

Elektroultrafiltration in der Pflanzenernährung

Modernes Verfahren zur Bestimmung von pflanzenverfügbaren Nahrestoffen im Boden / Von Konrad Mengel

Seitdem man weiß, daß die Pflanze die meisten ihrer Nahrestoffe dem Boden entnehmen muß – und das weiß man seit Liebigs Zeiten – wird das Problem der Nahrestoffverfugbarkeit diskutiert und untersucht. Unter Nahrestoffverfugbarkeit ist zu verstehen, daß von der absoluten Menge eines Pflanzennahrestoffes, der sich in der oberen, durchwurzelten Bodenschicht befindet, nur ein kleiner Anteil so locker an die festen Bodenpartikel gebunden ist, daß er von der Pflanze aufgenommen werden kann. So enthält ein fruchtbarer Ackerboden in der durchwurzelten Bodenschicht etwa 8000 kg gebundenen Stickstoff je ha, von denen direkt nur etwa 1% von der Pflanze aufgenommen werden kann, also pflanzenverfügbar ist. Für den Nahrestoff Kalium ist das Verhalt zwischen absoluter Kaliummenge im Boden und der verfügbaren Kaliummenge noch extremer; so ist in tonhaltigen, mineralischen Böden nur etwa 1% des im durchwurzelten Bodenraum vorhandenen Kaliums für die Pflanze direkt aufnehmbar. Für weitere Pflanzennahrestoffe sieht es prinzipiell nicht anders aus. Die Problematik wird noch dadurch erhöht, daß die Relation zwischen nicht verfügbarem und verfügbarem Nahrestoff nicht starr ist, sondern sich verändern kann. Es können durch Verwitterungsprozesse oder durch mikrobiologischen Angriff Nahrestoffe in eine verfügbare Form übergehen, aber auch umgekehrt können Nahrestoffe von Bodenpartikeln irreversibel fest gebunden oder von Bakterien und Pilzen für den Aufbau von Körpersubstanz genutzt werden.

Das Verhalten eines Pflanzennahrestoffes im Boden, seine Bindung, seine Freisetzung, seine chemische Veränderung, ist nicht nur von akademischem Interesse, es hat auch eine eminente praktische Bedeutung. Sie nimmt um so mehr zu, je stärker die Böden gedungelt und je intensiver sie bewirtschaftet werden. Denn die Düngermenge muß sich nach dem Gehalt an verfügbaren Nahrestoffen im Boden richten. Dieser Zusammenhang sei an einem einfachen Beispiel erläutert: Ein Getreidebestand, z. B. Winterweizen, benötigt für einen optimalen Ertrag etwa 200 kg Stickstoff je ha. Enthält ein Boden zu Vegetationsbeginn (Frühjahr) bereits 150 kg verfügbaren Stickstoff/ha, so braucht man nur noch 50 kg Stickstoff/ha zu düngen. Enthält der Boden im Frühjahr aber nur 30 kg verfügbaren Stickstoff je ha, dann ist eine Düngermenge von 170 kg Stickstoff/ha erforderlich. Dieses Beispiel verdeutlicht, daß eine zuverlässige Bestimmung des verfügbaren Stickstoffs im Boden von beachtlicher Bedeutung für die effiziente Nutzung von Düngemitteln ist.

Aus diesem Grund ist die landwirtschaftliche Praxis an zuverlässigen Bodenuntersuchungsmethoden sehr interessiert. Seit den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts bemuhnt man sich, mit den verschiedensten Verfahren die verfügbaren Nahrestoffe eines Bodens quantitativ zu erfassen. Die meisten dieser Verfahren basieren auf der Ausschüttelung des Bodens mit einem Extraktionsmittel; das sind hauptsächlich verdünnte Säuren oder verdünnte Salzlösungen.

