

**MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

Heft 36

Wien 1988

ÖSTERREICHISCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT

1180 WIEN, GREGOR-MENDEL-STRASSE 33

Wien, 13. Dez. 1988

E I N L A D U N G

zur Ordentlichen Generalversammlung

am Mittwoch, dem 25. Jänner 1989 um 14 Uhr 30 im Hörsaal 8 der
Universität für Bodenkultur, 1180 Wien, Gregor-Mendel-
Straße 33.

Tagesordnung

1. Genehmigung des Protokolls der letzten Generalversammlung.
2. Tätigkeitsbericht 1988 und Programmvorschau für das Jahr 1989.
3. Kassabericht.
4. Bericht des Rechnungsprüfers.
5. Mitgliedsbeiträge.
6. Wahl des Erweiterten Vorstandes.
7. Allfälliges.
(Vorschläge mögen bitte schriftlich bis zum 18.1.1989 an
die obige Anschrift gerichtet werden).

Um ca. 15 Uhr 30 spricht Univ.-Prof. Dr. G. Stoops (Gent) zum
Thema "Die Bedeutung der Mikromorphologie in der Bodenkunde".

Dieser Vortrag wird durch den Verband der Wissenschaftlichen
Gesellschaften Österreichs gefördert.

Heide Spiegel-Grall e.h.
Generalsekretär

O. Nestroy e.h.
Präsident

Bankverbindungen:

Österr. Postsparkasse Kto.Nr. 1577.099

ÖSTERREICHISCHE BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT

1180 WIEN, GREGOR-MENDEL-STRASSE 33

Wien, 13. Dez. 1988

Sehr geehrte Mitglieder!

Wie alljährlich um diese Zeit möchten wir Ihnen gerne wieder einen Überblick über die stattgefundenen Ereignisse dieses Jahres geben und auf kommende Veranstaltungen hinweisen:

1. JAHRESBERICHT 1988

1.1 Veranstaltungen der Gesellschaft

1.1.1 Ordentliche Generalversammlung am 27.1.1988

Wahl des Gesamten Vorstandes der Jahre 1988 und 1989:

Präsident: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Othmar NESTROY

Vizepräsident: Hofrat Dipl.-Ing. Dr. Walter KILIAN

Altpräsident: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Winfried E.H. BLUM

Generalsekretär: Dipl.-Ing. Heide SPIEGEL-GRALL

Schatzmeister: Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Eduard KLAG-HOFER

1. Schriftleiter: Oberrat Dr. Maximilian EISENHUT

2. Schriftleiter: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Othmar NESTROY

Beisitzer: Ministerialrat Dipl.-Ing. Alois GESSL

Hofrat Dr. Josef GUSENLEITNER

Weitere Vorstandsmitglieder:

Hofrat Prof. Dipl.-Ing. Dr. Walther BECK

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Otto H. DANNEBERG

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gerhard GLATZEL

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Petrus GRUBER

Oberrat Dipl.-Ing. Arnold KÖCHL

Dipl.-Ing. F. HINTEREGGER

Rat Dr. Franz MUTSCH

Im Anschluß an die ordentliche Generalversammlung sprach O.Univ.-Prof.Dr. Stefanovits Pál (Universität Gödöllő) über das Thema "Die Karte der Boden-Tonmineralien Ungarns und ihre Verwendung in der Landwirtschaft".

1.1.2 Vortragsveranstaltung am 9. März 1988

Univ.-Prof.Dr. F. Schinner, Universität Innsbruck, gab einen ausführlichen Bericht "Zum aktuellen Stand der bodenbiologischen Forschung in Österreich"

1.1.3 Vortragsveranstaltung am 20. April 1988

Über "Ursachen und Auswirkungen von Strukturschäden unter besonderer Berücksichtigung methodischer Aspekte" sprach Univ.-Prof. Dipl.-Ing. R. Horn, Universität Kiel.

1.1.4 Vortragsveranstaltung am 11. Mai 1988

Zum Thema "Das Luftbild als Grundlage für Bewertung und Planung im Kommissierungsverfahren" referierte HR Dipl.-Ing. A. Stechauner, Niederösterreichische Agrarbezirksbehörde.

1.1.5 Exkursion 1988

Vom 1.-2.9.1988 fand zum Thema "Böden und Standorte im Inn- und Rheintal" die diesjährige Exkursion unserer Gesellschaft nach Tirol und Vorarlberg statt. Am ersten Exkursionstag wurden drei Profile in Haiming angesehen und diskutiert. Am zweiten Tag nahmen auch Mitglieder der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz an der Exkursion teil. Es wurden jeweils ein Profil in Fussach und eines in Rankweil vorgestellt, in Ergänzung zum erstgenannten wurde auch das Pumpwerk der Polderfläche in Fussach besichtigt. Am 3. und 4.9.1988 bestand die Möglichkeit zur Teilnahme an der Exkursion der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz in die Ostschweiz und in das Schweizer Mittelland. Diese Exkursion war der Besichtigung von Waldversuchsflächen des Nationalen Forschungsprogrammes der Schweiz gewidmet. Hierbei wurden die einzelnen Teilprojekte vorgestellt und die Ergebnisse in vorbildhafter Weise dokumentiert. Als kultureller Höhepunkt wurde das Kloster Einsiedeln (Bibliothek und Kirche) besichtigt.

1.1.6 Vortragsveranstaltung am 20. Oktober 1988

In Ergänzung zum Tirol-Teil der Exkursion sprach Univ.-Prof. Dr. H. Heuberger, Universität Salzburg, "Zum Stand der Spät- und Postglazialforschung in Tirol".

1.1.7 Vortragsveranstaltung am 16. November 1988

Univ.-Prof. Dr. K.H. Hartge, Universität Hannover, berichtete über den "Aktuellen Forschungsstand der Bodenphysik unter besonderer Berücksichtigung des Bodengefüges".

1.1.8 Vortragsveranstaltung am 14. Dezember 1988

Univ.-Prof. Dr. W.E.H. Blum und Mitarbeiter stellten "Bodenphysikalische, chemische und mikrobiologische Kennwerte konventionell und biologisch-organisch genutzter Böden des Erlauftales" vor.

1.2 Mitgliederbewegung 1988

Stand	31.12.87	30.11.88
A-Mitglieder	56	57
B-Mitglieder	181	183
C-Mitglieder	20	20
Fördernde Mitglieder	8	7
Zahlende Mitglieder	265	267
Tauschpartner	26	26

Wir haben die traurige Pflicht, das Ableben unseres Kollegen Dr. Franz Horner mitzuteilen.

Wir freuen uns als neue Mitglieder begrüßen zu können:

Ing. H. Amann, Dr. M.S. Amira, Dipl.-Ing. H. Bogensperger, Dipl.-Ing. M. Englisch, Dipl.-Ing. E. Fuhrmann, Dr. F. Göbel, Dipl.-Ing. J. Graf, Dipl.-Ing. A. Mentler, Dipl.-Ing. M. Oberforster, Ing. J. Panzenböck, Dipl.-Ing. J. Partl, M. Pollak, Dipl.-Ing. N. Rampazzo, E. Unger.

Austritte: Ing. J. Imlinger, G. Kahl, Dipl.-Ing. R. Klenkhardt, Dipl.-Ing. Dr. F. Klinger, Dipl.-Ing. Kronsteiner, Dipl.-Ing. E. Landsteiner, O. Lässer, Österreichische Düngerberatungsstelle, Dipl.-Ing. Dr. W. Ruckenbauer, Dipl.-Ing. K. Wieczorek, Dr. S. Wihrheim.

1.3 Arbeitskreise

1.3.1 Der Arbeitskreis Bodenmikrobiologie

Das zweite Projekt "Standardisierung von bodenbiochemischen und bodenmikrobiologischen Methoden für landwirtschaftlich genutzte Böden" wurde abgeschlossen und der Endbericht verfaßt. Es wurden hierbei 25 Methoden ausgewählt und adaptiert, einige davon waren völlig neu entwickelt worden. Diese Arbeiten bilden die Grundlage für weitere bodenbiologische Untersuchungen.

1.3.2 Die Arbeitsgruppe Bodenschutz hat ihre Tätigkeit, nämlich die Erarbeitung einer Bodenschutzkonzeption für Österreich aus bodenkundlicher Sicht, fortgesetzt. Das Ergebnis soll im Frühjahr des nächsten Jahres präsentiert werden.

1.3.3 Neu gegründet wurde der Arbeitskreis "Bodenzustandsinventur" (BZI). Das Ziel liegt in der Ausarbeitung von Richtlinien für die Durchführung einer einheitlichen Bodenzustandsinventur in Österreich. Da einige Bundesländer schon auf diese Richtlinien warten, erscheint dieses Projekt besonders vordringlich. Es wurden bereits Rohentwürfe ausgearbeitet und in einigen Arbeitssitzungen diskutiert.

1.4 Veröffentlichungen

Im Jahre 1988 sind die Hefte 36 und 37 der Mitteilungen der ÖBG erschienen.

2. VORSCHAU 1989

2.1 Die Ordentliche Generalversammlung wird am Mittwoch, dem 25. Jänner 1989 stattfinden (siehe beiliegende Einladung). Im Anschluß daran wird Univ.-Prof. G. Stoops (Gent) über "Die Bedeutung der Mikromorphologie in der Bodenkunde" sprechen.

2.2 Veranstaltungen im Frühjahr 1989

Im April 1989 ist ein zweitägiges Symposium geplant, bei dem die im Arbeitskreis "Bodenzustandsinventur" erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt werden sollen. Begleitende Vorträge mit Referenten aus dem In- und Ausland sind vorgesehen. Das genaue Programm wird noch bekanntgegeben werden.

2.3 Die Exkursion der ÖBG wird vom 27.9.-30.9.1989 stattfinden und Böden sowie Standorte in Transdanubien (Westungarn) zum Inhalt haben.

Der Vorstand der österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft wünscht allen Mitgliedern ein gesegnetes Weihnachtsfest sowie ein gutes, gesundes und friedliches Jahr 1989.

Heide Spiegel-Grall e.h.
Generalsekretär

O. Nestroy e.h.
Präsident

**MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

Heft 36

Wien 1988

Eigentümer, Herausgeber und Verleger:
Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft
Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 Wien

Schriftleitung und für den Inhalt verantwortlich:
Dr. M. Eisenhaut und Dr. O. Nestroy

Druck: RM – Druck- & Verlagsgesellschaft m.b.H., Graz

Gefördert durch das Bundesministerium
für Wissenschaft und Forschung in Wien

ISSN 0029-893 X

Vorwort

Die Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft trat zum zweiten Male in Form eines zweitägigen Symposiums, gehalten an der Universität für Bodenkultur, vor das Fachpublikum.

Das Thema "Aktueller Stand physikalischer und chemischer Bodenuntersuchungsverfahren" war die Leitlinie für vergleichende Darstellungen der in Österreich angewandten nationalen wie internationalen land- und forstwirtschaftlichen Bodenuntersuchungsmethoden und deren Interpretation für die Praxis.

Das vorliegende Heft ist den bei diesem Symposium gehaltenen Vorträgen gewidmet.

O. Nestroy

M. Eisenhut

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
O. H. DANNEBERG: Aktueller Stand der landwirtschaftlichen Bodenanalyse in Österreich.....	7
A. KÖCHL: Beziehungen zwischen bodenanalytischen Daten und Feldergebnissen.....	25
H. J. MÜLLER: Bodenuntersuchung aus der Sicht der Landwirtschaft.....	39
W. KILIAN: Die Bodenanalytik aus forstlicher Sicht....	53
Ch. MAJER: Untersuchungen zur kleinräumigen Variabilität von Bodenparametern in Waldböden.....	67
K. NEMETH: Die EUF-Methode als Grundlage für die Düngempfehlung.....	95
E. KLAGHOFER: Physikalische Methoden in der landwirtschaftlichen Bodenforschung.....	125
W. E. H. BLUM: Die Bodenanalyse im Rahmen der Bodengenetik und -taxonomie.....	139
Walter-Kubiena-Preis.....	145
Publikationen der Gesellschaft.....	146

Aktueller Stand der landwirtschaftlichen Bodenanalyse in
Österreich

von O.H. Danneberg

Zusammenfassung: Der derzeit aktuelle Stand der landwirtschaftlichen Bodenanalyse in Österreich wird zusammenfassend dargestellt. Die zeitliche und räumliche Inhomogenität des Naturkörpers Boden wird besonders betont, die sich daraus ergebenden Konsequenzen, vor allem hinsichtlich der Probenahme, werden dargestellt. Das derzeitige Angebot der Bundesanstalt für Bodenkunde und Bodenkultur an bodenanalytischen Bestimmungsstücken, umfassend bodenkundliche Grundparameter, Totalgehalte der wichtigsten Elemente, wasserlösliche Anteile, "pflanzenverfügbare" Nährstoffe und zusätzliche Untersuchungen, wird vorgestellt; auf die geschichtliche Entwicklung und die Charakteristika dieses Untersuchungssystems wird verwiesen. Auf die Besonderheiten der Bestimmung "pflanzenverfügbarer" Nährstoffe, insbesondere die Notwendigkeit der Eichung am Feldversuch und der Einbeziehung von Standortsparemetern in die Interpretation wird eingegangen. Das Schema einer "idealen Bodenuntersuchung" wird zur Diskussion gestellt.

Summary: The present state of the agricultural analysis of soil in Austria is briefly discussed. The inhomogeneity of natural soil is stressed, consequences, especially regarding soil sampling, are underlined. The scope of soil analyses, as offered by the Bundesanstalt für Bodenkunde und Bodenkultur, ranges from basic soil parameters, total contents of main- and minorelements, water soluble constituents, "plant available" nutrients to additional analyses. Its historical development and special charac-

teristics are mentioned. Attention is payed to "plant available" nutrients, the necessity of calibration by field trials and interpretation considering site characteristics. An "ideal system of soil analysis" is presented for discussion.

Begriffsbestimmung: Unter Bodenuntersuchung im weitesten Sinne versteht man alle Arten von Untersuchungen, die am "gewachsenen", in natürlicher oder künstlicher Lagerung befindlichen Boden oder an daraus entnommenen Proben vorgenommen werden und die zur quantitativen Erfassung von Bodeneigenschaften dienen. Von besonderer Bedeutung sind dabei jene Eigenschaften, die den Boden zur Ausübung seiner ökologischen Funktionen (BLUM, 1986) befähigen. Unter landwirtschaftlicher Bodenanalyse im besonderen werden jene chemischen, hauptsächlich im Laboratorium durchgeführten Untersuchungen verstanden, die zur Kennzeichnung des Bodens als Standort landwirtschaftlicher Nutzpflanzen verwendet werden (BLUM et al. 1983).

