

Strahlenanalyse bei landwirtschaftlichen Untersuchungen und im Landbau

W. Kühn*)

DK 633/635 : 581.1.088.5 : 543.42 : 621.039.85

Strahlenquellen, deren Strahlen in Wechselwirkung mit der zu untersuchenden Substanz treten, bieten heute im Landbau – ebenso wie in der Medizin und Technik – Möglichkeiten, chemische Elemente in den Pflanzen festzustellen, d. h. diese zu analysieren und darüber hinaus mittels der Tracertechnik Vorgänge in den Pflanzen zu erkennen.

Im Laufe der letzten Jahre hat die Anwendung von Radionukliden in den Landbauwissenschaften zunehmend an Bedeutung gewonnen. Im vergangenen Dezennium war es vor allem die radioaktive Tracertechnik, die bei grundsätzlichen Untersuchungen zu bedeutenden Ergebnissen führte. So sind beispielsweise die Phosphataufnahme (P-32) bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen, insbesondere die Düngemittelaufnahme in Abhängigkeit vom Wurzelsystem, die Aufnahme von Spurenelementen (einschließlich toxischer Stoffe), Translokation von Wasser (H-3) aus den Wurzeln in die oberen Pflanzenkörper, die Photosynthese (C-14) sowie die Entwicklung, der Einsatz und das Verbleiben von neuen, effektiven Insektiziden unter anderem mit Hilfe der Tracertechnik untersucht worden.

*) Dr. W. Kühn ist Privat-Dozent im Institut für Strahlenbotanik der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH München, Hannover.

Außer diesem großen Anwendungsgebiet der sog. „offenen“ Radionukliden hat die Strahlenanalyse unter Verwendung von „umgeschlossenen“ radioaktiven Präparaten (von einer festen, dichten inaktiven Hülle umgeben, die das Austreten der radioaktiven Substanz verhindert) – in ähnlicher Weise wie vorausgehend in der Technik und in der Medizin – ebenfalls einen hohen Anteil bei der Lösung landwirtschaftlicher Aufgabenstellungen erreicht.

Damit ist das Anwenden von Röntgenstrahlen, γ -Strahlen (sowohl im niederenergetischen als auch im hochenergetischen Bereich), von β -Strahlen und das Nutzen von Neutronenquellen jeglicher Art (Neutronen-Generatoren, Reaktoren) gemeint, also die Heranziehung von Strahlenquellen, deren Strahlen ganz spezifisch mit der Materie in Wechselwirkung treten. Die qualitativen und quantitativen Änderungen der betreffenden Strahlung sind infolgedessen von der zu untersuchenden Substanz weitgehend abhängig. Die Strahlenanalyse gibt daher Aufschluß über die atomare Zusammensetzung (Ordnungszahl), und über die Anzahl der Atome je cm^3 , d. h. über die Dichte der Materie, was letztlich bei bekannter Dicke (oder umgekehrt bei bekannter Dichte) zur Bestimmung der Flächenmasse führt. Die Meßprinzipien lassen sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

- a) Absorption und Streuung von β -, γ - und Röntgenstrahlen (Dichte, Dicke, Ordnungszahl, Radiographie);
- b) Thermalisation von schnellen Neutronen durch elastische Streuung an Wasserstoffatomen (Feuchtigkeitsmessung in Böden und lebenden Objekten);
- c) Aktivierungsanalyse (Bestimmung von Komponenten und Spurenanalyse);
- d) Neutronenradiographie (Analyse, Struktur);
- e) Röntgenfluoreszenzspektroskopie (Analyse); (tragbare Feldmeßgeräte);
- f) Mössbauerspektroskopie (Analyse, Molekülstruktur).

Die landbauwissenschaftliche Forschung hat die Möglichkeiten erkannt, die sich beim Einsatz solcher Meßverfahren ergeben und aus diesem Grunde ist auch bei der „European Society of Nuclear Methods in Agriculture“ (ESNA) eine Arbeitsgruppe tätig, die sich mit der Förderung und Entwicklung von speziellen nuklearen Meßverfahren in der Landwirtschaft im Rahmen der Strahlenanalyse beschäftigt.

