswertung von Dünnschichtchromatogrammen zu untersuchen, wurde gleichfalls ein eindimensionales Detektorsystem verwendet.

### Methoden der Ortsauflösung

Grundsätzlich eignen sich für die Ortsauflösung Halbleiterdetektoren<sup>28,32</sup>, Szintillationszähler<sup>33</sup>, Ionisationskammern<sup>34</sup>, Geiger-Müller-Zählrohre<sup>21,35</sup>, Funken- und Hybridkammern<sup>36–38</sup>, Proportionalzählrohre bzw. -zählkammern<sup>39–42</sup>, Driftkammern<sup>43–45</sup> und "Channel electron multiplier"<sup>46,47</sup>. Proportionalzählrohre bieten gegenüber anderen Detektoren die Möglichkeit, die aktive Zählfläche ohne allzu grossen technischen Aufwand — und damit kostengünstig — relativ gross zu gestalten.

Die Bestimmung des Einfallortes ionisierender Strahlung kann bei eindimensionalen Proportionalzählrohren entsprechend der elektronischen Impulsverarbeitung nach verschiedenen Methoden erfolgen.

Bei der Methode nach Kuhlmann *et al.*<sup>39</sup> wird der Zählendraht durch einen Widerstandsdraht ersetzt, der an beiden Enden des Zählrohres niederimpedant abgeschlossen ist. Durch das ionisierende Teilchen entsteht am Zählendraht ein primärer Stromimpuls, der sich nun entsprechend dem Widerstandsverhältnis des Drahtes vom Einstrahlort zum Zählrohrende aufteilt. Die über strom- oder ladungsempfindliche Vorverstärker abgenommenen Impulse sind umso grösser, je grösser die nach der Gasverstärkung freigesetzte Ladungsmenge ist und je näher sich der Einstrahlort beim betreffenden Zählrohrende befindet. Man erhält also an den Zählrohrenden die Impulse  $I_1 = xI$  und  $I_2 = (1 - x)I$ . Um eine Grösse zu erhalten, deren Höhe vom primären Stromimpuls unabhängig ist, muss man die Summe der beiden registrierten Impulse  $I_1 + I_2 = Ix + I(1 - x) = I$  bilden und die Division  $I_1/(I_1 + I_2) = Ix/I = x$  durchführen.

Eine weitere, sehr elegante Methode, den Einstrahlort ionisierender Teilchen in einem Proportionalzählrohr zu bestimmen, besteht darin, anstelle des Zählendrahtes einen sehr hochohmigen, mit Kohle beschichteten Quarzfaden zu verwenden<sup>40,48</sup>. Durch die Streukapazitäten des Zählrohres können an den Enden des Zählers Spannungsimpulse gemessen werden, deren Anstiegszeiten vom Einstrahlort abhängig sind. Durch geeignete Differentiation über Filterverstärker und Bestimmung der Differenz des Nulldurchganges der beiden differenzierten Impulse erhält man über einen Zeit-Höhen-Konverter einen Spannungsimpuls, dessen Höhe dem Einstrahlort proportional ist.

Die dritte Methode bei eindimensionalen Zählrohren besteht darin, die Zählrohrwand als Verzögerungsleitung auszubilden oder die in der Kathodenwand induzierten Impulse in eine Verzögerungsleitung einzugeben und anhand der Laufzeitdifferenz den Einstrahlort festzustellen<sup>49,50</sup>.

In jüngster Zeit wird von der Fa. Numelec (Versailles, Frankreich) ein Auswertgerät angeboten, in welchem in einem Proportionalzählrohr parallel zum Anodendraht ein als Verzögerungsleitung wirkender Draht zur Ortsinformation verwendet wird. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe eines Vielkanalanalysators.

In der vorliegenden Arbeit wird die Methode nach Lit. 39 angewendet.