Grundlegende Eigenschaften des Naturkörpers Boden: Das Untersuchungsobjekt Boden hat eine Reihe von Eigenschaften, welche bei der Bodenuntersuchung berücksichtigt werden müssen. Der Boden ist ein Naturkörper, der sich im Laufe langer Zeit unter dem Einfluß der Faktoren der Bodenentwicklung (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1979) aus dem Ausgangsgestein gebildet hat. Seine Eigenschaften können in weiten Grenzen schwanken und zwar sowohl räumlich als auch zeitlich (KNOOP et al. 1985); beide Arten von Inhomogenität, jene im Raum und jene in der Zeit, haben auf die Bodenuntersuchung und ihre Interpretation tiefgreifende Auswirkungen.

Die Inhomogenität in der Zeit bringt es mit sich, daß im Prinzip jede Bodenuntersuchung eine Momentaufnahme eines sich verändernden, dynamischen Systems darstellt. Ihr Aussagewert hängt von der Geschwindigkeit ab, mit der sich die betrachtete Eigenschaft verändert; diese Geschwindigkeiten aber können sehr verschieden sein:

Die bodenkundlichen Grundparameter, wie z.B. die Gehalte an Grobstoff oder Skelett, an Sand, Schluff, Ton und Kalk, haben sich im Zuge der Bodenentwicklung ausgebildet und verändern sich entsprechend dem

Fortschritt der bodenbildenden Prozesse; sie können also für praktische Zwecke als konstant angenommen werden.

Wesentlich schneller veränderbar sind schon so bedeutende Parameter wie die Gehalte an "pflanzenverfügbaren" Grundnährstoffen. Als Folge der Bodenbewirtschaftung, vorwiegend der Düngung, können die Gehalte an "pflanzenverfügbarem" Phosphat und Kalium im Laufe mehrerer Jahre meßbar verändert werden.

Noch schneller aber, im Rhythmus von Stunden bis Tagen, können sich mikrobiologisch-biochemische Bodenparameter verändern; hierher gehören vor allem viele der von der Bodenmikroflora in Gang gehaltenen Prozesse des Kohlenstoff- und des Stickstoffkreislaufs.

Die Inhomogenität im Raum ist Gegenstand umfangreicher Literatur, die von BECKETT u. WEBSTER (1971) und von DAHIYA et al. (1984) zusammengefaßt wurde.

In Mitteleuropa ist die Struktur vieler Bodenlandschaften sehr heterogen; als Folge eines Wechsels von mindestens einem bodenbildenden Faktor kommt es oft schon kleinflächig zu beträchtlichen Unterschieden in den Bodeneigenschaften (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1979). Die so entstehende, natürliche Varianz wird durch eine zusätzliche, bewirtschaftungsbedingte Überlagert. Von dieser letzteren sind vor allem die "pflanzenverfügbaren" Nährstoffe betroffen, in geringerem Maße auch Eigenschaften wie der Gehalt an organischer Substanz und Gesamtstickstoff oder die Austauschkapazität. Kaum von ihr betroffen werden dagegen das Korngrößenverhältnis oder die Mächtigkeiten der Horizonte. Durch diese Überlagerung ist die Variabilität bewirtschafteter Flächen häufig größer als die von nicht bewirtschafteten (BECKETT u. WEBSTER, 1971).

Bodenkartierungen haben die Aufgabe, die Verbreitung unterscheidbarer Böden innerhalb einer Landschaft darzustellen. Man darf erwarten, daß die Variabilität innerhalb von Kartierungseinheiten wesentlich geringer ist, als die zwischen solchen Einheiten (BECKETT u. WEBSTER, 1971). So liegt nach MUTERT et al. (1979) die Variabilität zwischen benachbarten Pedons bei nur 2 bis 8 %; sie steigt mit zunehmender Entfernung und kann in Pedotopen bis zu 30 % betragen.

Die konventionellen statistischen Maße wie Standardabweichung, Varianz und Varianzkoeffizient beschreiben lediglich die Streuung von Werten bezogen auf den Mittelwert, berücksichtigen jedoch nicht die räumlichen Abhängigkeiten. Diesen letzteren kann man mit Hilfe von geostatistischen Verfahren gerecht werden (SCHNUG et al., 1985; KNOOP et al., 1985; DAHIYA et al., 1985).

Die Probenahme und ihre Bedeutung:

In den meisten praktischen Fällen verzichtet man jedoch auf aufwendige, statistische Verfahren. So wird in der landwirtschaftlichen Routine-Bodenuntersuchung auf die Ermittlung von Abweichungsmaßen regelmäßig verzichtet, um die aufwendige Analyse von vielen Stichproben zu vermeiden. Man begnügt sich mit der Untersuchung von Mischproben, die jedoch unbedingt für die untersuchte Fläche repräsentativ sein müssen. Dies wird dadurch erreicht, daß die Mischprobe aus einer ausreichend großen Anzahl von Stichproben besteht, deren Entnahmestellen gleichmäßig über die zu untersuchende Fläche verteilt sein müssen. Weiter ist unbedingt zu fordern, daß nur Stichproben von in sich bodenkundlich einheitlichen Flächen zu Mischproben vereinigt werden; Flächenteile abweichender Bodenbeschaffenheit sind entweder von der Beprobung auszuschließen oder getrennt zu bemustern (siehe dazu z.B. LANDWIRTSCHAFTL. CHEM. BUNDESVERSUCHSANSTALT, BODENKARTIERUNG u. BODENWIRTSCHAFT, o.J.)

Die besondere Bedeutung einer korrekten Probenahme liegt darin, daß dabei gemachte Fehler später nicht mehr korrigierbar sind. Sie sollte daher immer mit höchstmöglicher Sorgfalt durchgeführt werden.

Übersicht I

Analysenangebot der Bundesanstalt
für Bodenkultur, Wien.

1.) Bodenkundliche Grundparameter:

Korngrößenverteilung (Sand, Schluff, Ton)
Kalk
Humus
Acidität
Austauschkapazität
Austauschbare Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+)

2.) Totalgehalte (bzw. Gehalte in starken, oxidierenden Säuregemischen):

Kohlenstoff
Stickstoff
Phosphor
Makroelemente (Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn)
Mikroelemente (Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni)

3.) Wasserlösliche Anteile:

Summe wasserlöslicher Salze, Leitfähigkeit
Wasserlösliche Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+)
Wasserlösliche Anionen (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-})

4.) "Pflanzenverfügbare" Nährstoffe:

"pflanzenverfügbares" Phosphat
"pflanzenverfügbares" Kalium
"pflanzenverfügbare" Stickstoff
"pflanzenverfügbares" Magnesium
"pflanzenverfügbare" Mikronährstoffe (Fe, Mn, Cu, Zn, B)

5.) Zusätzliche Untersuchungen, z.B. Nährstoffixierungen, Aktivkalk, Kalkbedarf etc.

Die bodenanalytischen Bestimmungsstücke: In Österreich wird der bei weitem größte Anteil an landwirtschaftlichen Bodenuntersuchungen derzeit durch die Bundesanstalt für Bodenkultur in Wien durchgeführt. Ihr gegenwärtiges Analysenangebot wird durch die Übersicht I wiedergegeben. Das Angebot umfaßt bodenkundliche Grundparameter, Totalgehalte der wichtigsten Elemente, wasserlösliche Anteile, "pflanzenverfügbare" Nährstoffe und zusätzliche Untersuchungen. Den bei weitem größten Anteil der tatsächlich durchgeführten Analysen nimmt die Untersuchung der "pflanzenverfügbaren" Nährstoffe ein.

Die "pflanzenverfügbaren" Nährstoffe: Die Pflanze entnimmt die Nährstoffe hauptsächlich der Bodenlösung, mit der die Wurzel in direktem Kontakt steht. Die in der Bodenlösung enthaltenen wasserlöslichen Nährstoffanteile reichen jedoch für den Bedarf der Pflanze bei weitem nicht aus. Die Pflanze kann diesen Bedarf nur dadurch decken, daß nach Aufnahme aus der Bodenlösung und entsprechender Verminderung der Nährstoffkonzentration Nährstoffe aus der festen Bodenphase in die Bodenlösung nachgeliefert werden. Jenen Teil der festen Bodenphase, aus dem diese Nachlieferung erfolgt, nennt man den "labilen Nährstoffpool"; die Bindung der Nährstoffionen an die festen Bodenteilchen ist hier verhältnismäßig schwach. Der Vorgang der Nährstoffnachlieferung soll dabei mit ausreichender Geschwindigkeit vor sich gehen. Zu einer vollständigen Kennzeichnung der Nährstoffdynamik wären demnach nötig:

- die Kenntnis der aktuellen Konzentration des Nährstoffs in der Bodenlösung
- die Kenntnis der Größe des "labilen Nährstoffpools" und
- die Kenntnis der Geschwindigkeit der Nährstoffnachlieferung aus dem "labilen Pool" in die Bodenlösung (siehe dazu u.a. ULRICH, 1961; MENGEL, 1972; LARCHER, 1976; BLUM et al., 1983).

Darüber hinaus ist die allgemein bekannte Tatsache in Erinnerung zu rufen, daß das Aneignungsvermögen für Nährstoffe von Pflanzenart zu Pflanzenart sehr verschieden sein kann; dies wurde u.a. von JUNGK u. Ma. sehr eindrucksvoll gezeigt (HENDRIKS u. JUNGK, 1981; CLAASSEN,

HENDRIKS u. JUNGK, 1981 u. 1981a; HENDRIKS, CLAASSEN u. JUNGK, 1981; CLAASSEN u. JUNGK, 1982; CLAASSEN u. JUNGK, 1984). Schließlich bleibt festzuhalten, daß die Pflanze während längerer Zeit, mindestens während einer Vegetationsperiode, bei mehrjährigen Pflanzen jedoch entsprechend länger, Nährstoffe aufnimmt (BLUM et al., 1983).

In der Praxis der Bodenuntersuchung ist man dagegen gezwungen, diesen komplizierten, über längere Zeit ausgedehnten und von Pflanzenart zu Pflanzenart verschiedenen Vorgang durch eine einfache chemische Extraktion im Laboratorium zu simulieren. Es ist ganz offenbar, daß dabei lediglich eine Zahl erhalten werden kann, die der Pflanzenaufnahme mit einem getrennt zu ermittelnden Faktor proportional ist. Die Umrechnung erfolgt bei allen Systemen der Bodenuntersuchung durch Eichung am Eichfeldversuch (VDLUFA, 1984). Der mit Hilfe dieser Eichfeldversuche ermittelte Zusammenhang zwischen Nährstoffgehalt im Boden und Düngebedarf ist jedoch von zahlreichen Boden- und Standortseigenschaften abhängig, so von Ton- und Humusgehalt, pH-Wert, Krumentiefe, Durchwurzelungstiefe, Nährstoffgehalt im Unterboden, Wasser- und Lufthaushalt des Bodens, biologischer Aktivität, Bodentyp und Ausgangsgestein (VDLUFA, 1984; DANNEBERG et al., 1986).

Der Stickstoff: Die Ernährung der Pflanze mit diesem wichtigsten, aus dem Boden aufgenommenen Pflanzennährstoff erfolgt über die in der durchwurzelbaren Bodenschicht vorhandenen, pflanzenverfügbaren Ionen Ammonium und Nitrat. Ammonium wird durch einen mikrobiologischen Prozeß, die Mineralisierung, aus der organischen Substanz gebildet, Nitrat entsteht aus Ammonium im Wege der Nitrifikation. Die Konzentration beider Ionen im Boden verändert sich durch Nachbildung einerseits sowie andererseits durch Pflanzenaufnahme und durch Verlustreaktionen (JANSSON, 1971).

Zur Vorhersage der Menge an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden wird häufig die N_{min} -Methode nach SCHARPF und WEHRMANN verwendet. Sie bestimmt die Menge an Stickstoff, die zu Vegetationsbeginn im durchwurzelbaren Bodenprofil als austauschbares Ammonium und als Nitrat vorliegt. Die Stickstoffmenge, die während der Vegetationszeit durch Mineralisierung nachgeliefert wird, wird an Hand von Feldversuchser-

gebnissen geschätzt (SCHARPF, 1977).

Nach KEENEY und BREMNER (1966) stellt der in heißem Wasser lösliche Stickstoff einen Parameter für die bessere Abschätzung des "mineralisierbaren" Stickstoffs dar. BRONNER (1976) verwendet den "heißwasserlöslichen" Stickstoff seit vielen Jahren als Basis eines praxiserprobten Beratungssystems im oberösterreichischen Zuckerrübenanbau. Die Bundesanstalt für Bodenkunde und Bodenkultur bietet bereits seit längerer Zeit beide Untersuchungen an, sowohl N_{\min} als auch "heißwasserlöslichen" Stickstoff. Die Umsetzung der Ergebnisse in die praktische Beratung befriedigt jedoch derzeit noch nicht. Offenbar besteht hier noch beträchtlicher Forschungsbedarf; ein dieser Thematik gewidmetes Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Bodenkunde und Bodenkultur beginnt erste Ergebnisse zu erbringen (WENZL et al., 1987).

Die historische Entwicklung der landwirtschaftlichen Bodenuntersuchung in Österreich und in den Nachbarländern wird bei BLUM et al. (1983) dargestellt. In Österreich wurde 1938 die allgemeine Untersuchung der landwirtschaftlich genutzten Böden auf "pflanzenverfügbares" Phosphat und Kalium nach der Doppel-Laktat-(DL)-Methode nach EGNER-RIEM (THUN et al., 1955) angeordnet. Wie sich bald zeigte, ist diese Methode für kalkfreie, saure Böden gut brauchbar, jedoch für die Untersuchung von kalkhaltigen Böden ungeeignet. Auf der Suche nach Untersuchungsmethoden, die für kalkhaltige Böden geeignet sind, wurde nach dem Krieg zunächst nach DIRKS-SCHEFFER (THUN et al., 1955) mit CO_2 -haltigem Wasser extrahiert; in den 60er Jahren entwickelte dann H.SCHÜLLER die Calcium-Acetat-Laktat-(CAL)-Methode (SCHÜLLER, 1969), die seither sowohl in Österreich als auch in der benachbarten Bundesrepublik Deutschland angewendet wird. Da sich zeigte, daß apatitische Phosphate, die auf sauren Böden - nicht jedoch auf kalkhaltigen Böden - düngewirksam sind, durch die CAL-Methode nicht angezeigt werden, mußte man sich zu einer Verwendung beider Methoden nebeneinander entschließen: Derzeit werden daher in Österreich Böden mit pH-Werten ≥ 6 nach CAL, solche mit pH-Werten < 6 nach DL untersucht.