Das Verfahren der Elektroultrafiltration, in Fachkreisen EUF-Methode genannt, arbeitet, wie weiter unten noch näher gezeigt wird, nach einem anderen Prinzip. Die Entwicklung der EUF-Methode ist maßgeblich von Wissenschaftlern der Gießener Universität vorangetrieben worden. Bereits in den dreißiger Jahren hat sich der frühere Inhaber des Lehrstuhls für Bodenkunde, Profes-

sor Köttgen, eingehend mit dieser Methode befaßt; sein Mitarbeiter, Professor Ludwig Jung, hat das Verfahren weiter entwickelt. In den letzten zwanzig Jahren war es besonders Dr. Kalmann Németh, an der Justus-Liebig-Universität diplomierte, promoviert und habilitiert, der die EUF-Methode durch zahlreiche Untersuchungen überprüfte, in entscheidenden Punkten verbesserte, ihre Verwendungsmöglichkeiten auslotete und zum Routineverfahren für Bodenuntersuchungen machte.

Prinzip der Elektroultrafiltrationsmethode

Bei dem EUF-Verfahren wird der zu untersuchende Boden mit Wasser aufgeschlämmt. Aus dieser Bodensuspension werden die Pflanzennahrestoffe mittels elektrostatischer Anziehung herausgezogen. In Abb. 1 ist das Prinzip einer EUF-Apparatur gezeigt. Ihr zentraler Bauteil ist eine Küvette, in der sich die Bodensuspension befin-

det. An beiden Stirnflächen der Küvette sind Platinnetz Elektroden angebracht, die mit Filtern abgedeckt sind. Bei Anlegen einer Gleichspannung wandern die Kationen zur Kathode, die Anionen zur Anode. Sie permeieren das Ultrafilter und werden dann mit Wasser in Auffanggefäße gespült. Durch Variieren von Spannung, Zeit und Temperatur kann man die Nahrestoffe mit unterschiedlicher Kraft der Bodensuspension entziehen. Man kann damit Aussagen über die Bindungsstärke eines Nahrestoffes an den Boden machen. Eine wichtige Komponente ist die Konzentration eines Pflanzennahrestoffes in der Bodenlösung; sie läßt sich mit der EUF-Methode leicht ermitteln. Andererseits kann man mit dem EUF-Verfahren auch Nahrestoffvorrate im Boden erfassen.

Das Prinzip des Nahrestoffentzuges aus der Bodensuspension mittels Elektroultrafiltration entspricht der Nahrestoffaufnahme der Pflanze. Die Wurzel nimmt aus der Boden-

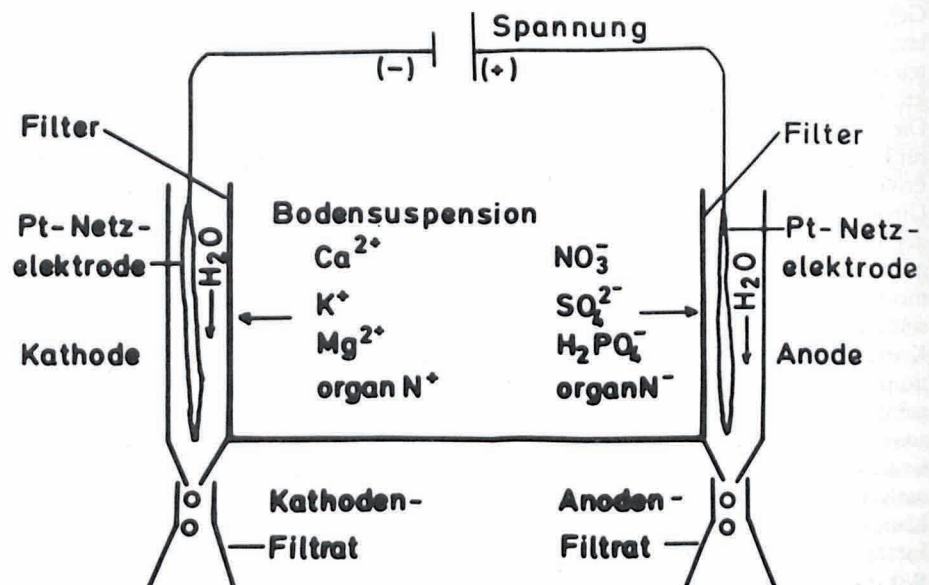


Abb. 1: Prinzip der Apparatur zur Durchführung der Elektroultrafiltration (EUF-Gerät).