## EXPERIMENTELLES

### Zählrohr

In ein Proportionalzählrohr von 60 cm Länge und 2 cm Durchmesser wurde ein Fenster von  $250 \times 8 \text{ mm}^2$  gefräst und mit einer beidseitig beschichteten Mylarfolie geringer Dicke ( $20 \mu\text{m}$ ) abgeschlossen. Die Folie wurde mit einem speziellen Leitsilberlack an der Zählrohraussenseite angeklebt. Um Korrosionen der Zählrohrinnenwand zu vermeiden, wurde das gesamte Messingrohr eloxiert. Als Zählendraht wurde ein Cr-Ni-Draht mit einem Widerstand von  $3.1 \text{ k}\Omega/\text{m}$  verwendet, der über PTFE-Buchsen zentriert und mittels einer Feder gespannt war. Die Zählrohrenden waren wegen des einfacheren Zusammenbaues verschraubbar. Als Zählgas fand Methan im Durchfluss Verwendung. Üblicherweise wurde das Zählrohr im Proportionalbereich bei 2.5 kV betrieben. Das Zählrohr war mit den Vorverstärkern mit dem Fenster nach oben durch eine geeignete Haltevorrichtung in einem Gehäuse eingebaut, sodass das Chromatogramm zum Ausmessen direkt auf das Fenster gelegt werden konnte. Um den durch Photoneneinstrahlung hervorgerufenen Untergrund zu senken, wurde über das Chromatogramm eine lichtdichte Folie gelegt.

### Elektronischer Aufbau

In Fig. 1 ist ein Blockscha der elektronischen Impulsverarbeitung dargestellt. Die an den Zählrohrenden abgenommenen Impulse werden über stromempfindliche Verstärker abgenommen und in Spektroskopieverstärkern weiter verstärkt.

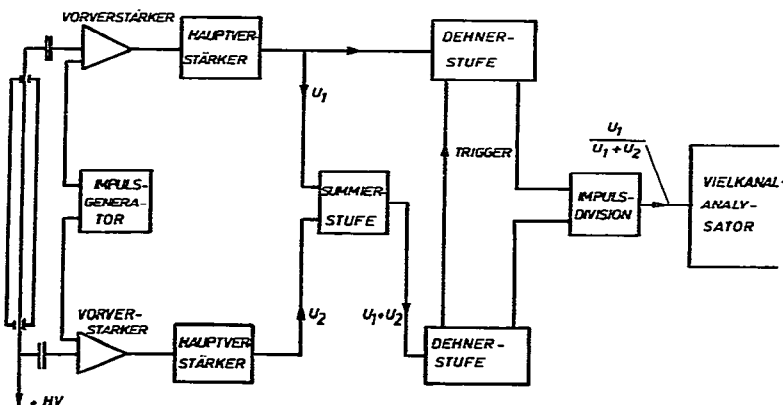


Fig. 1. Blockscha der elektronischen Impulsverarbeitung.

Die Zeitkonstante der Hauptverstärker mit  $\tau = 0.5 \mu\text{sec}$  wurde für ein optimales Signal-Rausch-Verhältnis eingestellt. Nach der Summenbildung wurden die Impulse gedehnt und in die Divisionsstufe<sup>26</sup> eingegeben. Die resultierenden Impulse wurden anschliessend in einem Vielkanalanalysator gespeichert, wobei die Kanalnummer dem Ort entsprach. Die Datenausgabe erfolgte entweder über Teletype oder mit einem Analogschreiber.

## ERGEBNISSE

Testmessungen mit Hilfe eines Rampengenerators ergaben eine maximale Impulsverarbeitungsrate bis zu  $10^4 \text{ Imp/sec}^{51}$ .

Fig. 2 zeigt das Ergebnis einer zweimaligen kollimierten Einstrahlung (Kollimator A1, 0.5 mm Schlitz, 0.4 mm Wandstärke) eines C-14 Präparates. Der Peak in der Mitte wurde mit dem erwähnten Rampengenerator erzeugt. Aus dem bekannten Abstand der beiden kollimierten Einstrahlungen (175 mm) konnte die Länge pro Kanal mit 0.415 mm errechnet werden.

Der Testpuls in Fig. 2 ergibt daher eine elektronische Auflösung mit einer Halbwertsbreite (HWB) von 1.6 mm. Die Peaks der kollimierten Einstrahlungen ergaben Halbwertsbreiten von 2.9 mm (7 Kanäle) bzw. 3.3 mm (8 Kanäle). Für die praktischen Messungen auf Dünnschichtplatten wurden je 300 nCi auf eine DC-Fertigplatte (Merck, Kieselgel 0.25 mm) aufgetragen. Die Fleckenabstände wurden so gewählt, dass die Fleckenzentren 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, und 8 mm auseinander lagen. Zur Vermeidung von Kontamination wurde die Dünnschichtplatte immer vor der Messung mit einer dünnen Mylarfolie abgedeckt. Fig. 3 zeigt die Reproduktion einer Autoradiographie der Dünnschichtplatte. Bei den Flecken, die im Abstand von 1, 2 bzw. 3 mm aufgetragen wurden, ist deutlich eine Überlagerung zu erkennen, während die Flecken mit dem Abstand der Zentren von 4 bis 8 mm eindeutig getrennt sind.