Im weiteren Verlauf wurden, sowohl in Österreich als auch in der Bundesrepublik, die Bestimmung des "pflanzenverfügbaren" Magnesiums sowie der "pflanzenverfügbaren" Spurennährstoffe Bor, Eisen, Mangan, Kupfer und Zink hinzugenommen. Dieser methodische Entwicklungsstand wurde durch den damaligen Vorsitzenden der Fachgruppe "Boden" der Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten Österreichs (ALVA), H.SCHÜLLER, in einer ersten Methodensammlung zusammengefaßt (SCHÜLLER, 1973).

Die Erweiterung auf das in Übersicht I dargestellte derzeitige Analysenangebot begann etwa 1976. Sie wurde zunächst in der Fachgruppe "Boden" der ALVA diskutiert und durch eine große Zahl vergleichender Untersuchungen (KRABICHLER, unveröffentlicht, ALVA 1980 - 87) vorbereitet.

Als sich in den 80er Jahren die Notwendigkeit zur methodischen Abstimmung mit den Forstlichen Untersuchungsstellen ergab, wurde durch die Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft eine Arbeitsgruppe "Waldbodenuntersuchung" ins Leben gerufen. Sie legte 1986 Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise bei der Geländeaufnahme, Probenahme und Analyse von Waldböden in Österreich vor (BLUM et al., 1986). Aufgrund dieser Arbeit können heute in Österreich landwirtschaftlich genutzte Böden und Waldböden mit weitgehend vergleichbaren Methoden untersucht werden.

So war schließlich die Zeit reif für die Erarbeitung von verbindlichen Normen zur Untersuchung von Bodeneigenschaften. Seit Mitte der 80er Jahre widmet sich ein vom Österreichischen Normungsinstitut ins Leben gerufener Fachnormenausschuß (FNA) "Boden als Pflanzenstandort" dieser Arbeit; für eine Reihe der in Übersicht I wiedergegebenen Bestimmungsstücke wurden bereits ÖNORMEN erarbeitet oder ÖNORM-Vorschläge erstellt, an einigen weiteren dieser Vorschläge wird derzeit noch gearbeitet.

Die Untersuchungsmethoden:

Die in Übersicht I aufgelisteten Bestimmungsstücke werden in der Bundesanstalt für Bodenwirtschaft nach den folgenden Methoden ermittelt:

ad 1.) Bodenkundliche Grundparameter:

Korngrößenverteilung: Kombiniertes Sieb-Pipettverfahren nach Dispergierung in Tetranatriumdiphosphat ohne Humuszerstörung. ÖNORM L 1061

Kalkgehalt: Gasvolumetrische Bestimmung nach SCHEIBLER. ÖNORM L 1084.

Humusgehalt: NaOxidation mit Kaliumdichromat-Schwefelsäure nach WALKLEY. ÖNORM L 1081

Acidität: Elektrometrische Bestimmung der potentiellen Acidität einer Suspension von Boden in 0,01 Mol/l CaCl_2 -Lösung. ÖNORM L 1083

Austauschkapazität und Austauschbare Kationen: Kationenaustausch mit BaCl_2 nach MEHLICH; für Böden mit pH-Werten $\geq 6,5$ wird mit gepufferter BaCl_2 -Lösung, für solche mit niedrigeren pH-Werten mit ungepufferter Lösung gearbeitet. ÖNORM-Vorschlag L 1086

ad 2.) Totalgehalte:

Gesamtgehalt an Kohlenstoff: Trockene Verbrennung. ÖNORM L 1080

Gesamtgehalt an Stickstoff: Bestimmung nach KJELDAHL ohne Einschluß von Nitrat, Nitrit, Nitro- und Nitrosogruppen. ÖNORM L 1082

Totalgehalte an Phosphor, Makro- und Mikroelementen: Bestimmung im Säureaufschluß, üblicherweise mit Königswasser, bei Auflagehumus mit Salpetersäure - Perchlorsäure. ÖNORM L 1085

ad 3.) Wasserlösliche Anteile

Wasserlösliche Anteile werden international zumeist im Sättigungswasserextrakt bestimmt (BOWER u. WILCOX, 1965). Die Ermittlung des Salzgehaltes erfolgt durch Messung der Leitfähigkeit, im Extrakt können Anionen und Kationen getrennt erfaßt werden.

Sättigungswasserextrakte können nur durch Zentrifugieren gewonnen werden; zieht man für Serienanalysen filtrierfähige

Extrakte vor, muß man bei der Extraktion weite Verhältnisse von Boden : Wasser verwenden. Um solche filtrierbare Extrakte zu erhalten, haben sich Ansätze von 5 g Boden mit 100 ml 0.001 Mol/l Essigsäure gut bewährt. Es zeigte sich, daß die in diesen Extrakten bestimmbar Konzentrationen von Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- mit jenen übereinstimmen, die man bei Extraktion mit Wasser im gleichen Verhältnis erhält (KRABICHLER, unveröffentlicht). Während jedoch die Ansätze mit reinem Wasser sehr schlecht filtrierbar sind, zeichnen sich die Ansätze mit 0,001 Mol/l Essigsäure durch eine gute Filtrierbarkeit aus. Die Bundesanstalt zieht daher für Serienanalysen das beschriebene Verfahren mit Essigsäure vor. Der Gesamtsalzgehalt wird in einem Extrakt von 10 g Boden mit 100 ml Wasser als Leitfähigkeit im Überstand nach Absetzen des Bodens - also ohne Filtration - ermittelt. Bei Bedarf können selbstverständlich auch Sättigungswasserextrakte untersucht werden. ÖNORMEN für die Ermittlung der wasserlöslichen Anteile werden vorbereitet.

ad 4.) "Pflanzenverfügbare" Nährstoffe:

"Pflanzenverfügbares" Phosphat und Kalium wird nach den Laktatmethoden ermittelt; für Böden mit pH-Werten $\geq 6,0$ wird die CAL-Methode, für solche mit niedrigerem pH-Wert die DL-Methode verwendet. ÖNORM-Vorschläge L 1086 und L 1087.

Das mit den Laktatmethoden ermittelte Kalium stimmt mit dem austauschbaren Kalium praktisch völlig überein (KRABICHLER, unveröffentlicht).

"Pflanzenverfügbarer" Stickstoff: Der unmittelbar pflanzenaufnehmbare, mineralische Stickstoff wird nach der N_{\min} -Methode (SCHARPF, 1977) bestimmt; der "mineralisierbare" Stickstoff wird als "heißwasserlöslicher" Stickstoff nach BRONNER (1976) ermittelt.

"Pflanzenverfügbares" Magnesium wird nach SCHACHTSCHABEL (SCHÜLLER, 1973) bestimmt; die Werte stimmen im niedrigen Konzentrationsbereich völlig mit denen des austauschbaren Magnesiums überein; bei hohen Konzentrationen sind sie niedriger als das austauschbare Mg (KRABICHLER, unveröffentlicht).

"Pflanzenverfügbares" Bor wird in der Bundesanstalt für Bodenkunde derzeit mit Hilfe des Acetatverfahrens nach BARON (SCHÜLLER, 1973) ermittelt; andere der ALVA angehörige Anstalten verwenden dazu die Heißwasserextraktion nach BERGER-TRUOG (SCHÜLLER, 1973).

"Pflanzenverfügbares" Eisen, Mangan, Kupfer und Zink wird im EDTA-Extrakt bestimmt (SCHÜLLER, 1973).

Die Charakteristika dieses Analysenangebotes: Gegenüber den lange Zeit üblichen Einfachuntersuchungen (Acidität, "pflanzenverfügbares" Phosphat und Kalium) ist dieses Analysenangebot charakterisiert durch

- die Hinzunahme bodenkundlicher Grundparameter
- die Hinzunahme der wichtigsten umweltrelevanten Parameter
- die Hinzunahme einer zweiten Ebene der Verfügbarkeit für die Pflanzennährstoffe Phosphat und Kalium (bei Phosphat durch wasserlösliches PO_4 , bei Kalium durch Bezug zur Austauschkapazität und zu den anderen austauschbaren Kationen)
- die Hinzunahme von Parametern zur Vorhersage des Stickstoffdüngedarfes.

Alle diese Erweiterungen konnten unter Beibehaltung der bisher bewährten, älteren Untersuchungsmethoden, für die ja lange zurückliegende Erfahrungen und ein breites, zum Vergleich geeignetes Zahlenmaterial vorliegen, nur durch die Hinzunahme neuer Methoden erfolgen; eine totale Umstellung des Systems konnte vermieden werden. Das System erwies sich dabei als genügend anpassungsfähig, so daß auch zukünftige Erweiterungen unschwer möglich sein werden; so werden z.B. derzeit Methoden entwickelt und standardisiert, die Aussagen über

biologische Eigenschaften des Bodens zulassen (siehe dazu Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges., Heft 33, 1986).

Für die Zukunft ist aus einer Verknüpfung von feldbodenkundlichen, in der Bodenkartierung festgehaltenen Ergebnissen mit den Laborresultaten zu einer gemeinsamen Interpretation ein weiterer, wesentlicher Fortschritt zu erwarten. Die Bedeutung der Standortparameter für die Interpretation von Analyseergebnissen ist bekannt (VDLUFA, 1984); DANNEBERG et al. (1987) konnten zeigen, daß dafür die Ergebnisse der österreichischen Bodenkartierung sinnvoll herangezogen werden können. Eine solche Einbeziehung der Kartierungsergebnisse in die Interpretation setzt allerdings voraus, daß die der Untersuchung zugrundeliegenden Proben bodenformbezogen entnommen wurden, also nur Material einer einzigen Bodenform enthalten.

Der für eine erweiterte Untersuchung erhöhte Aufwand kann in Grenzen gehalten werden, da viele Parameter sich nur wenig verändern und daher nicht regelmäßig, sondern nur einmal untersucht werden müssen. Voraussetzung für eine sinnvolle und wirtschaftlich tragbare Beratung ist die Dokumentation aller einer Fläche betreffenden Daten in einer geeigneten Schlagkartei. Es bietet sich demnach das folgende Schema (Übersicht II) für eine "ideale Bodenuntersuchung" an; es sei hiemit zur Diskussion gestellt.

Übersicht II

Die "ideale Bodenuntersuchung" (Eine Diskussionsgrundlage)

- 1.) Feldaufnahme mit Einordnung in die Einheiten der Bodenkartierung, gleichzeitig korrekte (bodenformbezogene) Probenahme und Erstellung einer Unterlage für zukünftige Probenahmen.

- 2.) Eingangsuntersuchung, ist nur einmal durchzuführen. Umfang: Ton, Kalk, Humus, Acidität, austauschbare Kationen, Austauschkapazität, heißwasserlöslicher Stickstoff, "pflanzenverfügbares" und wasserlösliches Phosphat, "pflanzenverfügbare" Spuren, bei Bedarf K-Fixierung. Untersuchung des Ober- und Unterbodens.

- 3.) Schlagkartei, Festhalten der feldbodenkundlichen und der Laborbefunde.

- 4.) Interpretation nach Feldversuchsergebnissen, allenfalls Korrekturen durch Zu- oder Abschläge. Später Modelle.

- 5.) Folgeuntersuchung nach 3 - 5 Jahren mit stark vereinfachtem Umfang. Stellt Veränderungen gegenüber der Eingangsuntersuchung fest. Ergebnisse werden in der Schlagkartei dokumentiert.

- 6.) Anpassung der Interpretation

- 7.) Spezialanalysen und Spezialberatung

Literatur:

- ALVA, Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten Österreichs: Bodenenqueten 1980 - 1987. Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, Wien, 1980 - 1987.
- BECKETT, P.H.T. u. R.WEBSTER: Soil variability: A review. Soils and Fertilizers 34, 1 - 15, 1971.
- BLUM, W.E.H.: Bedarf und Möglichkeiten eines Geo-Informationssystems aus der Sicht der Bodenkunde. In: W.GERSTBACH, Hsgb.: Geowissenschaftliche/geotechnische Daten in Landinformationssystemen. Geowiss. Mitt. 27, Technische Universität Wien, 1986.
- BLUM, W.E.H. u. Ma.: Bodenuntersuchung. In: 25 Jahre Bodenkartierung. Bundesanstalt für Bodenwirtschaft, Wien, 1983.
- BLUM, W.E.H., O.H.DANNEBERG, G.GLATZEL, H.GRALL, W.KILIAN, F.MUTSCH, D.STÖHR: Waldbodenuntersuchung. Geländeaufnahme, Probenahme, Analyse. Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, Arbeitsgruppe Waldbodenuntersuchung, Wien, 1986.
- BOWER, C.A. u. L.V.WILCOX: Soluble Salts. In: C.A.BLACK et al., eds.: Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison, 1965.
- BRONNER, H.: Kenndaten des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs in Beziehung zum Wachstum der Zuckerrübe. Bodenkultur 27, 18 - 59, 120 - 161, 1976.
- CLAASSEN, N., L.HENDRIKS u. A.JUNGK: Erfassung der Mineralstoffverteilung im wurzelnahen Boden durch Autoradiographie. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144, 306 - 316, 1981.
- CLAASSEN, N., L.HENDRIKS u. A.JUNGK: Rubidium-Verarmung des wurzelnahen Bodens durch Maispflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144, 533 - 545, 1981 a.
- CLAASSEN, N. u. A.JUNGK: Kaliumdynamik im wurzelnahen Boden in Beziehung zur Kaliumaufnahme von Maispflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 145, 513 - 525, 1982.