lösung Nährstoffe, z. B. $H_2PO_4^-$ oder K^+ auf. Es wird damit das Gleichgewicht zwischen gelöstem und gebundenem Nährstoff gestört. Zur Neueinstellung des Gleichgewichtes gehen Nährstoffe von der gebundenen Form in die gelöste über. Das EUF-Verfahren arbeitet gleichsam nach Art eines Zeiträufers nach diesem Prinzip.

Möglichkeiten der EUF-Methode

Mit der EUF-Methode lassen sich grundsätzlich alle Pflanzennährstoffe, die in eine ionogene Form übergehen können, aus der Bodensuspension extrahieren. Die wichtigsten extrahierbaren Nährionen sind NO_3^- , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} und HPO_4^{2-} sowie $H_2PO_4^-$. Damit wird deutlich, daß man mit einer Extraktion zahlreiche und für die landwirtschaftliche Praxis relevante Pflanzennährstoffe erfassen kann. Weiterhin ist es möglich, auch toxische Stoffe, beispielsweise Schwermetalle, mit dem EUF-Verfahren zu ermitteln. Aus neueren Untersuchungen des Instituts für Pflanzenernährung geht hervor, daß phytotoxische Al-Formen saurer Böden sehr selektiv mit der EUF-Methode aus der Bodensuspension abgetrennt werden können. Weitere Untersuchungen sind darauf ausgerichtet, den Kalkbedarf der Böden mittels Elektroultrafiltration zu bestimmen. Insgesamt haben derartige Untersuchungen das Ziel, mit der EUF-Methode eine umfassende Nährstoffdiagnose zu erstellen.

Das EUF-Verfahren gestattet auch die Effizienz eines Düngemittels zu überprüfen. Diese Frage hat besonders für Phosphatdüngemittel Bedeutung, da sie im Boden unterschiedlich löslich sind. Abb. 2 zeigt das Ergebnis einer solchen Untersuchung. Fünf verschiedene Düngemittel wurden in zwei verschiedenen Düngungsstufen mit der gleichen Phosphatmenge appliziert. Die durch EUF ermittelte Löslichkeit der vier Phosphattypen im Boden war recht unterschiedlich. Diese Löslichkeit ist in Abb. 2 auf der Abszisse aufgetragen. Die Ordinate zeigt die Phosphataufnahme von Weizenpflanzen. Es wird deutlich, daß zwischen beiden eine enge Korrelation besteht, d. h. die mittels EUF erfaßte Verfügbarkeit entsprach tatsächlich dem Phosphataufnahmevermögen der Pflanzen.

Die in Abb. 2 gezeigten Ergebnisse lassen erkennen, daß die einzelnen Phosphatformen nicht gleichwertig sind, ein Befund, der für den Landwirt von Bedeutung, aber auch für die Allgemeinheit von Interesse ist. Mit der EUF-Methode läßt sich die Wirksamkeit von Phosphatdüngemitteln für verschiedene Bodentypen ermitteln. Sie gestattet also dem Landwirt, eine Empfehlung für die für seinen Boden geeignete Phosphatform zu geben. Da Phosphat ein begrenzter Rohstoff ist, – nach R. P. Sheldon sollen die

Weltphosphatlager bei heutiger Verbrauchsrate in 500 Jahren aufgebraucht sein –, ist es geboten, daß die gedüngten Phosphate mit höchster Effizienz genutzt werden. Die EUF-Bodenuntersuchung kann zu dieser Forderung wesentlich beitragen.