Fig. 4a und 4b zeigt das Ergebnis einer Aufnahme mit Hilfe des ortsempfindlichen Zählrohres. In Fig. 4a sind die Flecken im Abstand der Zentren von 4 mm, 5

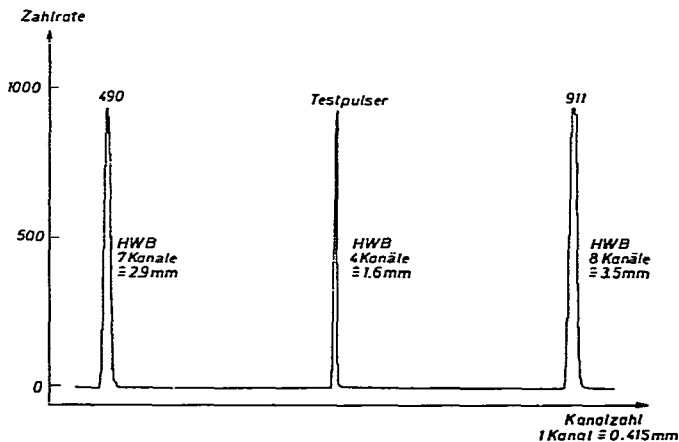


Fig. 2. Ergebnis einer zweimaligen kollimierten Einstrahlung eines  $^{14}\text{C}$ -Präparates. Kollimator A1, 0.5 mm Schlitz, 0.4 mm Wandstärke. Der Testpuls wurde mittels eines Rampengenerators erzeugt und zeigt die elektronische Ortsauflösung des Systems. HWB = Halbwertsbreite.

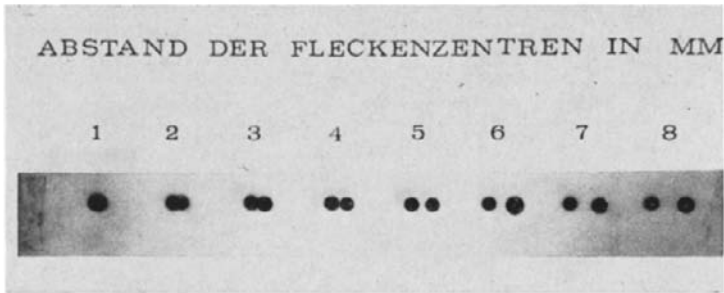


Fig. 3. Reproduktion einer Autoradiographie von einer Dünnschichtplatte, auf der Flecken mit einem Abstand der Fleckenzentren von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 mm aufgetragen wurden.

mm bzw. 6 mm deutlich als getrennt zu erkennen, während die Flecken im Abstand von 1 mm und 2 mm als ein Peak aufscheinen. Dies ist grösstenteils darauf zurückzuführen, dass diese Fleckenpaare bereits stark ineinandergeflossen sind und das Vorliegen zweier Flecken nur mehr anhand der Kontur in der Autoradiographie (Fig. 3) zu erkennen ist. Eine zweidimensionale Aufnahme könnte in diesem Fall eine entsprechende Verbesserung bringen.

Die Flecken mit 3 mm Zentrumsabstand können bei genauer Betrachtung der Fig. 4a qualitativ bereits als 2 Flecken identifiziert werden. Noch deutlicher gelingt dies bei entsprechender Vergrößerung. In Fig. 4b ist die Oszilloskopaufnahme der Flecken im Abstand von 4 mm und 3 mm dargestellt. Bei dieser Figur ist eine Einschnürung (2 Maxima) und damit das Vorliegen zweier Flecken im Abstand von 3 mm an der Peakform deutlich zu erkennen. Um die Güte des entwickelten Detektorsystems zu untersuchen, wurden Vergleichsmessungen mit einem im Gasdurchfluss betriebenen handelsüblichen Radiochromatogramm Scanner (Packard Instruments, Modell 7201) durchgeführt. Die Chromatogramme stammten aus einer Untersuchung über den hydrothermalen Abbau von  $^{14}\text{C}$ -markiertem Weizenstroh<sup>52,53</sup>. Es bot sich dabei die Gelegenheit, Chromatogramme aus der Praxis mit Hilfe des ortsempfindlichen Detektorsystems zu testen und die Ergebnisse mit den herkömmlichen Auswerteverfahren wie Autoradiographie, Dünnschicht-Scanner bzw. quantitative Messungen