- CLAASSEN, N. u. A.JUNGK: Bedeutung von Kaliumaufnahme, Wurzelwachstum und Wurzelhaaren für das Kaliumaneignungsvermögen verschiedener Pflanzenarten. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 147, 276 - 289, 1984.
- DAHIYA, J.S., R.ANLAUF, K.S.KERSEBAUM u. J.RICHTER: Spatial variability of some nutrient constituents of an Alfisol from Loess. II. Geostatistical analysis. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 148, 268 - 277, 1985.
- DAHIYA, J.S., J.RICHTER u. R.S.MALIK: Soil spatial variability: A review. Int. J. Trop. Agric. 2, 1 - 102, 1984.
- DANNEBERG, O.H., K.SCHWARZECKER u. A.KÖCHL: Verbesserte Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen mit Hilfe von Standortmerkmalen aus der Bodenkartierung. VDLUFA-Schriftenreihe 20, Kongreßband, 255 - 273, 1986.
- HENDRIKS, L., N.CLAASSEN u. A.JUNGK: Phosphatverarmung des wurzelnahen Bodens und Phosphataufnahme von Mais und Raps. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144, 486 - 499, 1981.
- HENDRIKS, L. u. A.JUNGK: Erfassung der Mineralstoffverteilung in Wurzelnahe durch getrennte Analyse von Rhizo- und Restboden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 144, 276 - 282, 1981.
- JANSSON, S.L.: Use of ¹⁵N in studies of soil nitrogen. In: A.D. McLAREN u. J.SKUJINS (eds.), Soil Biochemistry, Vol. 2, Marcel Dekker, New York, 1971.
- KEENEY, D.R. u. J.M.BREMNER: Comparison and evaluation of laboratory methods of obtaining an index of soil nitrogen availability. Agron. J. 58, 498 - 503, 1966.
- KNOOP, F., J.LAMP u. E.SCHNUG: Regionale Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit. I Modelle zur Erfassung und Darstellung. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 43/II, 655 - 660, 1985.
- LANDW. CHEM. BUNDESVERSUCHSANSTALT, BODENKARTIERUNG U. BODENWIRTSCHAFT: Anleitung zur Entnahme von Bodenproben. Eigenverlag d. Landw. chem. Bundesversuchsanstalt, Bodenkartierung u. Bodenvirtschaft, Wien, o.J.

- LARCHER, W.: Ökologie der Pflanzen. 2. Aufl., Eugen Ulmer, Stuttgart, 1976.
- MENGEL, K.: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 4. Aufl. Gustav Fischer, Stuttgart, 1972.
- MUTERT, E., J.LAMP u. W.KNEIB: Zur regionalen Verteilung von Böden in Schleswig-Holstein. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 29, 787 - 792, 1979.
- SCHARPF, H.C.: Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf. Dissertation, Technische Universität Hannover, 1977.
- SCHEFFER, F. u. P.SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. 10. Aufl. Ferdinand Enke, Stuttgart, 1979.
- SCHNUG, E., J.LAMP u. F.KNOOP: Regionale Variabilität von Merkmalen der Bodenfruchtbarkeit. II Beispiele und praktische Bedeutung. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 43/II, 679 - 684, 1985.
- SCHÜLLER, H.: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 123, 48, 1969.
- SCHÜLLER, H. (Hsg.): Methodensammlung der Fachgruppe "Boden" der ALVA. Arbeitsgemeinschaft Landwirtschaftlicher Versuchsanstalten Österreichs, Wien, 1973.
- THUN, R., R.HERRMANN u. E.KNICKMANN: Methodenbuch. Bd I: Die Untersuchung von Böden. Neumann, Radebeul u. Berlin, 1955.
- ULRICH, B.: Boden und Pflanze. Ferdinand Enke, Stuttgart, 1961.
- VDLUFA, Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten: Ermittlung des Düngedarfes. DLG-Verlag, Frankfurt, 1984.
- WENZL, W., Ellen KANDELER u. O.H.DANNEBERG: Untersuchungen zur chemischen Natur des "heißwasserlöslichen Bodenstickstoffs". VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband 1987 (im Druck).

Anschrift des Autors: Univ.-Dozent Dr. Otto H. Danneberg
Bundesanstalt für Bodenkunde
Denisgasse 31-33
1200 Wien

**Beziehungen zwischen bodenanalytischen Daten
und Felddatenergebnissen**

von A. Köchl

Zusammenfassung

Das Datenmaterial einer Serie von 74 Feldversuchen mit überwiegend sechsjähriger Laufzeit und eines Gefäßversuches mit 54 Böden wurde auf Beziehungen zwischen den Phosphat- und Kalidüngewirkungen auf den Pflanzenertrag und den Befunden verschiedener Bodenuntersuchungsmethoden regressions- und korrelationsstatistisch untersucht und festgestellt, daß zwischen den beiden Nährstoffen erhebliche Unterschiede in der Aussagekraft bodenanalytischer Daten bestehen. Während die Kaligehalte des Oberbodens mit den Pflanzenreaktionen auf Düngung unter Feldbedingungen nur schwach korrelieren, zeigen die entsprechenden Boden- und Pflanzendaten der Phosphatbehandlungen gute Zusammenhänge. Verbesserungen ergeben sich, wenn der Grobstoffgehalt des Bodens (Körnung > 2 mm), in der Kaliuntersuchung aber insbesondere der relative Kaliumanteil am S-Wert und die K-Versorgung des Bodens im Bereich von 50-75 cm Tiefe, miteinfaßt werden. Der Korrelationskoeffizient der Kalibeziehung nimmt unter diesen Voraussetzungen von $r = 0.19$ auf $r = 0.43$ und für Böden mit Tongehalten unter 20 % auf $r = 0.70$ zu. Wird bei der letzteren Qualität von Böden auch noch die Kalifixierung, der Niederschlag und die Unterbodenversorgung berücksichtigt, so gelingt mit einem $r = 0.91$ eine nahezu vollständige Erklärung der Kalidüngewirkung.

Im Phosphatbereich bietet die Doppeluntersuchung des Bodens nach CAL/DL und H_2O (Boden-Wasserverhältnis 1:20) entscheidende Verbesserungsmöglichkeiten in der Düngewirkungsprognose. Die Interpretation der P- H_2O -Werte muß allerdings auf Basis ihrer nichtlinearen Beziehung zur P-Düngewirkung erfolgen (inverser Funktionstyp). Komplementäre Grenzwerte für P-CAL/DL und P- H_2O werden mitgeteilt.

Summary

Relationship between Soil-Analytical Data and Field Results

The data material of a series of 74 field experiments of mainly six year's duration and of a pot experiment with 54 different soils has been studied with regression- and correlation statistical methods as to the effect of phosphate and potassium fertilization on plant yield and the findings of different soil test methods and it has been noted, that important variation between the two nutrients as to the information value of soil analytical data can be found. While the potassium contents of the topsoil correlate only slightly with plant reaction to fertilization under field conditions, relevant soil- and plant data of phosphate treatments exhibit good relations. Improvements have been noted where the coarse material content of the soil (particle size > 2 mm), but in the potassium investigation in particular the relative potassium share in the base exchange capacity and the K-supply to the soil within the range of 50 - 75 cm depth is taken into consideration. With these prerequisites the correlation coefficient of potassium relations increases from $r = 0,19$ to $r = 0,43$ and for soils with a clay content below 20 % to $r = 0,70$. Where, with the latter soil quality, account is also taken of potassium fixation, of precipitation and of supply to the subsoil, an r-value of 0,91 results in an almost complete explanation of the potassium fertilization effect.

In the field of phosphate the combination of two soil test methods as to CAL/DL and H_2O (a soil/water ratio of 1 : 20) offers an opportunity for decisive improvement in the prediction of fertilization effect. However, an interpretation of the P- H_2O values must be undertaken on the basis of their non-linear relationship with the P-fertilizing effect (inverse function type). Complementary threshold values for P-CAL/DL and P- H_2O are quoted.

1. Einleitung

Bodenuntersuchung vermag die in der Natur ablaufenden Prozesse der Nährstoffaufnahme durch die Pflanze nicht zu simulieren, sie kann sie nur grob annähern, indem die über mehrere Wachstumsmonate erstreckte Extraktionszeit der Pflanze im Labor durch Säure- oder Salzzugabe zum Boden, Lösungsmittelüberschuß, Schütteln, Erwärmen, etc. wettzumachen versucht wird. Damit soll in kurzer Zeit die Lösung oder Desorption größerer, noch im Bereich der Pflanzenverfügbarkeit liegender Nährstoffmengen erreicht werden. Da die bodenchemisch gewonnenen Meßwerte den natürlich ablaufenden Vorgang nicht unmittelbar beschreiben, sondern nur Hilfsgrößen darstellen, muß ihr Informationswert und Zahlenbezug zu den Lösungs- und Aufnahmeprozessen unter Pflanzenbewuchs erst über den Vegeta-

tionsversuch erkundet werden. Dies besonders dann, wenn Untersuchungssysteme um Verfahren und Bestimmungsstücke erweitert werden oder deren Ergebnisse eine nach Standortfaktoren differenzierte Interpretation erfahren sollen. Beides wird international angestrebt und unterstreicht die Forderung nach Eichergebnissen. Soweit solche aus Streu- und Gefäßversuchen der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesanstalt vorliegen, werden sie im folgenden dargelegt.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchscharakteristik

2.1.1 Feldversuche

Mit Ausnahme der unter Punkt 3.1.1 gezeigten Beziehungen basieren die im Rahmen dieser Arbeit dargelegten Ergebnisse auf Daten aus Feldversuchen. 74 Versuche mit vorwiegend sechsjähriger Laufzeit wurden in die Auswertung einbezogen. Standorte waren Ackerflächen im niederösterreichischen Trockengebiet (540 - 590 mm Jahresniederschlag, Jahresmitteltemperatur: 9.1 - 9.4 °C) und in der Übergangszone zum Feuchtgebiet (670 - 850 mm Niederschlag, 6.8 - 8.5 °C), sodaß dem Datenmaterial Böden mit sehr verschiedenen Eigenschaften zugrundeliegen. Folgende Angaben charakterisieren die Variationsbreite der Versuchsböden: 6 Bodentypen (Tschernoseme, Feuchtschwarzerden, Braunerden aus Löß, Braunerden aus Schwemmaterial; Schlier- oder Deckenlehm, Braunerden aus kristallinen Substraten, Pseudogleye), Tongehalte: 7 - 44 %, Humusgehalte: 1 - 7 %, pH-Wert: 4.8 - 7.7, C/N-Verhältnisse: 7.5 - 30.9. Für die Methode-eichung wesentlich sind vor allem Unterschiede in der Nährstoffversorgung zwischen den Versuchsböden, weshalb die getroffene Standortauswahl eine erhebliche Heterogenität in bezug auf die CAL-löslichen Phosphat- und Kaligehalte des Bodens aufweist (2 - 63 mg je 100 g Boden).

Da die Bonität von Bodenuntersuchungsdaten wegen der Vielfalt an ertragsbestimmenden Faktoren nicht an den absoluten Erntergebnissen, sondern nur an den Reaktionen der Pflanze auf Düngung mit dem betreffenden Prüfnährstoff gemessen werden kann, beinhalteten die Versuche folgende Steigerungsreihen:

$P_{2}O_{5}$: 0, 50, 100, 200 kg/ha zu Getreide bzw.
0, 60, 120, 240 kg/ha zu Hackfrüchten.

$K_{2}O$: 0, 75, 150, 300 kg/ha zu Getreide bzw.
0, 120, 240, 480 kg/ha zu Hackfrüchten.

Um eine Leistungsbeeinträchtigung des jeweiligen Prüfnährstoffes durch Mangel an anderen Nährelementen auszuschließen,

erfolgte die gestaffelte Zufuhr von Phosphat oder von Kali bei Vollversorgung der Pflanze mit den übrigen Grundnährstoffen. Die Zahl der Behandlungswiederholungen innerhalb eines Versuches betrug drei.

An Testkulturen sind vorgekommen: 2 x Sommergerste, 2 x Winterweizen oder Winterroggen und 2 x Zuckerrübe oder Kartoffeln.

2.1.2 Gefäßversuch

56 Böden, welche überwiegend mit Standorten obengenannter Feldversuchsreihe ident waren, wurden sowohl im Labor als auch im Gefäßversuch auf extrahierbares Kali geprüft. Wie in der Bodenuntersuchung fand auch im Pflanzentest nur Boden der Korngröße < 2 Millimeter Verwendung. Um die Extraktionsleistung der Pflanze (Versuchsf Frucht Sommergerste) in besonderem Maße zu fordern, wurde der Boden im Gewichtsverhältnis 1 : 1 mit Quarzsand (Körnung: 0.4 - 1.2 mm) verdünnt. Die Gesamtsubstrateinwaage in jedes Mitscherlichgefäß betrug auf Trockengewichtsbasis (105 °C) 5,6 Kilogramm.

Die 56 Böden wurden im Gefäßversuch sowohl "OHNE KALIZUSATZ" als auch "MIT KALIZUSATZ" (1.8 g K_2O /Gefäß) geprüft, damit über die Leistungsdifferenz zusätzliche Eichgrößen zur Verfügung stehen. Von jeder Boden-Düngungs-Variante waren im Versuch drei Wiederholungen vorhanden. An übrigen Nährstoffen wurde jedem Gefäß zugesetzt (in Milligramm): 400 Ca, 150 Mg, 350 P, 2 x 650 N, 35 Fe, 1.8 B, 14.8 Mn, 5.4 Zn, 8 Cu und 0.09 Mo.

2.2 Bodenuntersuchungsmethoden

Die eingesetzten Verfahren der chemischen Bodenanalyse waren folgende:

CAL:	Calciumacetat (0.05 m)-Calciumlactat (0.05 m)-Methode nach SCHÜLLER (1969)
DL:	Doppellactat-Methode nach EGNER-RIEHM (1955)
H ₂ O:	Extraktion mit Wasser bei einem Boden-Wasser-Verhältnis von 1 : 5, 1 : 20 oder 1 : 50. Die Proben wurden eingeweicht und eine Stunde geschüttelt (VAN DER PRAUW u. Ma. 1971)
AED:	Ammoniumacetat (1 m)-Essigsäure (1 m)-DTPA (0.002 m)-Methode, 1 : 10, Schüttelzeit 2 Stunden.
BaCl ₂ :	BaCl ₂ (0.2 m)-Triäthanolamin-Lösung nach MEHLICH, pH 7.5, 1 : 20, Schüttelzeit 1 Stunde
K(fix):	K-Fixierung. KCl (120 mg/100 g Boden)-Zusatz und Austausch mit 1 n Ammoniumacetat, Schüttelzeit 2 x 1 Stunde, K-Bestimmung vor KCl-Zusatz mittels CAL.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Meßergebnisse mit KALI

3.1.1 Beziehung der Meßwerte im Gefäßversuch

Inwieweit die Nährstoffextraktion mittels einer Bodenuntersuchungsmethode den Fähigkeiten der Pflanze zur Aneignung von Nährstoffen aus dem Boden nahekommt, kann erfahrungsgemäß gut in Gefäßversuchen studiert werden, weil einerseits durch die starke Einengung des Wurzelraumes eine intensive Durchwurzelung und somit Nährstoffausbeute des Bodens gegeben ist und andererseits störende Witterungseinflüsse auf die Nährstoffaufnahme aus den diversen Böden ähnlich wie bei der Extraktion im Bodenlabor entfallen. Im gegenständlichen Fall wurde die Angebotsbeschränkung im Wurzelraum noch durch die Bodenverdüngung mit Quarzsand verschärft.