Der verfügbare Stickstoff

Von den verschiedensten Düngemitteln, die weltweit appliziert werden, sind es die stickstoffhaltigen, die nach Menge und Ertragswirksamkeit die größte Bedeutung haben. Daneben wird auch die Qualität vieler pflanzlicher Produkte durch die Intensität der Ernährung mit Stickstoff maßgeblich beeinflusst. Eine adäquate Stickstoffdüngung erfordert, daß man den Gehalt an verfügbarem Stickstoff des Bodens kennt. Die Bestimmung der Stickstoffverfügbarkeit im Boden ist jedoch problematisch. Die seit Beginn der siebziger Jahre bekannte „ N_{min} -Methode“ (es wird mit ihr das extrahierbare Nitrat und NH_4^+ eines Bodens bestimmt) hat sich in der Bundesrepublik Deutschland nur begrenzt eingeführt. Ihre Handhabung, besonders die Bodenprobenahme, ist zu umständlich. Hier bahnt sich nun in den letzten Jahren ein Wandel an. Németh und Mitarbeiter konnten schon vor acht Jahren feststellen, daß mit der EUF-Extraktion Nitrat, NH_4^+ , aber auch eine Fraktion an organischem N extrahiert wird. Letztere ist neben Nitrat und NH_4^+ für die Ernährung der Pflanze von eminenter Bedeutung. Es hat sich nämlich gezeigt, daß diese mittels EUF gewonnene organische N-Fraktion mikrobiologisch leicht mineralisiert und damit pflanzenverfügbar wird. Es ist schon lange bekannt, daß im Verlaufe der Vegetation organischer Stickstoff des Bodens von Bodenbakterien bis hin zu mineralischem Stickstoff, NH_4^+ und Nitrat, abgebaut wird. Die beiden letzteren N-Formen sind für die Pflanze direkt aufnehmbar. Nur war es seither nicht möglich, mit einer praktikablen Methode diesen mineralisierbaren Stickstoff quantitativ zu erfassen. Hier brachte die EUF-Methode einen Durchbruch. Der mit ihr erfaßte organische Stickstoff steht in enger Beziehung zur Biomasse des Bodens. Es handelt sich bei dieser Fraktion in erster Linie um Aminostickstoff von Proteinen, Peptiden und Aminosäuren.

Um eine Bodenuntersuchungsmethode praxisreif zu entwickeln, sind umfangreiche Feldversuche notwendig, welche die Versuchskapazität eines Universitätsinstitutes weit überschreiten. Es traf sich hier gut, daß die Zuckerindustrie an einer der pflanzlichen Produktion angepaßten Stickstoffernährung der Rübe sehr interessiert ist. Denn eine übermäßige Versorgung der Zuckerrübe mit Stickstoff führt zwar zu schönen, kräftigen Pflanzen mit dunkelgrün-

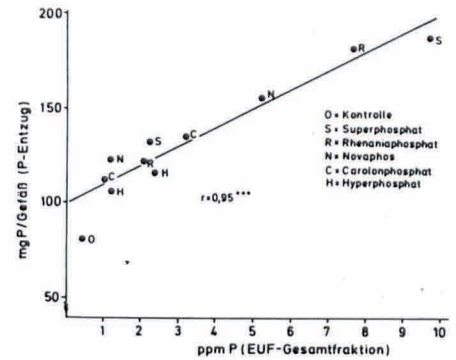


Abb. 2: Die mit EUF ermittelte Löslichkeit verschiedener Phosphatdüngemittel im Boden und der Einfluß der Löslichkeit auf die Phosphataufnahme von Sommerweizen. Jedes Phosphatdüngemittel wurde in einer niedrigen und in einer hohen Gabe gedüngt. Deshalb sind für jeweils ein Düngemittel zwei Punkte aufgeführt.