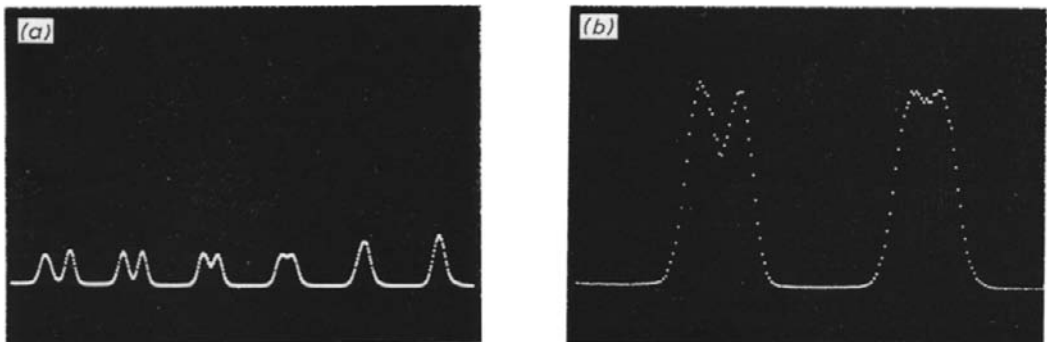


Fig. 4. Abstandschromatogramm, Messergebnis mit dem ortsauflösenden Zählrohr. Abstand der Fleckenzentren von links nach rechts 6, 5, 4, 3, 2 und 1 mm. (b) Vergrößerter Oszilloskopausschnitt aus (a). Abstand der Fleckenzentren 4 und 3 mm.

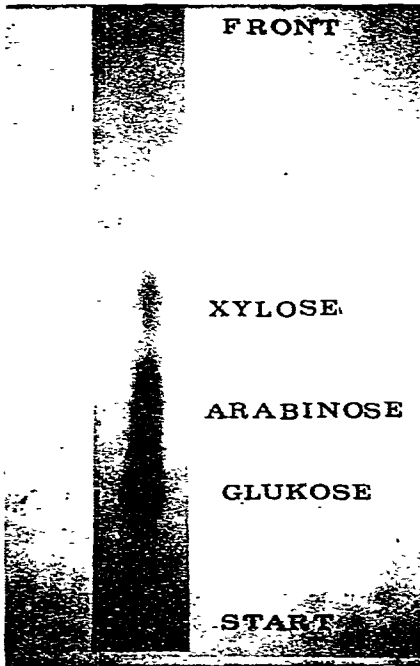


Fig. 5. Reproduktion einer Autoradiographie eines Testgemisches von  $[^{14}\text{C}]$ Glukose,  $[^{14}\text{C}]$ Xylose,  $[^{14}\text{C}]$ Arabinose, das auf einer Dünnschichtfertigplatte getrennt wurde (8 Tage Belichtungszeit).

mittels Flüssigszintillationsmessung zu vergleichen. Fig. 5 zeigt eine Reproduktion der Autoradiographie (Belichtungszeit 8 Tage) eines Testgemisches von  $[^{14}\text{C}]$ Glukose, -Xylose und -Arabinose, welches auf einer DC-Fertigplatte getrennt wurde.