Wie den korrelationsstatistischen Angaben in Tabelle 1 zu entnehmen ist, beschreiben die Methoden mit salzhaltigen Extraktionsmitteln den pflanzenverfügbaren Kaligehalt des Bodens besser als die Verfahren mit Wassereinsatz. Die Miterfassung des mit Calcium oder Ammonium austauschbaren Bodenkaliums erweist sich demnach als Informationsgewinn, ohne daß aus dem Ergebnis besondere Vorzüge des einen oder anderen Austauscherions abzulesen sind. Da in der Kaliernährung unserer Kulturpflanzen darüberhinaus auch die nichtaustauschbare K-Fraktion des Bodens eine erhebliche Rolle spielt (CLAASEN und JUNGK 1982, KUCHENBUCH und JUNGK 1984), bleibt in den gefundenen Beziehungen noch ein merklicher Spielraum für nicht erfaßte Komponenten offen. Ein Ersatz der je nach Boden-pH eingesetzten Routine-Verfahren CAL (pH \geq 6) und DL (pH $<$ 6) durch Methoden wie "AED" oder "H₂O" wäre dem Gefäßversuchs-Ergebnis zufolge jedenfalls unzweckmäßig.

T A B E L L E 1

Korrelationskoeffizienten der Beziehung zwischen Boden- und Pflanzenmeßwerten im Gefäßversuch.
(Prüffaktor: Kal₁, Testfrucht: Sommergerste)

	Bodenuntersuchungsmethoden				
	CAL-DL		H ₂ O		AED
	pH 6	1:5	1:20	1:50	
SG-TM-Ertrag in K ₀	0.63	0.56	0.55	0.60	0.58
Ertragsdiff. K - K ₀	-0.60	-0.48	-0.50	-0.55	-0.60
K-Gehalt d. Pfl. im K ₀	0.84	0.70	0.74	0.71	0.77
Gehaltsdiff. K - K ₀	-0.70	-0.51	-0.56	-0.53	-0.68

3.1.2 Kalimeßwert-Düngerwirkungsbeziehung unter Feldbedingungen

Vergleichsweise lose wird der Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Bodenuntersuchung auf Kali und den Erntedaten der Pflanze, wenn deren Kultur unter Feldbedingungen erfolgt (Tabelle 2). Diese Verschlechterung gegenüber dem Gefäßversuchsergebnis tritt ein, obwohl die Felddaten wegen der vielen standortspezifischen Einflüsse auf den Ernteertrag nicht als Absolutwerte, sondern nur als Änderungsbeträge infolge Kalidüngung oder als Prozentangabe des Kontrollertrages (K_0) vom Höchstertrag (mit K) in Rechnung gestellt werden. Prüffaktorfremde Hauptwirkungen belasten daher die untersuchten Beziehungen nicht, wohingegen der störende Einfluß von Interaktionen zwischen K-Düngewirkung und Standortfaktoren nicht ausgeschaltet werden kann.

T A B E L L E 2

Beziehung zwischen den Ergebnissen einer Bodenuntersuchung auf Kali und den Ertragsreaktionen auf K-Düngung. Korrelationskoeffizienten

	Bodenuntersuchungsmethoden			
	CAL-DL	H ₂ O	AED	
	pH 6	1:20	1:50	
K_0 -SG Ertr. in % v. K	0.23	0.23	0.20	0.26
K_0 -Getr. Ertr. in % v. K	0.12	0.18	0.18	0.16
K_0 -Getr./Hackfr. Ertrag im % v. K	0.16	0.18	0.14	0.16

Die Korrelationskoeffizienten in Tabelle 2 lassen nur ansatzweise eine Beziehung zwischen Bodenanalyse und Düngerwirkung erkennen. Sie kann verbessert werden, wenn eine Korrektur der K-Meßdaten um den Grobstoffgehalt des Bodens (> 2 mm) erfolgt. Ausschlaggebende Veränderungen erzielt aber erst die Mitberücksichtigung des Gehaltes an austauschbarem Calcium und Magnesium (auf Basis der Äquivalente). In Tabelle 3 wird dies durch Einbeziehung sowohl des relativen Kaliumanteiles am S-Wert (Ergebnisse des BaCl₂-Auszuges) als auch des Quotienten aus CAL/DL-Kalium und der Summe an austauschbarem Calcium und Magnesium in die Korrelationsrechnung gezeigt.

TABELLE 3

Verbesserung der Beziehung (Korrelationskoeffizienten) zwischen Boden- und Ertragsdaten durch Korrektur der Kalimeßwerte um relevante Parameter

Pflanzenkennwerte		
Bodenkennwerte	K ₀ -Getr. Ertrag	K ₀ -Getr./Hackfr. Ertrag
	in % v. K	in % v. K
CAL-DL, pH 6	0.12	0.16
CAL-DL, pH 6, grobstoffkorr.	0.16	0.19
K % v. S-Wert	0.30	0.34
CAL-DL-K/Ca+Mg (BaCl ₂), mval		0.36
CAL-DL-K/Ca+Mg (BaCl ₂), mval, grobstoffkorr.		0.38
AED-K/Ca+Mg (BaCl ₂), mval, grobstoffkorr.		0.41

Bemerkenswert ist ferner der Einfluß der Unterbodenversorgung auf den Erfolg einer Kalidüngung. Die vorliegenden Pflanzendaten korrelieren mit den K-Meßwerten des Bodens aus 25 - 50 cm und 50 - 75 cm Tiefe sogar besser als mit den Oberbodenergebnissen (Tabelle 4). Das mag auf den überwiegend im Nordosten Österreichs bzw. in der Übergangszone zum Feuchtgebiet gelegenen Versuchsstandorten mit den häufigen Trockenperioden zusammenhängen, welche die Pflanze zur Nutzung tiefergelegener Wasser- und Nährstoffvorräte zwingen. Doch auch unabhängig von diesen klimatischen Besonderheiten kann der Beitrag des Unterbodens zur Kaliversorgung von Getreide mehr als 50 Prozent betragen (GRIMME u. Ma., 1981; KUHLMANN, 1983).

TABELLE 4

Die Abhängigkeit der Pflanzenreaktion auf K-Düngung von der Kaliversorgung des Unterbodens. Korrelationskoeffizienten

	Ergebnisse d. CAL-DL(pH6)-Untersuchung des		
	OBERBODENS -25 cm	UNTERBODENS 25-50 cm 50-75 cm	
K ₀ -Getr. Ertrag in % v. K	0.12	0.28	0.29
K ₀ -Getr./Hackfr. Ertrag in % v. K	0.16	0.30	0.36

Setzt man die Analysenergebnisse des Bodens der einzelnen Schichttiefen zueinander in Beziehung, so stellt man eine erheblich größere Parallelität zwischen den Werten der Ackerkrume (- 25 cm) und der angrenzenden Bodenschicht (25 - 50 cm) fest als zwischen den Werten der Ackerkrume und der Bodenschicht in 50 - 75 cm Tiefe. Die Korrelationskoeffizienten liegen im ersteren Fall um $r = 0.8$, im letzteren um $r = 0.3$ (Tabelle 5). Wechselnde Arbeitstiefen und Einwaschung führen offenbar zu einer gewissen K-Gehaltsangleichung in den beiden oberen Bodenschichten, während in 50 - 75 cm Tiefe Bewirtschaftungseinflüsse nicht mehr gegeben sind und der Kaligehalt des Ausgangssubstrates für die Bodenbildung verstärkt zum Tragen kommt. Eine Unterbodenuntersuchung, welche auf die tiefergelegene Bodenschicht abzielt (50 - 75 cm), wird daher den größeren Informationszuwachs erbringen.

T A B E L L E 5

Beziehung zwischen den Kaligehalten des Bodens verschiedener Schichttiefen. Korrelationskoeffizienten

ACKERKRUME (0 - 25 cm)				
	CAL	DL	AED	CAL-DL (pH6)
UNTERBODEN 25 - 50 cm				
CAL	0.82			
DL		0.75		
AED			0.88	
CAL-DL (pH6)				0.82
UNTERBODEN 50 - 75 cm				
CAL	0.35			
DL		0.31		
AED			0.34	
CAL-DL (pH6)				0.35

Werden die beiden Faktoren "relativer Kaliumanteil am S-Wert" und "Kaliumversorgung des Unterbodens (50 - 75 cm)" als zusätzliche Variable zum "Oberbodengehalt an Kalium" in die Regressions- bzw. Korrelationsrechnung miteinbezogen und darüber hinaus noch um Parameter ergänzt, die mittels Diskriminanzanalyse als bedeutsam für die Kalidüngewirkung erkannt worden sind (= Ton, Kalifixierung, Niederschlag und Humusgehalt), so erreicht die Beziehung zur abhängigen Zielgröße

"Ertragsveränderung durch Kalidüngung" den multiplen Korrelationskoeffizienten von $r = 0.55$ (Tabelle 6). Weitere Verbesserungen sind nur zu erzielen, wenn das Datenmaterial nach dem Tongehalt der Versuchsflächen gruppiert wird. Unter diesen Voraussetzungen nehmen die Korrelationskoeffizienten auf $r = 0.67$ bzw. $r = 0.73$ zu, in der Standortgruppe mit Tongehalten $< 20\%$ gelingt mit einem $r = 0.91$ eine nahezu vollständige Erklärung der Kalidüngewirkung (Tabelle 7). Der Erklärungsrückstand in den Standortgruppen mit mehr als 20% Ton unterstreicht, daß neben dem Tongehalt auch die Art der vorherrschenden Tonminerale für die Kaliwirkung von ausschlaggebender Bedeutung ist.

T A B E L L E 6

Die Zunahme des multiplen Korrelationskoeffizienten durch Erweiterung der Beziehung "Pflanzenertragsveränderung durch K-Düngung" (abhängige Variable) - "Oberbodengehalt an Kali" um wesentliche Standortparameter.

Unabhängige Variable	mult.r	Signifi- kanz
K(CAL,DL)-Gehalt des Oberb., grobstoffkorr.	0.19	-
Relativer K-Anteil am S-Wert	0.36	-
K-Gehalt in 50 - 75 cm Tiefe	0.43	*
Tongehalt		
Kalifixierung		
Niederschlag	0.55	**
Humusgehalt		

T A B E L L E 7

Die Zunahme des multiplen Korrelationskoeffizienten durch Erweiterung der Beziehung "Pflanzenertragsveränderung durch K-Düngung" (abhängige Variable) - "Oberbodengehalt an Kali" um relevante Parameter in Standortgruppierungen nach dem Tongehalt.

Unabhängige Variable	T O N G E H A L T		
	< 20	20 - 30	> 30
	mult.r	mult.r	mult.r
K(CAL,DL)-Geh.d.Oberb.	0.59**	0.11	0.18
Rel.K-Anteil am S-Wert	0.62**	0.14	0.33
K-Geh. in 50 - 75 cm Tiefe	0.70**	0.41	0.40
Kalifixierung			
Tongehalt			
Niederschlag	0.91**	0.67*	0.73
K-Geh. in 25 - 50 cm Tiefe			

3.2 Meßergebnisse mit PHOSPHAT

Die Beziehungen zwischen den bodenanalytischen Daten der Ackerkrume und den Ertragsreaktionen auf Düngung sind bei Phosphat erheblich enger als bei Kali. Die Korrelationskoeffizienten der P-Reihe übersteigen jene der K-Reihe um das Zwei- bis Dreifache.

Unterstellt man lineare Verhältnisse, so korrelieren die Meßwerte der beiden boden-pH-spezifisch eingesetzten Methoden CAL (pH \geq 6) und DL (pH $<$ 6) mit dem P-Düngungserfolg bei Pflanzen am besten (Tabelle 8). Überlegenheit besteht unter diesen Voraussetzungen vor allem gegenüber den Wasserauszügen. Der Bonitätsrückstand der "Wasser"-Methoden geht allerdings verloren, wenn der Datenbeziehung Boden-Pflanze nicht der lineare, sondern der inverse Funktionstyp unterstellt wird, was bedeutet, daß der Düngeeffekt mit sinkenden P(H₂O)-Werten nicht linear, sondern progressiv steigt. Abweichungen von der Linearität ergeben sich auch für die Düngeeffekt-Beziehung zu P-CAL/DL, doch fallen diese - wie aus dem ermittelten Funktionstyp und der bescheidenen Änderung des Korrelationskoeffizienten ersehen werden kann (Tab. 8) - vergleichsweise gering aus.

T A B E L L E 8

Beziehung zwischen den Ergebnissen einer Bodenuntersuchung auf Phosphat und den Ertragsreaktionen auf P-Düngung.

Bodenuntersuchungsmethode	B e z i e h u n g		
	Linear r	NICT linear r	Funktionstyp
CAL-DL, pH 6, grobstoffkorrig.	0.54	0.58	$y=a+b(\ln x)^2$
AED	0.46		
AED, grobstoffkorrig.		0.53	$y=a+b(\ln x)^2$
H ₂ O 1 : 50	0.36	0.52	$y=a+b/x$
H ₂ O 1 : 20	0.28	0.62	$y=a+b/x$

Zu den Möglichkeiten, die Düngerwirkungsprognose mittels Bodenuntersuchung zu verbessern, zählt die Analyse nach zwei auf unterschiedliche Verfügbarkeitsgrade des Prüfnährstoffes ausgerichtete Methoden. Im vorliegenden Fall trifft diese Forderung primär für die Methodenpaarung "CAL/DL" und "H₂O 1 : 20" zu. Das wird durch die geringe Interkorrelation ihrer Meßwerte bestätigt (Tabelle 9).

T A B E L L E 9

Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen den P-Meßwerten einiger Bodenuntersuchungsmethoden

	H ₂ O 1:20	H ₂ O 1:50	AED
CAL/DL, pH 6	0.52	0.67	0.91
H ₂ O 1 : 20		0.95	0.56
H ₂ O 1 : 50			0.68

Die Zielgrößenschätzung kann somit von zwei verhältnismäßig unterschieden P₂O₅-Kennwerten aus erfolgen. Geschieht dies unter Berücksichtigung der in Tabelle 8 aufgezeigten Transformation der Laktat- und Wasserwerte in nichtlineare Funktionsglieder, so verbessert sich der Korrelationskoeffizient der multiplen Beziehung von $r = 0.58$ auf $r = 0.70$ (Tabelle 10). Von den einbezogenen Standortfaktoren vermochte nur der Humusgehalt der Schichttiefe 50 - 75 cm (Maß für die Durchwurzelungstiefe) einen nennenswerten Erklärungsbeitrag zu liefern.

T A B E L L E 1 0

Verbesserung des multiplen Korrelationskoeffizienten durch Erweiterung der Beziehung "Pflanzenenertragsveränderung durch P-Düngung" (abhängige Variable) - "CAL/DL-lösl. Phosphatgehalt des Oberbodens" um die Ergebnisse des Wasserextraktes (Oberboden) u. Standortfaktoren.