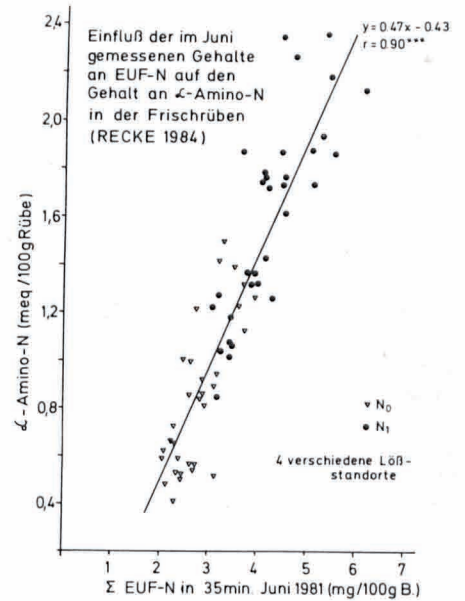


Abb. 3: Einfluß des im Juni ermittelten Gehaltes an verfügbarem Stickstoff im Boden mittels EUF und dem Gehalt an „schädlichem Stickstoff“ (= α -Amino-N) in der technologisch reifen Rübe im Herbst.

nen Blättern und großen Speicherwurzeln (Rübenkörper), aber auch zu niedrigen Saccharosegehalten und hohen Gehalten an Säureamiden und Aminosäuren in Speichergewerbe der Wurzeln. Diese löslichen Aminoverbindungen gehen zusammen mit der Saccharose in den Preßsaft über und beeinträchtigen die Kristallisation der Saccharose. Die Zuckerausbeute bleibt gering. Der Zuckertechnologe spricht vom „schädlichen Stickstoff“. Daß der Gehalt an „schädlichem Stickstoff“ in der Rübe sehr deutlich vom Gehalt an verfügbarem Stickstoff im Boden abhängt, wird aus Abb. 3

deutlich. Sie zeigt, daß die Gehalte des Ackerbodens an EUF-löslichem Stickstoff im Juni eng mit den Gehalten an schädlichem Stickstoff (α -Amino-N), wie er im Herbst bei der technologischen Reife der Rübe vorliegt, korrelieren.

Erhebliche Ertragssteigerungen

Es war die Tullner Zuckerfabrik AG Tulln bei Wien, die Anfang der siebziger Jahre unter ihrem damaligen Agronom und jetzigen Vorstandsmitglied Dr. L. Wiklicky die Bedeutung der EUF-Bodenuntersuchung für den Rübenbau erkannte und der den Bau eines modernen Bodenlabors mit EUF-Ausrüstung veranlaßte. In zahlreichen Feldversuchen wurde die EUF-Methode überprüft und geeicht. In Abb. 4 ist ein Ergebnis dieser Untersuchungen gezeigt. Die Abszisse der grafischen Darstellung gibt den Gehalt an verfügbarem Stickstoff im Boden, bestimmt mittels EUF, an. Die Ordinate gibt den Mehrertrag an Zucker wieder, der mit einer Stickstoffdüngung erreicht wird. Die hochsignifikante negative Korrelation zwischen beiden Variablen ist evident: Je niedriger der Boden an EUF-löslichem Stickstoff, desto mehr lohnt eine N-Düngung. Bei Gehalten von 5–6 mg EUF löslichem Stickstoff/100 g Boden wird kein zusätzlicher Ertrag mehr an Zucker erreicht. In die Untersuchung waren Versuche aus Österreich und fünf Versuche aus Niedersachsen eingegangen. Letztere ordnen sich gut in den Trend der österreichischen Werte ein, was bedeutet, daß die erarbeitete Beziehung für verschiedene Klimabereiche Gültigkeit hat.

Dr. Wiklicky konnte mit Hilfe der auf die EUF-Bodenuntersuchung aufbauenden Düngung die Rübenqualität und die Zuckerausbeute in wenigen Jahren erheblich steigern.

Größere Effizienz

Die Südzucker AG hat anfangs eine Anzahl ihrer Bodenproben im Tullner EUF-Bodenlabor untersuchen lassen mit dem Ergebnis, daß sie sich bald entschlossen hat, in Rain am Lech ein eigenes Bodenlabor, das Justus-von-Liebig-Haus, zu bauen. Dieses Labor darf nach Organisation und technisch-wissenschaftlicher Ausrüstung als das modernste Bodenlabor der Welt bezeichnet werden. Aufarbeitung und Analyse der Proben werden am Bildschirm kontrolliert, die Analyseergebnisse werden zusammen mit anderen Daten des Standorts vom Computer verrechnet und anschließend wird die Düngerempfehlung für den Landwirt ausgedruckt. Abb. 6 gibt einen Einblick in das Labor, in welchem 22 EUF-Geräte arbeiten.