Wie sich aus Fig. 5 erkennen lässt, unterscheiden sich die Aktivitäten der 3

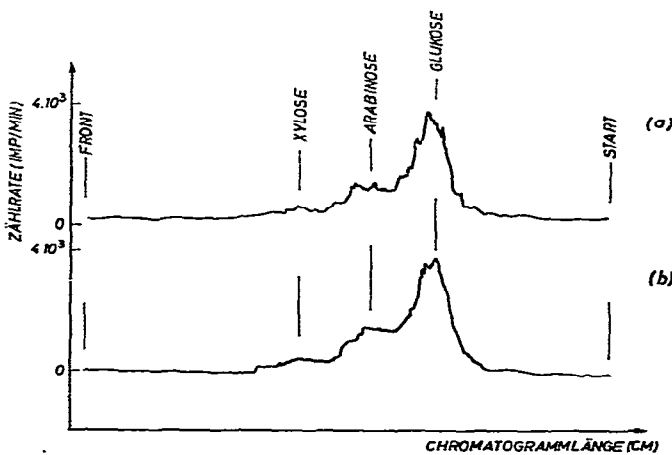


Fig. 6. Messung des  $^{14}\text{C}$ -Testgemisches mit dem Radiochromatogramm Scanner. (a) Scangeschwindigkeit 2 cm/min, Zeitkonstante  $\tau$  3 sec, Gesamtlaufzeit etwa 8.5 min. (b) Scangeschwindigkeit 1 cm/min, Zeitkonstante  $\tau$  10 sec, Gesamtlaufzeit etwa 17 min.

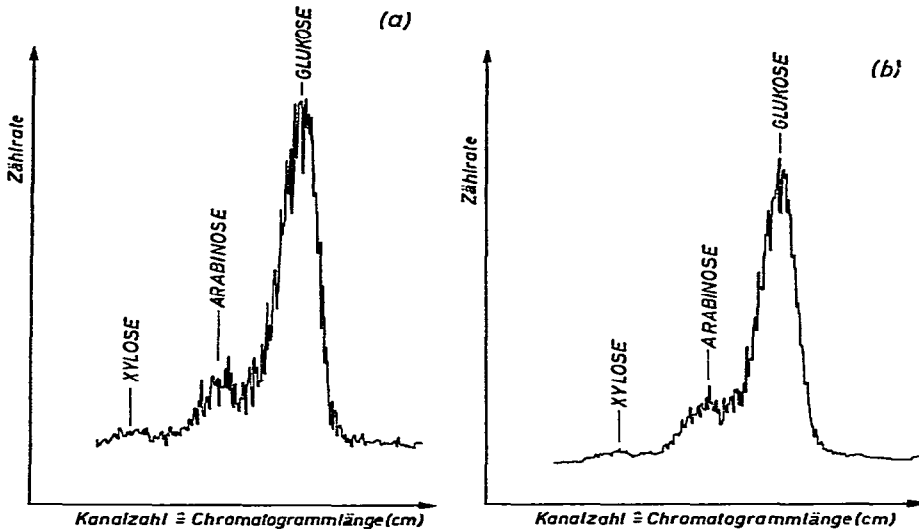


Fig. 7. Typisches Messergebnis der  $^{14}\text{C}$ -Testmischung mit dem ortsempfindlichen Zählrohr. Messzeit (a) 400 sec und (b) 800 sec.

Substanzen beträchtlich. Der Glukosefleck ist mit 46.7 nCi am stärksten, dann folgen die Arabinose mit 16.7 nCi und die Xylose mit 4.6 nCi. Die Aktivitäten Xylose:Arabinose:Glukose verhalten sich etwa wie 1:3.6:10.1. Die Dünnschichtplatte wurde mit verschiedenen Scangeschwindigkeiten und Zeitkonstanten mit dem Kollimator von 1 mm Schlitzbreite ausgemessen. Die maximale Scangeschwindigkeit von 5 cm/min lieferte kein brauchbares qualitatives Ergebnis. Die Scannergebnisse mit 2 cm/min, Gesamtlaufzeit *ca.* 8.5 min ( $\tau = 3$  sec) und 1 cm/min, Gesamtlaufzeiten 17 min ( $\tau = 10$  sec) sind in Fig. 6a und b dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass die Ergebnisse bei den vorliegenden Chromatogrammen nur dann verwertbar waren, wenn das Chromatogramm mit der Lösungsmittelfront zuerst gescannt wurde. Dadurch kam der Peak mit der geringsten Aktivität (Xylose) zuerst zum Detektor. Im umgekehrten Fall, höchste Aktivität (Glukose) als erster Peak, wurde keine Trennung (auch bei verschiedenen Zeitkonstanten) erreicht. Fig. 7a und b zeigen typische Messergebnisse des ortsempfindlichen Zählrohres (Messzeiten: Fig. 7a 400 sec, Fig. 7b 800 sec). Wie aus den Fig. 7a und 7b ersichtlich, liefert das ortsempfindliche Zählrohr ein dem Scanner durchaus ebenbürtiges Bild<sup>54</sup>.