Unabhängige Variable	mult.r.	Signifi- kanz
CAL/DL-lösl. Phosphat, grobstoff- korr., $(\ln x)^2$	0.58	***
H ₂ O (1:20)-lösl. Phosphat, grob- stoffkorr. $(1/x)$	0.70	***
Humusgehalt in 50 - 75 cm Tiefe	0.73	*
Niederschlag Ton + Schluff pH-Wert		
Humusgehalt des Oberbodens	0.74	
CAL-DL-lösl. Phosph. d. Unterbod.		
Kupfergehalt des Oberbod.		

Für die praktische Nutzenanwendung der mehrfaktoriellen Beziehung wurden aus der Regressionsgleichung jene komplementären Grenzwerte errechnet, die für eine hinreichende Versorgung der Pflanze mit H₂O (1:20)- und CAL/DL-löslichem Bodenphosphat genügen. Die gefundenen Wertpaare werden in Tabelle 11 mitgeteilt.

T A B E L L E 1 1

Komplementäre Grenzwerte der CAL/DL- und H₂O (1:20)-Methode für P₂O₅ (mg/100 g Boden)

	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
H ₂ O	63.0	36.0	29.0	26.0	24.0	23.0	21.5
CAL/DL	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0	15.0
H ₂ O	20.5	20.0	19.6	19.3	19.0	18.7	18.5
CAL/DL							

Ein Oberbodengehalt von 20 mg P₂O₅ nach CAL/DL reicht demnach für die Vollversorgung der Pflanze aus, wenn im Wasserauszug mindestens 6 mg P₂O₅/100 g Boden gefunden werden. Liefert der

Wasserauszug nur 1.5 mg Phosphat, so muß die Grenze für ausreichende CAL-DL-Gehalte auf 29 Milligramm angehoben werden. Andererseits genügt bei 15 mg wasserlöslichem Phosphat bereits ein CAL/DL-Wert von 18.5 mg $P_{2}O_{5}$ für die Bedarfsdeckung der Pflanze. Wie die Wertabfolge im unteren CAL-DL-Bereich zu erkennen gibt, bietet die Doppeluntersuchung bei CAL/DL-Werten < 17 mg keine Möglichkeit der Grenzwert-Feinabstufung nach P-Wasser. Eine Düngewirkung ist dann allein aufgrund des CAL-DL-Befundes zu erwarten. Über das voraussichtliche Ausmaß der Wirkung gibt der Wasserextrakt allerdings auch in diesem P(CAL/DL)-Bereich Aufschluß.

Bei den dargelegten P-Grenzwerten handelt es sich um Wirkungs- und nicht um Wirtschaftlichkeitsgrenzwerte. Letztere müssen tiefer angesetzt werden, für ihre Ermittlung ist die Laufzeit der Versuche aber noch zu kurz (unzureichende Erfassung der Nachwirkungskomponenten).

Adresse des Autors: Dipl.-Ing. Arnold Köchl
Landwirtschaftlich-chemische
Bundesanstalt
Trunnerstraße 1
1020 Wien

5. Literatur

- SCHÜLLER, H.: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr., Bodenkde. 123, 48 - 63, 1969.
- EGNER, H. und H. RIEHM: Die DL-Methode. In THUN, R., R. HERMANN und E. KNICKMANN: Methodenbuch, Band I. R. Neumann, Verlag Radebeul, 1955.
- PARAUW, F. van der, H.A. SISSINGH und J. RIS: Een verbeterde methode van fosfaatextractie van grond met water: het Pw-getal. Versl. van Landbouwkundige Onderz. 749, 1 - 64, 1971.
- CLAASSEN, N. und JUNGK, A.: Kaliumdynamik im wurzelnahen Boden in Beziehung zur Kaliumaufnahme von Maispflanzen. Z. für Pflanzenernähr., Bodenkde. 145, 513 - 525, 1982.
- KUCHENBUCH, R. und A. JUNGK: Wirkung der Kaliumdüngung auf die Kaliumverfügbarkeit in der Rhizosphäre von Raps. Z. f. Pflanzenernähr., Bodenkde. 147, 435 - 448, 1984.
- GRIMME, H. STREBEL, O., RENGER, M. und H. FLEIGE: Die potentielle K-Anlieferung an die Pflanzenwurzeln durch Diffusion. Mitt. Dt. Bodenk. Ges. 32, 1981.
- KUHLMANN, H.: Beurteilung der Kaliumversorgung von Lössböden durch Düngungsversuche, Boden- und Pflanzenanalysen. Dissertation Hannover, 1983.

Bodenuntersuchung aus der Sicht der Landwirtschaft

von H. J. Müller

Zusammenfassung

Bodenuntersuchung ist derzeit eines der am weitesten verbreiteten Hilfsmittel zur Festsetzung der Düngung.

Der Treffsicherheit der Bodenuntersuchung als Basis der Düngebedarfsprognose sind gewisse Grenzen gesetzt, weil Faktoren, wie Probenahme, Klima und Witterung, Bodenverhältnisse, Humusgehalt und Humusform, Durchwurzelung und Nährstoffgehalte im Unterboden, Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen und zwischen Nährstoffen und Pflanzenarten, Vorfruchtwirkungen und organische Düngung, Düngungsnachwirkungen sowie Ertragspotential Einfluß auf das Bodenuntersuchungsergebnis und die Düngungswirkung haben.

Nach dem Ausmaß der Düngungswirkung und nach der Anzahl signifikanter Reaktionen kommt der Untersuchung des Bodenstickstoffgehaltes die größte Bedeutung zu. Bei höheren PK-Gehalten im Boden ist die Kontrolle der ökonomischen Ausnützung dieser Bodenvorräte wichtig.

Die Auswirkung der Düngung auf die Bodennährstoffgehalte kann mittels Bodenuntersuchung erfaßt werden.

Die Ergebnisse von Langzeitdüngungsversuchen ermöglichen es, den Bereich der Unterversorgung vom Bereich ausreichend versorgt abzugrenzen.

Summary

Soil analysis is presently one of the most widespread methods to choose the type of manuring.

The unerring aim of the soil analysis to predict the need of fertilizer is limited, because facts like sample, climate and weather, soil conditions, humus, rootet zone and the nutrient content in the subsoil, mutual effects between divers fertilizers and between fertilizers and plants, preceding crop effects and organic nutrition, after effects of fertilization as well as productivity of the soil have influence on the result of soil analysis and effect of fertilization.

Of extent of the effect of manuring and because of the number of significative reactions the analyse of the nitrogen content in the soil has the greatest importance. By higher contents of phosphate and potash in the soil the control of the economical exploitation is important.

The effect of fertilization of the nutrient content in the soil can be realized with a soil analysis.

The results of long datet experiments of fertilization make possible to separate regions with high from regions with low nutrient content in the soil.

1. Problemstellung

Das Ziel der Düngung ist dann erreicht, wenn hoher Naturalertrag, optimaler ökonomischer Erfolg und absolute Vermeidung von Umweltschäden infolge Düngung zusammentreffen. Dabei erwartet die Landwirtschaft, daß die Bodenuntersuchung bei der Bemessung der Düngung eine wesentliche Entscheidungshilfe bietet. H. Behringer (1984) verlangt von der Bodenuntersuchung, daß sie Intensität und verfügbare Quantität der Pflanzennährstoffe sowohl für die ganze Vegetationsperiode als auch für Zeiten des Spitzenbedarfes erkennen läßt. Er fordert weiterhin eine umfassende Bodenuntersuchung, die alle für die Pflanzen erforderlichen Nährstoffe erfaßt. Die gegenseitige Beeinflussung der Mineralstoffe im Boden soll erkennbar sein und der Bodenzustand hinsichtlich Wasserhaushalt und Einfluß des Muttergesteins sollte aus den Bodenuntersuchungsergebnissen angeschätzt werden können. Schließlich wird auch auf die Wichtigkeit der Unterbodenuntersuchung hingewiesen, weil im späteren Verlauf der Vegetationsperiode besonders unter Trockenbedingungen eine beachtliche Nährstoffaufnahme aus dem Unterboden erfolgt. E. Schlichting (1986) definiert die Düngung als die jeweilige Differenz zwischen Pflanzenansprüchen und Versorgungsleistung des Bodens. Die notwendige Düngung, also die Pflanzenansprüche, seien durch die Pflanzenart, durch die Versorgungsleistung des Bodens sowie durch das Ertragspotential bzw. das Transmissionsvermögen der Böden für Nährstoffe bestimmt. C. Dahnke (1985) meint, Bodenuntersuchung sei derzeit die am weitesten verbreitete Basis zur Lenkung der Bodenfruchtbarkeit. Nach seiner Definition sei die Bodenuntersuchung ein Vorgang, mit dem die Eigenschaften von Böden zur angemessenen Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen bestimmt werden kann.

2. Schwierigkeiten bei der Durchführung der Bodenuntersuchung und der Erfolgsbeurteilung

Schwierigkeiten bei der Durchführung der Bodenuntersuchung und deren Erfolgsbeurteilung sind aus mehreren Gründen gegeben. Ringuntersuchungen der landwirtschaftlichen Untersuchungsanstalten zeigen nicht selten auch bei sorgfältig hergestelltem Probematerial Unterschiede zwischen den Ergebnissen einzelner Untersucher. Auch spezielle Untersuchungen über die Wiederholbarkeit der Ergebnisse im Rahmen unterschiedlicher Bodenuntersuchungsmethoden zeigen Schwierigkeiten bei der Reproduzierbarkeit von Ergebnissen an identischen Bodenproben (V. Houba et al., 1986; H. Klemm und G. Hoffmann, 1987) auf.

Unsicherheitsfaktoren in der Beziehung Bodenanalysen zu Ertragsleistung bzw. Gehalt an Inhaltsstoffen sind einmal in der Tatsache begründet, daß diese Beziehung nicht direkt zwischen Bodenanalyse und Ernteleistung zu finden ist, sondern daß es sich um eine indirekte Beziehung zwischen Bodenanalyse, Gehalt an Mineralstoffen in der Pflanze und Ernteleistung handelt (H. van Keulen, 1986). Unsicherheitsfaktoren in diesem Wirkungsgefüge verursachen die Probenahme, die Auswirkung von Klima und Witterung, die spezielle Nährstoffdynamik von Bodentypen, die Auswirkungen der Bodenstruktur, Humusgehalt und Humusform, die Durchwurzelungseigenschaften der Kulturpflanzen, der Nährstoffgehalt im Unterboden, die Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen im Boden und in der Pflanze, Vorfruchtwirkungen, Ernterückstände, die Wirkung der organischen Düngung, die Nachwirkung der Düngung und schließlich das Ertragspotential (J. Jorritsma, 1985).

Die Probenahme

Auch bei sorgfältiger Probenahme läßt sich die Variabilität der Ergebnisse der Bodenuntersuchung nicht völlig ausschalten (M. Seeboldt, 1985). Mit Variationskoeffizienten von 11 bis 24 variierten die P,K- und Mg-Gehalte am stärksten und mit 1 bis 4 % die pH-Werte am geringsten. Dazwischen lag die Variabilität der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte des Bodens mit Werten von 6 bis 11 % relativer Variabilität. Für Parzellen von beschränkter Größe war eine Einstichzahl von 20 bis 25 ausreichend. Dies galt auch bei Produktionsschlägen bis zu 14 Hektar. Die Verwendung von Bodenbohrern mit größerem Durchmesser erwies sich bei der Mischung einer schlagtypischen Bodenprobe als günstig (S. Obenauf und M. Seeboldt, 1986). Zur Bestimmung des Stickstoffgehaltes (N_{-min}) reichten meistens 25 Einstiche für eine Mischprobe aus (bei organischer Düngung der Vorfrucht sind aber mindestens 40 Einstiche erforderlich (J. Garz und H. Stumpe, 1988).

Klima und Witterung

Die Bedeutung der Bodenfeuchte für die Pflanzenernährung läßt sich daraus erschließen, daß sowohl Konvektion als auch Diffusion der Nährstoffionen in maßgeblicher Art und Weise vom Wassergehalt des Bodens beeinflusst sind (Stickstoffeffekt bei Winterweizen: S.N. Sharma, 1985). Die Phosphordüngung wirkte in feuchten Jahren besser als in trockenen, aber die Nachwirkung früherer Phosphordüngung war in Trockenjahren für die Phosphorernährung der Pflanzen entscheidend (A.E. Johnston et al., 1970). Häufig wird auch über den Einfluß der Bodentemperatur (A. Ulrich und K.M. Sipitanos) auf die Phosphorernährung berichtet. Bei 5° C ist es vielfach zu kalt für Wachstum und Phosphoraufnahme, während bei 25° C die Pflanzen auch ohne Phosphordüngung genug Phosphor aufnehmen konnten. Bei Kalium wurde festgestellt, daß bei ausreichender Wasserversorgung weniger als die Hälfte austauschbares Kalium für die Trockensubstanzproduktion ausreichte als bei Bodentrockenheit und daß die Kalium- bzw. Phosphoraufnahme stark von der Durchlüftung des Bodens abhängig war (K. Mengel und L.C. von Braunschweig, 1972; H. Marschner, 1976). Kaliumkonzentrationen in den Pflanzen und Pflanzenertrag stiegen innerhalb bestimmter Bodenfeuchtebereiche mit zunehmendem Wassergehalt des Bodens (R. Kuchenbuch, 1986). Es wurde weiters beobachtet, daß die Kaliumaufnahme pro Einheit Wurzel in trockenem Boden viel rascher absinkt als in feuchtem Boden (R. Kuchenbuch, 1986).

Bodentyp und Bodenstruktur

Beim gegenwärtigen Kostendruck, der auf der Landwirtschaft lastet, ist eine Verbilligung der Bodenproduktion von großer Bedeutung. Sie ist in erster Linie dadurch zu erreichen, daß jede Kultur möglichst nur auf einem ihr zusagenden Standort zum Anbau kommt. Besonders bei Hackfrüchten besteht zum Beispiel ein deutliches Leistungsgefälle von Braunerde zum Pseudogley (H. Rid, 1964). Die Schwierigkeiten bei der Luft- und Wasserversorgung auf dem Pseudogley und dessen Düngungsinaktivität machen ihn zu einem schwierigen Standort.

Auch die Bodenstruktur beeinflusst die Beziehung zwischen Zuckerrübenenertrag und Bodenanalysenwert sehr deutlich. In verdichteten Böden war ein wesentlich höherer Bodenphosphorgehalt erforderlich als in nicht verdichteten Böden (J. Prummel, 1975).