In aller Kürze seien hier einige Beispiele angegeben, die den Einsatz der genannten Meßprinzipien im landwirtschaftlichen Sektor erkennen lassen.

Da die Absorption von γ - und Röntgenstrahlen im niederenergetischen Bereich (unter ca. 150 keV) außerordentlich stark von der Ordnungszahl (insbesondere bei hoher Ordnungszahl) abhängt, ist es möglich, Salzkomponenten und Salzkonzentration in wäßrigen Lösungen schon mit sehr kleinen Apparaturen im kontinuierlichen Durchlauf zu bestimmen, eine Aufgabe, die u.U. bei Bewässerungsfragen in semiariden oder ariden Gebieten von Bedeutung werden kann. Hierzu gehört auch das kontinuierliche Messen der Aufnahme von in Wasser gelösten Mineralien durch Pflanzen in vivo und der Nachweis von in Lösung befindlichen Elementen hoher Ordnungszahl bei Untersuchungen im Felde im Rahmen der Umweltüberwachung. Mit niederenergetischen γ -Strahlen und Röntgenstrahlen können – in gleicher Weise wie es in der Medizin üblich ist – Röntgenaufnahmen von Pflanzen (Wurzeln, Hülsen, Blätter) aufgenommen werden. Krankheiten in lebenden Bäumen (Holzfäule) sind auf diesem Wege zerstörungsfrei erkennbar.

In analoger Weise lassen sich Radiographien auch mit thermischen Neutronen anfertigen. Der Unterschied zu den Röntgenaufnahmen besteht darin, daß thermische Neutronen im Gegensatz zu Röntgenstrahlen insbesondere von leichten Elementen, wie Wasserstoff, Lithium oder Bor, bevorzugt absorbiert werden, wodurch sich die Neutronenradiographien komplementär zu den Röntgenaufnahmen verhalten. Es ist also möglich, im biologischen Gewebe zwischen Elementen zu unterscheiden, die benachbart sind, wie z.B. Bor und Kohlenstoff (mit Röntgenaufnahmen nicht zu trennen); ebenso kann beispielsweise Cadmium von Barium weit weniger schwierig unterschieden werden, als es mit Röntgenstrahlen der Fall ist. Bei pflanzlichen Objekten dürfte dieses Verfahren gelegentlich von Vorteil sein. In der biologischen, medizinischen und technischen Diagnose (Defektoskopie) hat es sich zumindest in Zweifelsfällen als nützlich erwiesen, beide Arten der Radiographie heranzuziehen.

Energien von γ -Strahlen über ca. 150 keV bis über 1 MeV und β -Strahlen werden im allgemeinen für das Messen von Flächenmassen benutzt. Auf der Absorption dieser Strahlungen basierend, wurden Verfahren zum Bestimmen der Pflanzenmasse, des Fettgehaltes der Milch, zum Messen des Wassergehaltes in lebenden Bäumen und Zitrusfrüchten sowie zum Dichtemessen von Jahrringen in Baumscheiben entwickelt. Neuere Entwicklungen beschäftigen sich mit dem Bestimmen des Ertrages ganzer Pflanzungen. Außerdem werden seit langem mit γ -Strahlen (durch Absorption und Streuung) Dichte- und Feuchtigkeitsmessungen in Böden ausgeführt (Empfindlichkeit rd. 1 %), um bestimmte Irrigationskulturen rationell bewässern zu können. Bei umfangreichen Feldmessungen sind zum Zwecke der Feuchtigkeitsmessung in Böden sehr häufig die sog. Neutronensonden (als Bohrloch- oder Oberflächensonden) in Gebrauch (in den USA etwa 200 Anlagen). Wurden diese bislang in vertikaler Richtung für das Messen in verschiedenen Bodentiefen benutzt, so will man neuerdings (entsprechend einem Vorschlag der Joint / IAEA Division of Atomic Energy in Food and Agriculture) die Feuchtigkeit mit diesen Sonden in horizontaler Richtung in der Gegend der Wurzelzone unterhalb der Bodenoberfläche in speziell hierfür angelegten Röhren messen; bei Bewässerungsstudien (insbesondere in ariden Gebieten) verspricht man sich hiervon eine verbesserte statistische Aussage über den Feuchtigkeitsgehalt im Einflußbereich der Wurzeln. Eine außerordentlich empfindliche Feuchtigkeitsmessung ($\pm 0,5\%$) ist durch Verwendung von kapil-

larporösen Körpern möglich, die während ihrer Wasseraufnahme (bzw. -Abgabe) mit niederenergetischen γ -Strahlen durchstrahlt werden.