## DISKUSSION

Die prozentuelle Zählausbeute des Detektorsystems errechnet sich aus

$$E = \frac{\text{Anzahl der registrierten Impulse} - \text{Leerwert}}{\text{Zahl der Zerfälle}} \cdot 100\%$$

Die Flecken A bis E des Abstandschromatogramms (Fig. 3) wurden von der Platte abgekratzt und die Aktivität nach Versetzen mit Dioxanzintillator mit Hilfe der Flüssigszintillationsmessung ermittelt. Die zu den jeweiligen Flecken gehörigen,

vom Detektor registrierten und im Vielkanal gespeicherten Impulse wurden durch entsprechende Integration erhalten. Durch geeignete Division konnte die zu jedem Fleck gehörende Zählausbeute bestimmt werden. Es zeigte sich eine sehr geringe Abhängigkeit der Zählausbeute vom Einstrahlort.

Die mittlere so bestimmte Efficiency ergab  $E$  0.5%. Dieser Wert ist erstaunlich gering. Die Zählausbeute von Geiger-Müller-Zählrohren, die für die Auswertung von Dünnschichtchromatogrammen nach der Scannermethode eingesetzt werden, erreichen Werte von 30 bis 50%. Der Grund für die relativ geringe Zählausbeute des ortsempfindlichen Detektorsystems in der derzeitigen Ausbaustufe liegt daran, dass aufgrund des breiten Energiespektrums der Betastrahler und der geringen Dynamik der verwendeten Divisionsstufe bei der elektronischen Impulsverarbeitung nur ein kleiner Teil der registrierten Impulse tatsächlich verwertet wird.

Von den beim Betazerfall entstehenden ionisierenden Elektronen, die in einem beliebigen Raumwinkel in das Zählrohr eindringen können, werden in der derzeit bestehenden Anordnung nur ionisierende Teilchen mit geringer Reichweite zur Bestimmung des Ortsspektrums herangezogen. Da mit dem ortsempfindlichen Detektorsystem nur der Ladungsschwerpunkt der Ionisationsspur im Zählgas nachgewiesen wird, ergibt sich naturgemäss eine grössere Ortsunschärfe für die höherenergetischen Teilchen — also für die Teilchen mit grösserer Reichweite. Diese Teilchen aus dem höherenergetischen Teil des Spektrums werden daher bei hoher Ortsauflösung nicht zur Bildung des Ortsspektrums verwertet. Bei gut getrennten Flecken kann dementsprechend durch geänderte Einstellung der Elektronik mit höherer Zählausbeute (geringere Ortsauflösung) gemessen werden. Eine entsprechende Verbesserung der Zählausbeute lässt sich entweder durch die Konstruktion flacher Zählrohre und Verwendung einer Divisionsstufe mit einer weitaus grösseren Dynamik oder aber durch eine geänderte Impulsverarbeitung nach den oben beschriebenen Methoden (Lit. 40, 48 bzw. 49, 50) erreichen. Ein wesentlicher Vorteil des ortsauflösenden Systems gegenüber einem Scanner besteht darin, dass das gesamte Radiodünnschichtchromatogramm gleichzeitig vom Detektor erfasst wird. Beim Scanner dagegen wird das Chromatogramm an der Detektoröffnung vorbeigeschoben und daher jeweils nur ein kleiner Bereich gemessen. Der Fehler von Ratemetermessungen, die Standardabweichung, hängt von der Zeitkonstante  $RC$  ab. Grosse Zeitkonstanten können die Genauigkeit der Messung erheblich steigern<sup>2</sup>. Das bedeutet, dass man bei einem Scanner bei niedrigen Aktivitäten die Messstatistik nur durch eine hohe Zeitkonstante bei entsprechend langsamer Scangeschwindigkeit und damit längerer Gesamtmesszeit des Chromatogrammes verbessern kann. Bei hohen Zählraten kann durch die Wahl einer grösseren Zeitkonstante eine Glättung der Kurven auch bei kurzer Messzeit erreicht werden. Gleichzeitig kann es aber bei einer zu hohen Integrationszeitkonstante zu einer Verfälschung des Ortsspeaks kommen, da zur Glättung des Ortsspektrums nur die Zählrate der geraden zu messenden Ortsgebiete herangezogen wird, während die Zählrate der noch auszumessenden Teile des Chromatogrammes unberücksichtigt bleibt. Im Gegensatz dazu hängt der Messfehler beim ortsempfindlichen System wie bei allen Impulsmessungen von der Messzeit bzw. den registrierten Impulsen ab. Der Erfolg einer Messung kann während der Registrierung beobachtet und damit auch beurteilt werden. Durch geeignete Programme kann eine Glättung der im Vielkanal gespeicherten Kurven vorgenommen werden, wobei im Gegensatz zu einem Scanner die gesamte vorliegende Information verarbeitet wird. Eine Integration einzelner