Humusgehalt und Humusform

Humusgehalt und Humusform werden besonders oft in Zusammenhang mit der Phosphorversorgung der Pflanzen diskutiert. F. Fares et al. (1974) berichten, daß der überwiegende Teil des organischen Phosphors, (60 bis 80 %) in der Fulvosäurefraktion erscheint. Es wurde weiterhin festgestellt, daß organometallische Phosphorverbindungen von den Pflanzen ebenso schnell aufgenommen

werden können wie Phosphor aus mineralischen Verbindungen. Die Zufuhr organischer Substanz zum Boden kann zur vermehrten Bildung von organometallischen Phosphorverbindungen führen, was den oft beobachteten günstigen Effekt einer organischen Düngung auf den Phosphorhaushalt des Bodens erklären könnte (M.K. Sinha, 1971).

Durchwurzelung und Nährstoffgehalte im Unterboden

Die Wurzelvolumina verschiedener Kulturpflanzen in der Krume und im Unterboden weisen große Unterschiede auf (R.S. Russel, 1977). Daher ist es erklärbar, daß die Phosphorgehalte im Unterboden für die Düngungsbemessung auf Pseudogleyen von großer Bedeutung waren (U. Bronner, 1987). Bei Kalium wurde festgestellt, daß die durchschnittliche Aufnahme aus dem Unterboden bei Sommerweizen etwa 35 % der Totalaufnahme betrug (H. Kuhlmann et al., 1985).

Wechselwirkungen zwischen Nährstoffen

Positive Wechselwirkungen bei Zuckerrüben wurden zwischen Stickstoff und Phosphor, Stickstoff und Kalium, Stickstoff und Natrium sowie Phosphor und Kalium festgestellt (A.P. Draycott, 1972).

Ein Einfluß der EUF-Natrium und EUF-Kalzium-Gehalte auf die Kaliumaufnahme im Rübenkörper wird ebenfalls diskutiert (K. Nemeth et al., 1987). Es wird auch darüber berichtet, daß die Summe der Gesamtkationen-Aufnahme einerseits von der chemischen Zusammensetzung der Bodenlösung, andererseits von der Pflanzenart und schließlich von der Stickstoffkonzentration im Pflanzengewebe abhängig sei (N.E. Nielson und E.M. Hansen, 1984).

Vorfruchtwirkung, Ernterückstände und organische Düngung

Über die Stickstoffversorgung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Vorfrucht gibt es zahlreiche Berichte (A.P. Draycott, 1972).

A. Zeller (1965) referierte über das unterschiedliche Phosphateignungsvermögen verschiedener Pflanzen (hohes Aneignungsvermögen für P bei Hafer, Tabak, Lihoraps, geringstes Aneignungsvermögen für P bei Gerste). Dies bedeutet, daß die Pflanzenverfügbarkeit des bei der Bodenuntersuchung festgestellten Bodenphosphates nicht unabhängig von der Pflanzenart beurteilt werden kann. Für die in den Ernterückständen vorhandenen Mineralstoffen werden unterschiedliche Verfügbarkeiten je nach Standort vermutet (K. Orlovius, 1986). Die Nährstoffmengen wurden hinsichtlich PK als gleichwertig wie in Mineraldüngern beurteilt (R. Vanstallen und J.P. Vandergreten, 1987). Wenn es auch nicht immer möglich ist, die Phosphorwirkung aus Ernterückständen bzw. organischer Düngung hinsichtlich ihrer Wirkung genau zu erfassen, so zeigen doch die Bodenanalysen in der Regel die Veränderungen der dadurch erfolgten Bodennährstoffgehalte an, und es erscheint wichtig, die Mineralstoffe in der organischen Düngung bei der Düngungs-

bemessung zu berücksichtigen (M. Frankinet et al., 1987). Von großer Bedeutung in diesem Zusammenhang ist die Feststellung des Verbleibes von Stickstoff aus organischer Düngung (K. Németh et al., 1986) sowie der Verbleib des Phosphors, der bei organischer Düngung den Ackerböden zugeführt wird (K. Németh et al., 1985). Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Beurteilung der Güllewirkung zu (K. Bürcky und C. Winner, 1988).

Nachwirkung der Düngung und Ertragshöhe

Das ansteigende Ertragsniveau hat bisher keine Notwendigkeit einer höheren Phosphor- oder Kalidüngung hinsichtlich Ertrag gezeigt. Wohl aber kann es erforderlich sein, die durch das höhere Ertragsniveau angestiegenen Entzüge durch eine höhere Düngung zu ersetzen, will man tatsächlich die Bodennährstoffgehalte in der bisherigen Höhe erhalten, was aber nicht immer nötig sein dürfte. Die Erträge bei Kartoffeln und Zuckerrübe waren aber bei niedriger Phosphorversorgung des Bodens trotz hoher Phosphordüngung den Erträgen auf höheren Phosphatversorgungsstufen unterlegen, es ist daher eine ausreichende Bodenphosphorversorgung wirksamer als eine einmalige hohe Düngung (Ch.H. Henkens, 1987) vor dem jeweiligen Anbau.

Beurteilung des Nutzens der Bodenuntersuchung

Die Düngemittelausgaben in der EG machen etwa 14 % der Vorleistungen der Landwirtschaft aus. Es wäre daher zweifellos wichtig, diesen hohen Aufwandsposten in der Pflanzenproduktion durch Bodenuntersuchung gezielt einzusetzen (J. Siemens, 1986). Den Nutzwert der Bodenuntersuchung bei der Düngungsbeurteilung direkt zu beurteilen ist nicht leicht, da es weithin an Versuchen fehlt, wo langjährig eine Standarddüngung mit der Empfehlung nach verschiedenen Bodenuntersuchungsmethoden bzw. Interpretationsverfahren verglichen wird (B.P. Tinker, 1985). Untersuchungen in den letzten Jahren (J. Wehrmann, 1983; P. Schachtschabel, 1985; P. Schachtschabel und W. Köster, 1985; A. Köchel, 1987) setzen sich mit dem Wert der Bodenuntersuchung als Basis für die Düngungsbeurteilung auseinander. Allgemein wurde dabei festgestellt, daß es eine enge Beziehung von Bodenuntersuchung zu Ertrag bei niedrigen Bodengehalten gibt. Danach wird von den meisten Autoren ein relativ breiter Bereich als „ausreichend versorgt“ (Sollwertgrenze oder Sollwertbereich, Versorgungsstufe „ausreichend versorgt“) definiert. Eine Abgrenzung des Bereiches „hochversorgt“ ist kaum jemals von Versuchsdaten direkt belegt. Es wird aber öfters darauf verwiesen, daß bei ausreichenden bzw. höheren Bodengehalten aus ökonomischen Gründen eine Ausschöpfung dieses Bodenvorrates bis zu relativ niedrigen Bodengehalten ohne Nachteil möglich sei.

Weitgehend unbestritten ist die Möglichkeit, durch Bodenuntersuchung festzustellen, ob die Düngung über dem Entzug liegt oder zur Erhaltung der Bodengehalte ausreichend ist oder, ob infolge zu niedriger Düngung, die Bodengehalte in einen zu niedrigen Bereich absinken.

3. Versuchsergebnisse

Angaben zu eigenen Versuchsdurchführungen sowie zu den Standortsbedingungen der Versuche finden sich bei A. Graf und H.J. Müller (1971), H.J. Müller (1977), H.J. Müller (1983a,b) und H.J. Müller (1987).

Düngungswirkung als Maßstab für die Notwendigkeit der Bodenuntersuchung

In 305 Zuckerrüben-Stickstoffdüngungsversuchen wurde eine mittlere Ertragssteigerung von etwa 7 % gefunden. Die Zuckergehalte nahmen in diesen Versuchen je 40 kg Reinstickstoff um etwa 0,2° S ab. In Einzelversuchen betragen die Mehrerträge infolge Stickstoffdüngung zwischen 0,5 und 25 %. Die Zuckergehalte nahmen bei Stickstoff um 0 - 6 % relativ ab. In 38 Versuchen zwischen 1974 und 1979 traten von 38 Versuchen 3 Reaktionen des Rübenenertrages auf Phosphordüngung auf und der Zuckergehalt wurde in 9 Fällen signifikant beeinflusst. Bei der Kaliumdüngung wurden beim Rübenenertrag und Zuckergehalt je 6 signifikante Reaktionen gemessen. Das Ausmaß der Ertragssteigerung lag zwischen 0 und etwa 8 % bei Kalium und die Zuckergehaltsbeeinflussung betrug zwischen 0 und + 3,5 % relativ. Ähnliche Ertragsbeeinflussungen wurden bei der Phosphordüngung festgestellt. Durch Natriumdüngung wurden häufig Zuckergehalt und Natriumgehalt der Rüben angehoben, während bei der Magnesiumdüngung öfters eine Absenkung von Natrium und Alpha-Aminostickstoff zu bemerken war. Die Wirkung der Spurenelementdüngung ist manchmal schwer zu beurteilen. Wenn absolute Mangelzustände herrschen, kann ziemlich sicher mit einer Düngungswirkung gerechnet werden, dagegen treten bei latentem Mangel nur in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen Reaktionen auf (13 Spurenelementdüngungsversuche in den Versuchsjahren 1976 bis 1978).

Nach dem Ausmaß der Düngungswirkung und nach der Anzahl signifikanter Reaktionen ist es eindeutig abzusehen, daß der Untersuchung des Bodenstickstoffes eine besondere Bedeutung zukommt. Phosphor und Kalium wurden durch die Düngungsgewohnheiten in den letzten Jahrzehnten in vielen Fällen in einen ausreichenden bzw. hohen Gehaltszustand im Boden angehoben. Es kann daher bei diesen Nährstoffen nicht so häufig mit Düngungswirkungen gerechnet werden und die Aufgabe der Bodenuntersuchung ist es hier, vor allem den weiteren Verlauf der Bodengehalte zu kontrollieren und bei einer ins Auge gefaßten stärkeren

Ausnützung der vorhandenen Nährstoffvorräte ein Absinken in unerwünscht niedrige Bereiche zu vermeiden. Der Kalkzustand ist in Hinblick auf eine längerfristige Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit zu überwachen. Bei Natrium und Magnesium gäbe es bestimmte Leistungsreserven festzustellen und in der Düngung wirksam werden zu lassen. Bei der Spurenelementversorgung sind bekannte Nährstoffmangelgebiete, wie etwa bei Mangan (Hansäg im burgenländischen Seewinkel), sowie bei Bor (Flächen im Alpenvorland) unter Kontrolle zu halten.

Bodennährstoffe und differenzierte PK-Düngung

Nach vier Jahren differenzierter PK-Düngung (1979 bis 1984) folgten die Kaliumgehalte und Phosphorgehalte des Bodens in signifikanter Weise der abgestuften Düngung. Bei ansteigenden Phosphor- und Kalidüngergaben resultierten daraus an allen Versuchsorten auch gesteigerte Nährstoffvorräte im Boden. Die Nährstoffanreicherung fiel jedoch nicht an allen Versuchsorten gleich hoch aus. Bei niedrigeren Anfangsgehalten an Phosphor und Kalium machte sich die Düngungssteigerung nur in geringerem Maße in Form einer Nährstoffanreicherung im Boden bemerkbar.

Während eine Abhängigkeit der Bodengehalte bei Phosphor und Kalium bei Düngung mit Phosphor und Kalium zu erwarten war, war es eher überraschend, daß neben den gedüngten Nährstoffen auch andere Bodennährstoffgehalte signifikant durch Phosphor- und Kaliumdüngung beeinflußt wurden. Durch die Kaliumdüngung wurden in manchen Fällen die Natrium-, Kalzium-, Magnesium-, Mangan-, Bor- und häufig auch die Stickstoffgehalte des Bodens verändert. Ähnlich verhielt es sich auch bei der Phosphordüngung. In dieser Versuchsserie war nach der ersten differenzierten Düngung noch keine Düngungswirkung zu erkennen. EUF-Kaliumgehalte der ersten Fraktion zwischen 6,1 und 12,5 mg K/100g Boden bzw. K_2O -Gehalte nach CAL zwischen 12 und 25 mg K_2O /100g reichten im Versuchsjahr 1980 zur Kaliumversorgung der Zuckerrüben völlig aus. Bei Phosphor waren EUF-P-Gehalte in der 1. Fraktion von 0,87 bis 2,03 bzw. P_2O_5 -Gehalte nach CAL von 8 bis 24 mg/100g Boden völlig ausreichend und hohe Pflanzenenerträge ohne Phosphorsäuredüngung zu ermöglichen. Nach 4 Jahren differenzierter Düngung traten im Versuchsjahr 1984 Kaliumwirkungen an jenen Versuchsorten auf, wo bei fehlender Kaliumdüngung die Bodengehalte deutlich abgesenkt wurden. Wo keine Kaliumwirkung festzustellen war, blieben die Kaliumgehalte des Bodens, gemessen mittels EUF, weitgehend unverändert. An jenen Versuchsorten, wo eine signifikante P-Düngungswirkung zu verzeichnen war, sanken die Boden-P-Gehalte nach EUF (1. Fraktion) unter 0,9 mg/100g Boden ab. Bodennährstoffgehalte nach EUF 1. Fraktion mit 0,93 bis 2,0 mg P/100g Boden reichten zur Phosphorversorgung der Zuckerrübe aus. Wo Düngungswirkungen bei Stickstoff, Phosphor und Kalium auftraten waren in vielen Fällen auch signifikante Beziehungen zu den jeweiligen Bodengehalten festzustellen (Tabelle 1).