Die Aktivierungsanalyse ist eines der empfindlichsten Verfahren zur Analyse von Gemischen und zum Bestimmen von Elementen, die in Spuren vorliegen. Wird eine beliebige Probe einem relativ intensiven Strahl von geladenen Teilchen oder Neutronen (langsam oder schnell) ausgesetzt (letzteres mittels eines Neutronengenerators oder in einem Reaktor, der dafür vorgesehene Bestrahlungskanäle besitzt), dann entstehen innerhalb der Probe künstliche Radionuklide. Diese sind in ihrem Verhalten hinsichtlich Strahlungsart, Energie und Halbwertszeit ganz charakteristisch für die in der Probe enthaltenen Elemente. Sie können daher äußerst empfindlich auf Grund der von ihnen emittierten Strahlung, vielfach zerstörungsfrei, nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenzen liegen zwischen etwa 10^{-2} bis 10^{-6} ppm und – bei zusätzlicher chemischer Trennung – wesentlich darunter. Die Mengen der zu untersuchenden Proben betragen lediglich einige Milligramm. Mittels der Aktivierungsanalyse sind Spurenelemente in Reis, Gerste, Rosinen, Bohnen, Erbsen, Äpfel und Birnen bestimmt worden. Die Analysen geben Aufschluß über den Gehalt von Mn, K, Cu, Na, As, Br, P, Rb, Cr, Fe, Hg, Se, Zn, Cs und Co.

Aktivierungsanalytische Untersuchungen werden in zunehmendem Maße auch mit hochenergetischen Photonen, die in Elektronenbeschleunigern (10 bis 35 MeV) erzeugt werden, ausgeführt. Neuerdings ist das Bestimmen von C, N, O und F von besonderem Interesse. Diese Elemente kann man durch Photonenaktivierung im biologischen Material mit relativ hoher Nachweisempfindlichkeit bestimmen.

Die klassische Röntgenfluoreszenzspektroskopie ist ein zu hoher Perfektion entwickeltes Analysenverfahren. Die Nachweisgrenzen liegen bei einigen Elementen ebenfalls um 10^{-10} g. Das Verfahren ist, als klassisches Verfahren betrachtet, recht aufwendig und auf Laboruntersuchungen beschränkt.

Seit einigen Jahren sind jedoch anstelle der Röntgenröhre geeignete Radionuklide getreten und für das zur Spektroskopie nötige Kristallspektrometer (Goniometer) wurde die elektronische Impulshöhenanalyse eingeführt. Beide Maßnahmen hatten zur Folge, daß die Röntgenspektroskopie mit recht handlichen, tragbaren und relativ billigen Meßeinrichtungen (mit etwas verringertem energetischem Auflösungsvermögen) ausführbar ist, so daß damit recht genaue Messungen zum Bestimmen von Elementen in Böden, Pflanzen und Gewässern vor Ort vorgenommen werden können. Auch mit diesen Verfahren sind Feldmessungen für die Umweltüberwachung möglich.

Außer diesen hier behandelten Meßprinzipien hat in jüngster Zeit auch die Mössbauerspektroskopie an Bedeutung bei Untersuchungen von biologischen Proben gewonnen; dies deshalb, weil damit bestimmte Elemente, die sog. Mössbauer-elemente, zu denen das Eisen zählt, außerordentlich hochempfindlich nachweisbar sind. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt darin begründet, daß einzelne Eisenatome und ihre Umgebung in den Molekülverbänden untersucht werden können. Da das Eisen auch in pflanzlichen Objekten häufig vertreten ist, dürfte auch dieses Verfahren in der landwirtschaftlichen Grundlagenforschung mehr und mehr Eingang finden.

L 161