Peaks und damit die quantitative Auswertung ist bei modernen Vielkanalsystemen praktisch auf Knopfdruck möglich.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe eines Proportionalzählrohres wurde ein ortsempfindliches Detektorsystem für die quantitative Auswertung von Dünnschichtchromatogrammen  $^{14}\text{C}$ -markierter Substanzen entwickelt. Das vorgeschlagene Messsystem bietet gegenüber herkömmlichen Scannern den Vorteil, dass das gesamte Chromatogramm gleichzeitig gemessen wird und die Auswertung der Messung mit einem modernen Vielkanalsystem rasch und einfach vorgenommen werden kann. Die praktische Anwendung der Anlage sowie der Vergleich mit einem herkömmlichen Radiochromatogramm-Scanner wird anhand von  $^{14}\text{C}$ -markierten Testmischungen demonstriert.

#### LITERATUR

- 1 K. Figge, H. Piater und H. Ossenbrüggen, *GIT-Fachz. Lab.*, 14 (1970) 900; (1970) 1014.
- 2 M. Wenzel, in H. Simon (Herausgeber), *Anwendung von Isotopen in der Organischen Chemie und Biochemie*, Bd. 2, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1974, S. 225 ff.
- 3 S. Prydz, *Anal. Chem.*, 45 1973, 2317.
- 4 F. Snyder, *Isotop. Radiat. Technol.*, 6 (1969) 381.
- 5 G. Boucke, *Atompraxis*, 11 (1965) 263.
- 6 B. A. Wood in E. J. Shellard (Herausgeber) *Quantitative Paper and Thin-Layer Chromatography*, Academic Press, London, New York, 1968.
- 7 R. Tykva und I. Votruba, *J. Chromatogr.*, 93 (1974) 399.
- 8 S. Prydz, T. B. Melø und J. F. Koren, *J. Chromatogr.*, 59 (1971) 99.
- 9 C. W. Gilbert und J. P. Keene, *Radioisotopes in Sci. Res., First UNESCO Intern. Conf., Paris, 1957, Vol. I*, Pergamon Press, London, 1958, S. 698.
- 10 C. O. Tio und S. F. Sisenwine, *J. Chromatogr.*, 48 (1970) 555.
- 11 H. Fischer und G. Werner, *Autoradiographie*, W. De Gruyter, Berlin, 1971.
- 12 S. F. Contractor und B. Shane, *J. Chromatogr.*, 41 (1969) 483.
- 13 S. Prydz und K. S. Skammelsrud, *J. Chromatogr.*, 32 (1968) 732.
- 14 S. Prydz, T. B. Melø, E. L. Eriksen und J. F. Koren, *J. Chromatogr.*, 47 (1970) 157.
- 15 B. R. Pullan, *Nucl. Instrum. Methods*, 124 (1975) 149.
- 16 I. Smith, S. E. March, P. E. Mullen und P. D. Mitchell, *J. Chromatogr.*, 82 (1973) 75.
- 17 J. C. Turner, *Sample Preparation for Liquid Scintillation Counting*, Radiochemical Centre, Amersham, 1967.
- 18 R. J. Redgwell, N. A. Turner und R. L. Bielecki, *J. Chromatogr.*, 88 (1974) 25.
- 19 I. Haikal und O. Bobleter, *J. Chromatogr.*, 76 (1973) 191.
- 20 G. Charpak, *Nucl. Instrum. Methods*, 80 (1970) 13.
- 21 G. Charpak, *Nucl. Instrum. Methods*, 100 (1972) 505.
- 22 *Rutherford High Energy Laboratory Report*, Chilton Didcot Berkshire, RHEL/R262, 1972.
- 23 B. H. Meardon (Editor), *Report on a Discussion Meeting on Applications of Position Sensitive Detectors to Thermal Neutron Scattering*, Institut M. v. Laue-P. Langevin, Grenoble, 1975.
- 24 H. W. Fulbright, R. G. Markham und W. A. Lanford, *Nucl. Instrum. Methods*, 108 (1973) 125.
- 25 R. G. Markham und R. G. H. Robertson, *Nucl. Instrum. Methods*, 129 (1975) 131.
- 26 R. K. Jolly, G. F. Trentelman und E. Kasley, *Nucl. Instrum. Methods*, 87 (1970) 325.
- 27 M. Bruchez, A. Bischof-Delaloye und B. Delaloye, *First Congress on Nuclear Medicine, Lausanne, Schweiz, Mai 1976; Eur. J. Nucl. Med.*, 1 (1976) 76 (abstract).
- 28 J. R. Gigante, *Nucl. Instrum. Methods*, 111 (1973) 345.
- 29 H. Pirker, *Dissertation*, Universität Wien, Wien, 1971.
- 30 G. P. Westphal, H. Pirker und C. M. Fleck, *Nucl. Instrum. Methods*, 96 (1971) 333.
- 31 G. P. Westphal, *Nucl. Instrum. Methods*, 106 (1973) 279.
- 32 N. J. Hansen, *Nucl. Instrum. Methods*, 105 (1972) 293.
- 33 Lap Yen Lec, *Nucl. Instrum. Methods*, 119 (1974) 29.