Die Forderung der Öffentlichkeit einschließlich der Landwirtschaft, stickstoff-

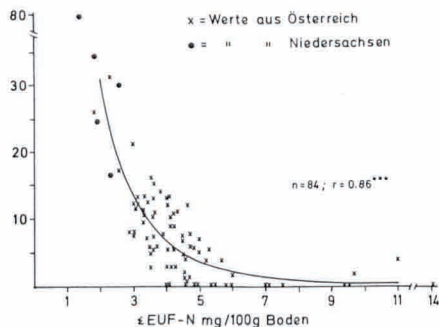


Abb. 4: Zusammenhang zwischen dem EUF-löslichen Stickstoff im Boden und dem Mehrertrag an Zucker, der durch eine Stickstoffdüngung erzielt wurde.

haltige Düngemittel mit größter Effizienz zu nutzen, ist berechtigt. Praktisch bedeutet das, auch für den Anbau weiterer Pflanzen, besonders für den Getreideanbau, das EUF-Verfahren einzuführen. Die diesbezüglich bis jetzt vorliegenden Ergebnisse sind ermutigend. Eines der ersten Resultate, das die Brauchbarkeit der EUF-Methode für den Anbau von Getreide aufzeigte, wurde im Rahmen einer von Professor Tamas Harrach (Institut für Bodenkunde der Justus-Liebig-Universität Gießen) betreuten Doktorarbeit erstellt.

M. J. Rex (1984) konnte auf verschiedensten Standorten in der Nähe Gießens einen signifikanten Zusammenhang zwischen den Gehalten des Bodens an EUF-löslichem Stickstoff und der Stickstoffaufnahme von Getreide zeigen. Neuere Ergebnisse, ermit-

telt auf zahlreichen Standorten Süddeutschlands, bestätigen diesen Befund. Die diesjährigen, auch im Rahmen einer Doktorarbeit durchgeführten Freilandversuche mit Mais lassen ebenfalls eine gute Übereinstimmung der „EUF-Werte“ mit der Ertragsbildung erkennen.

Ökologische Perspektiven

Die oben zitierten Versuchsergebnisse berechtigen zu der Hoffnung, daß die EUF-Methode zur Bestimmung der verfügbaren Pflanzennährstoffe im Boden demnächst auf breiter Basis in der landwirtschaftlichen Praxis zur Anwendung kommt. Das dürfte dazu beitragen, Rohstoffe und Energie mit höherer Effizienz zu nutzen. Denn Düngemittel werden aus Rohstoffen unter Einsatz von Energie hergestellt. Auch dem Landwirt dürfte die Einführung der EUF-Methode dienlich sein, da sie ihm hilft, Düngungsfehler sowie unnötigen Einsatz von Düngemitteln zu vermeiden. Neben diesen ökonomischen Aspekten sollten aber auch die ökologischen nicht übersehen werden. Eine an den Pflanzenbedarf angepaßte Stickstoffdüngung bedeutet, daß der im durchwurzelten Bodenraum befindliche mobile Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen und nicht durch Niederschläge in tiefere Bodenschichten oder sogar in das Grundwasser eingetragen wird. Es darf als sicher angenommen werden, daß bei breiter Einführung der EUF-Methode zur Bestimmung des verfügbaren Stickstoffs der Eintrag von Nitrat in Grundwasser und Trinkwasser reduziert wird.