- 34 H. Sann, H. Damjantschitsch, D. Hebbard, J. Junge, D. Pelte, B. Povh, D. Schwalm und D. B. Tran Thoai, *Nucl. Instrum. Methods*, 124 (1975) 509.
- 35 De Lima und O. Pullan, *Nucl. Instrum. Methods*, 96 (1971) 77.
- 36 V. Perez-Mendez und J. M. Pfab, *Nucl. Instrum. Methods*, 33 (1965) 14.
- 37 P. Schludecker, W. Schmidt-Parzefall und M. Bott-Bodenhausen, *Proc. Int. Conf. Instrumentation for High Energy Physics, Dubna, U.S.S.R., August 1970*, SS. 772–778.
- 38 J. Fischer und S. Shibata, *Proc. Int. Conf. Instrumentation for High Energy Physics, Dubna, U.S.S.R., 1970*, SS. 270–271.
- 39 W. R. Kuhlmann, K. H. Lauterjung, B. Schimmer und K. Sistemich, *Nucl. Instrum. Methods*, 40 (1966) 118.
- 40 C. J. Borkowski und M. K. Kopp, *Rev. Sci. Instr.*, 39 (1968) 1515.
- 41 G. Charpak, *Ann. Rev. Nucl. Sci.*, 20 (1970) 221.
- 42 S. N. Kaplan, L. Kaufman, V. Perez-Mendez und N. Valentine, *Nucl. Instrum. Methods*, 106 (1973) 397.
- 43 A. Breskin, G. Charpak, F. Sauli, M. Atkinson und G. Schultz, *Nucl. Instrum. Methods*, 124 (1975) 189.
- 44 A. V. Becker, J. D. Burger, R. Forber, J. Leong und L. Perasso, *Nucl. Instrum. Methods*, 128 (1975) 593.
- 45 A. H. Walenta, *Nucl. Instrum. Methods*, 92 (1971) 373.
- 46 A. W. Woodhead, *Acta Electronica*, 14 (1971) 181.
- 47 V. Chalmeton, *Acta Electronica*, 16 (1973) 73.
- 48 C. J. Borkowski und M. K. Kopp, *Rev. Sci. Instr.*, 46 (1975) 951.
- 49 D. M. Lee, S. E. Sobottka und H. A. Thiessen, *Nucl. Instrum. Methods*, 109 (1973) 421.
- 50 R. G. Markham und R. G. H. Robertson, *Nucl. Instrum. Methods*, 129 (1975) 131.
- 51 W. Egger, *Diplomarbeit*, Technische Universität Wien, Wien, 1975.
- 52 R. Niesner, *Dissertation*, Technische Universität Wien, Wien 1975.
- 53 O. Bobleter, R. Niesner und M. Röhr, *J. Appl. Polym. Sci.*, 20 (1976) 2083.
- 54 H. Pirker, R. Niesner und W. Egger, *AIAU-Report 76506*, Wien 1976.