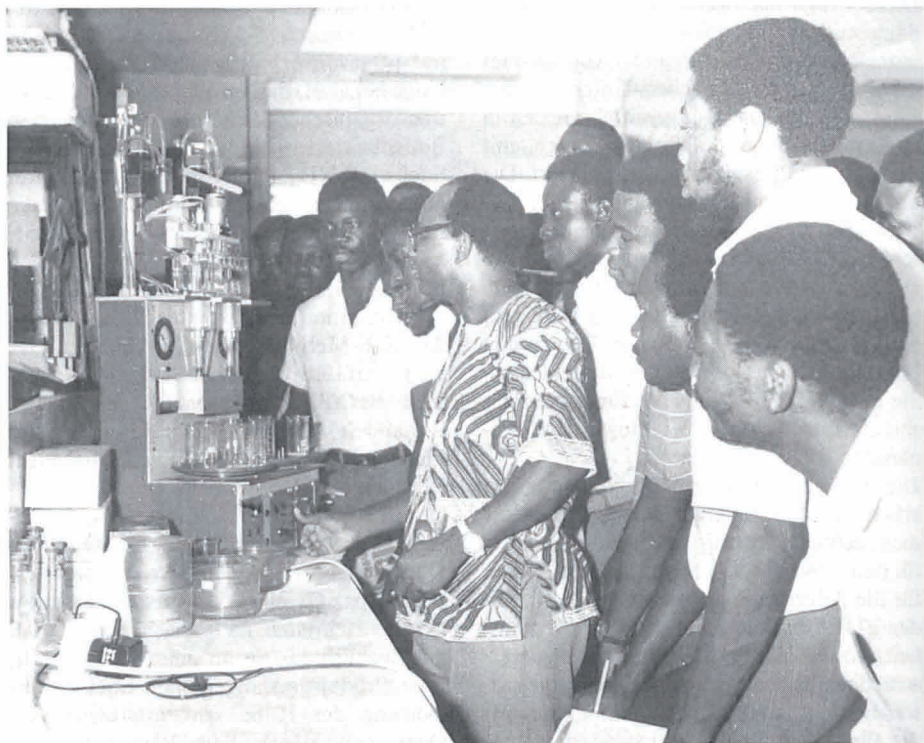


Abb. 5: Prof. G. O. Obigbesan (Mitte), Dept. of Agronomy, University of Ibadan, Nigeria, erläutert das EUF-Gerät vor seinen Studenten.

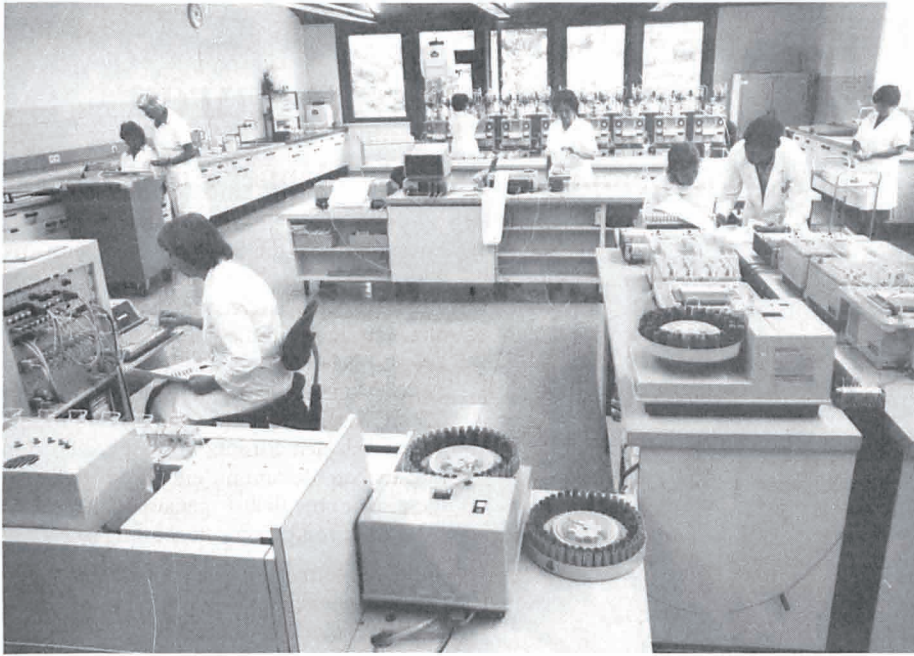


Abb. 6: Blick in das EUF-Labor der Südzucker AG.

Wie oben bereits dargelegt, läßt sich mit der EUF-Methode eine leicht mineralisierbare organische N-Fraktion des Bodens erfassen. Es ist anzunehmen, daß diese Fraktion auch das Nitrifikationspotential eines Standorts widerspiegelt. Es wird daher in zukünftigen Arbeiten zu untersuchen sein, inwieweit das mit EUF ermittelte Nitrifikationspotential eines Standorts mit dem Eintrag von Nitrat in Grund- und Trinkwasser übereinstimmt.

Mit Hilfe der EUF-Methode läßt sich ein Nährstoffdiagramm eines Bodens und damit eine erste Information über dessen Nährstoffzustand erstellen. Derartige Programme können für die verschiedensten Nährstoffe ermittelt werden. Sie sind besonders für solche Böden wichtig, deren Nährstoffdynamik noch weitgehend unbekannt ist. Das trifft für zahlreiche Böden in

den Entwicklungsländern zu. Studenten, die in Gießen Agrarwissenschaften studieren, werden durch Vorlesung und Praktika mit der EUF-Methode vertraut. Die Studenten aus Entwicklungsländern zeigen hierfür besonderes Interesse. So ist es auch verständlich, daß heute bereits in den verschiedenen Ländern der Dritten Welt (VR China, Taiwan, Philippinen, Nigeria) EUF-Geräte arbeiten. Unser Bild (Abb. 7) zeigt Prof. Dr. G. O. Obigbesan aus Nigeria mit seinen Studenten an einem EUF-Gerät. Er verbrachte als Alexander-von-Humboldt-Stipendiat einen längeren Forschungsaufenthalt im Institut für Pflanzenernährung der Justus-Liebig-Universität. Der Name der Universität und der Stadt werden so über EUF-Verfahren und über die von einer Gießener Firma gebaute EUF-Apparate in der Welt bekannt.

„Das Maul aufmachen!“

(dpa) – Bundesforschungsminister Heinz Riesenhuber hat die Wissenschaftler in der Bundesrepublik aufgefordert, mit ihren Kenntnissen und Leistungen stärker an die Öffentlichkeit zu treten. Auf der Jahresversammlung der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF) in Bonn-Bad Godesberg bezeichnete es Riesenhuber als eine wichtige Sache, „daß wir zeigen, daß das, was wir tun, gut, hilfreich und nützlich ist, daß wir 's Maul aufmachen, daß wir über Erfolge gackern, daß man hier wirklich zeigt, was man erreicht hat.“

Nach Ansicht des Ministers darf es etwa der Grundlagenforschung nicht genügen, wissenschaftliche Leistungen den Fachzeitschriften anzuvertrauen. Es reiche nicht, wenn man in „Nature“ veröffentlicht habe und der erste gewesen sei. Vielmehr solle man versuchen, dieses Wissen auch in die „normalen“ Zeitungen bis hin zu den Illustrierten zu bringen. „Die Meinung der Leute – und wir leben in einer offenen Gesellschaft – wird dadurch vielleicht noch mehr geprägt als durch ‚Nature‘“, sagte Riesenhuber. Nicht alle Deutschen läsen dieses Wissenschaftsmagazin, wie sollten sie daher die Zuversicht gewinnen, daß hier das Geld vernünftig angewandt ist?“

Das öffentliche Bekanntmachen wissenschaftlicher Leistungen stellte Riesenhuber in aktuelle Zusammenhänge, so bei der Hilfe zur Lösung von Problemen im Gesundheitswesen oder im Umweltschutz wie auch in der Frage des Voranbringens einer neuen und erfolgreichen Technik. „Seien Sie bitte nicht so keusch“, appellierte er an die Versammlung, „Keuschheit ist ein hohes Gut, aber ihren eigentlichen Zweck erfüllt sie nicht dadurch, daß man sie lebenslang bewahrt“.