Tabelle 1

Signifikante Beziehungen zwischen Düngung und Bodengehalten (EUF) zur Ernteleistung nach 4 Jahren differenzierter PK-Düngung

	RÜBENERTRAG		ZUCKERGEHALT	
	Düngung (VA)signif.	Bodengehalte signif. (r)	Düngung (VA)signif.	Bodengehalte signif.(r)
Haslach (St.) (Rohton 13 %)	N K ₂ AzK ₂ O		N	N-UV-2.F-0,22
Enns (O.Ö.) (Rohton 20 %)	A K ₂ O NxP ₂ O ₅ AzP ₂ O ₅	K-1.F 0,37	NxA NxK ₂ O	Ca-2.F 0,21 Mg-3.F-0,36
Mallon (N.Ö.) (Rohton 26 %)	A NxP ₂ O ₅ AzP ₂ O ₅ P ₂ O ₅	P-2.F 0,37	N AzP ₂ O ₅	
Bruck (N.Ö.) (Rohton 26 %)	N		N A K ₂ O	NO -1.F-0,40
Eichhorn (N.Ö.) (Rohton 27 %)		NO ₃ -1.F 0,38	A P ₂ O ₅ K ₂ OxP ₂ O ₅	P-2.F-0,27 NO ₃ -1.F-0,52
Nikitsch (Bgl.) (Rohton 28 %)	P ₂ O ₅ AzK ₂ O	K-2.F 0,26	N AzK ₂ O AzP ₂ O ₅	K-2.F 0,31 NO ₃ -2.F-0,36 Mn 0,28

A ... Aufdüngung
P₂O₅ ... P₂O-Düngung
K₂O ... K₂O-Düngung
N ... N-Düngung

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Signifikante Beziehungen zwischen Düngung und Bodengehalten (EUF) zur Ernteleistung nach 4 Jahren differenzierter PK-Düngung

	KALIUMGEHALT der Rüben		Gehalt an α - AMINO - N	
	Düngung (VA)signif.	Bodengehalte signif. (r)	Düngung (VA)signif.	Bodengehalte signif.(r)
Haslach (St.) (Rohton 13 %)	A	K-1.F 0,61	N	K-1.F-0,25
	K_2O	K-2.F 0,37	A	K-2.F-0,23
	$K_2O \times P_2O_5$	N-UV-1.F 0,20	K_2O	
		N-UV-2.F 0,39	$N \times P_2O_5$	
		Mg-2.F-0,23		
P-1.F 0,24				
P-2.F 0,26				
Enns (O.Ö.) (Rohton 20 %)	N	Na-2.F 0,28	N	NO_3 -1.F-0,37
		NO_3 -2.F 0,43	K_2O	
		K-1.F 0,56	$A \times P_2O_5$	
		K-2.F 0,62		
Mallon (N.Ö.) (Rohton 26 %)	N	K-1.F 0,40	N	
	K_2O	B-2.F 0,37	A	
	$A \times P_2O_5$		$A \times K_2O$	
Bruck (N.Ö.) (Rohton 26 %)	N	Na-2.F-0,21	N	Na-1.F-0,19
	$A \times K_2O$	K-F.1 0,25		NO_3 -1.F-0,49
	$A \times P_2O_5$	K-2.F 0,37		
Eichhorn (N.Ö.) (Rohton 27 %)	A	K-11 0,47	N	MG-3.F 0,42
		NO_3 -11 0,41	$N \times A$	NO_3 - 11 - 0,49
		K-sel. 0,34	$A \times P_2O_5$	
Nikitsch (Bgl.) (Rohton 28 %)	N	Ca-2.F-0,27	N	K-1.F 0,24
	$A \times K_2O$	NO_3 -2.F 0,21		
	$A \times P_2O_5$			

A ... Aufdüngung mit P und K
 P_2O_5 ... P_2O -Düngung
 K_2O ... K_2O -Düngung
N ... N-Düngung

LITERATUR

- Behringer, H.: 1984: Adequacy of soil testing for predicting fertilizer requirements. *Plant and Soil*, 83, 21-38.
- Bronner, U.: 1987: P-Untersuchungen an unterschiedlichen Bodentypen. I.I.R.B., 50. Winterkongreß, Bd.I, 203-214.
- Bürcky, K. und Winner, C.: 1988: N-Umsatz im Boden, Ertrag und Qualität von Zuckerrüben nach Düngung mit Schweinegülle. *Zuckerindustrie*, 113, 53-58.
- Dahnke, C.: 1985: Soil Test Correlation, Calibration and Interpretation. *Agric. Ex. St. North Dakota, Bulletin* 517.
- Draycott, A.P.: 1972: Sugar Beet Nutrition. Applied Science Publishers Ltd., London.
- Fares, F. et al.: 1974: Quantitative survey of organic phosphorus in different soil types. *Phosphorus Agric.*, 28, 63, 25-40.
- Frankinet, M. et al.: 1987: Incidence des amendements organiques et de l'enfouissement des résidus de récoltes sur le bilan de la fumure minérale phosphopotassique en grand cultures - essais de longue durée (1959-1983). I.I.R.B., 50. Winterkongreß, Bd.II, 163-176.
- Garz, J. und Stumpe, H.: 1988: Zur Variabilität der Bodenfruchtbarkeitskennziffer N innerhalb von Ackerschlägen. *Arch.Acker Pflanzenbau Bodenkd.*, 32, 3, 171-177.
- Graf, A. und Müller, H.J.: 1971: Die Rentabilität von Stickstoff-Düngergaben bei Zuckerrüben. 22. SH. „Die Bodenkultur“, Jahrbuch 1970 der BA für Pflanzenbau, 137-168.
- Henkens, Ch.H.: 1987: Die Entwicklung der Düngeempfehlungen in den Niederlanden. *KALI-Briefe*, 18, 8, 595-609.
- Houba, V.J.G. et al.: 1986: Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl₂ by EUF and by some conventional extraction procedures. *Plant and Soil*, 96, 433-437.
- Johnston, A.E. et al.: 1970: The value of residues from long-period manuring at Rothamsted and Woburn. IV. The value to arable crops of residues accumulated from superphosphate. *Rep. Rothamsted exper. Stat.*, 2, 39-68.
- Jorritsma, J.: 1985: P und K fertilizer recommendation systems in various countries. I.I.R.B., 48. Winterkongreß, 1-11.

- Klemm, H. und Hoffmann, G.: 1987: Erfahrungen bei der Bestimmung verschiedener Nährstoffe mit Elektro-Ultrafiltration (EUF). Landwirtsch. Forschung, 40, 2-3.
- Köchler, A.: 1987: Interpretation of Long-Term Experiments with K Manuring. 20th Coll. of the Intern. Potash Inst.: Methodology in Soil-K-Research, 361-373.
- Kuchenbuch, R. et al.: 1986: Potassium availability in relation to soil moisture. 1. Effect of soil moisture on potassium diffusion, root growth and potassium uptake of onion plants. Plant and Soil, 95, 221-231.
- Kuchenbuch, R. et al.: 1986: Potassium availability in relation to soil moisture. 2. Calculations by means of a mathematical simulation model. Plant and Soil, 95, 233-243.
- Kuhlmann, H. et al.: 1985: A method for determining the K-uptake from subsoil by plants. Plant and Soil, 83, 449-452.
- Marschner, H.: 1976: Einfluß der Sauerstoff-Versorgung der Wurzeln auf Mineralstoffaufnahme und Pflanzenwachstum. KALI-Briefe, 13, 2, 1-17.
- Mengel, K. und von Braunschweig, L.C.: 1972: The effect of soil moisture upon the availability of K and its influence on the growth of young maize plants. Soil Sci., 114, 142-148.
- Müller, H.J.: 1977: Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in Österreich sowie deren Beeinflussung insbesondere durch Düngung in Abhängigkeit von Standortfaktoren. Die Bodenkultur, 28, 23-57 und 111-164.
- Müller, H.J.: 1983a: Versuchsergebnisse über N-Bodenuntersuchung, Auswirkungen der N-Düngung im Boden und von Bodenverhältnissen auf Stickstoffwirkung und Nährstoffentzug. Symposium „Stickstoff und Zuckerrübe“, 155-168, Internationales Institut für Zuckerrübenforschung in Brüssel.
- Müller, H.J.: 1983b: Versuchsergebnisse zum Einfluß der Stickstoffdüngung auf Ertrag und Inhaltsstoffe von Zuckerrüben. Symposium „Stickstoff und Zuckerrübe“, 357-371, Internationales Institut für Zuckerrübenforschung in Brüssel.
- Müller, H.J.: 1987: Wirkung gestaffelter P-K-Düngung in Abhängigkeit vom Standort auf Bodengehalte und Leistung von Zuckerrüben in Österreich. Internationales Institut für Zuckerrübenforschung in Brüssel, 50. Winterkongreß, Bd.I, 281-203.

- Németh, K. et al.: 1987: Einfluß der EUF-K-, EUF-Na- und EUF-Ca-Fractionen auf die K-Aufnahme sowie den Ertrag von Zuckerrüben. KALI-Briefe, 18, 10, 777-790.
- Németh, K. et al.: 1986: Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und organischen Bodenstickstoffs mittels EUF. 2. Teil. Zuckerindustrie, 111, 12, 1107-1113.
- Németh, K.: 1985: Neue Erkenntnisse aus dem EUF-Bodenlabor in Rain: Organische Phosphate mit EUF erfaßbar. Zuckerindustrie, 110, 5, 383-386.
- Nielsen, N.E. und Hansen, E.M.: 1984: Macro nutrient cation uptake by plants. II. effects of plant species, nitrogen concentration in the plant cation concentration, activity and activity ration in soil solution. Plant and Soil, 77, 347-365.
- Obenauf, S. und Seeboldt, M.: 1986: Zur Methodik der Probenahme für die Erfassung von Bodenfruchtbarkeitsziffern auf Produktionsschlägen der BG1. Arch. Acker- u. Pflanzenb. u. Bodenkd., 30, 3, 123-129.
- Orlovius, K.: 1986: Mehrjährige Feldversuchsergebnisse zur Bewertung von Kalium aus Ernterückständen unter verschiedenen Standortbedingungen. Landw. Forschung, 39, 3, 189-197.
- Prummel, J.: 1975: Effect of soil structure on phosphate nutrition of crop plants. Neth. J. of Agr. Science, 23, 62-68.
- Rid, H.: 1964: Bodentyp und Bodenfruchtbarkeit. Landw. Forschung, 18. Sdh., 52-58.
- Russel, R.S.: 1977: Plant root systems. Their function and interaction with the soil. Mc. Crow-Hill Book Comp., London.
- Schachtschabel, P.: 1985: Beziehung zwischen dem durch K-Düngung erzielbaren Mehrertrag und dem K-Gehalt der Böden nach Feldversuchen in der Bundesrepublik Deutschland. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 148, 439-458.
- Schachtschabel, P. und Köster, W.: 1985: Beziehung zwischen dem Phosphatgehalt im Boden und der optimalen Phosphatdüngung in langjährigen Feldversuchen. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 148, 459-464.
- Schlichting, E.: 1986: Standortsfaktoren und Düngewirkung. KALI-Briefe, 18 (2), 157-165.
- Seeboldt, M.: 1985: Die lokale Variabilität von ausgewählten Bodenmerkmalen auf sandigen Böden. Arch. Acker-Pflanzenb. Bodenkd., 29, 2, 69-75.

- Sharma, S.N.: 1985: Effect of Pre- and Post-Sowing Soil Moisture Tension Regimes on the Response of Wheat to Nitrogen. Z. Acker- und Pflanzenbau, 155, 104-110.
- Siemens, J.: 1986: Bedeutung der Düngemittel für die Landwirtschaft im Vergleich zu anderen Betriebsmitteln in Ländern der EG. KALI-Briefe, 18, 5, 343-345.
- Sinha, M.K.: 1971: Synthesis of organo-metallic phosphates and their role in plant nutrition. J. Indian Soc. Soil Sci., 19, 1, 65-71.
- Sipitanos, K.M. und Ulrich A.: 1971: The influence of root zone temperature on phosphorus nutrition of sugar beet seedlings. J. The American Soc. Sugar Beet Technologists, 16, 408-421.
- Tinker, B.P.: 1985: Crop nutrients: control and efficiency of use. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B, 310, 175-191.
- van Keulen, H. und Wolf, J.: 1986: Modelling of agricultural production: weather, soils and crops. Simultan Monographs, Pudoc Wageningen.
- Vanstallen, R. und Vandergeten, J.P.: 1987: Étude quantitative et qualitative des éléments fertilisants des résidus de culture au travers d'essais de longue durée. I.I.R.B., 50. Winterkongress, Bd.II, 25-41.
- Wehrmann, J. und Kuhlmann, H.: 1983: Kali düngen ohne Rücksicht auf die Gehaltssklassen. DLG-Mittlg., 12, 1278-1280.
- Zeller, A.: 1965: Phosphat-Verfügbarkeit und Phosphat- Aneignungsvermögen der Pflanzen. Landw. Forschung, 19. Sdh., 95-102.

Anschrift des Autors: Univ.-Dozent Dipl.-Ing.
Dr. Hubert J. Müller
Abteilungsleiter Landwirtschaft
Zuckerforschungs-Institut
A-2286 Fuchsenbigl

Die Bodenanalytik aus forstlicher Sicht *

von W. Kilian

Zusammenfassung

Die gezielte Bodenuntersuchung kann einen unverzichtbaren Beitrag zur Information über den Waldbodenzustand leisten; sie ist aber nur ein Glied innerhalb der notwendigen komplexen, waldökologischen Beurteilung, neben der Diagnose des Standortes und Bestandes. Schematische Einfachanalysen-Aktionen zur Erhebung des Ernährungszustandes laufen Gefahr, nur Alibiwert zu haben.

Summary

The soil analysis provides an essential contribution to the knowledge of the condition of forest soil. It is however only one part of the necessary complex review of the forest ecosystem together with the diagnosis of environment and forest stand. Simple schematic analysis to investigate the state of nutrition may not yield the expected results.

*) Dieser Beitrag, vorgetragen am 10.4.1986, diente als Diskussionsgrundlage für die inzwischen herausgegebenen "Empfehlungen zur Waldbodenuntersuchung" (BLUM et al. 1986).

1. Seit den Anfängen der landwirtschaftlichen Bodenuntersuchung war deren vorrangiges Ziel in der Ermittlung verfügbarer Hauptnährstoffmengen bzw. eventueller Mängel zum Zwecke der Düngerempfehlung gelegen. Die Analysemethoden wurden zu diesem Zwecke an Versuchen mit landwirtschaftlichen Nutzpflanzen geeicht, mit Entzugsmengen verglichen und entsprechende Grenzwerte erarbeitet. Die Forstwirtschaft war hier immer - im Inland wie im Ausland - etwas abseits gestanden, was ihr oft als Eigenbrötelei angekreidet wurde. Doch hatte sie dazu guten Grund: teils weil nicht die gleiche Fragestellung gegeben war, vor allem aber, weil hier die Analysen nicht die gewünschten Aussagen erbrachten. Zwischen den Ergebnissen der in der Landwirtschaft gebräuchlichen Analysemethoden (z.B. DL- und CAL-Extrakt - EGNER, 1955; SCHÜLLER, 1969) und der Wuchsleistung konnte keine befriedigende Korrelation gefunden werden, es schienen keine Grenzwerte für die Nährstoffversorgung zu gelten.

Dies ist zunächst verständlich, weil das Nährstoffaufnahmevermögen der verschiedenen Holzgewächse sicher ein völlig anderes ist als das von Getreidearten. Tatsächlich wurden mit Isotopenversuchen über die P-Aufnahme solche Unterschiede um den Faktor 6 und mehr ermittelt (KILIAN, 1972). Entsprechende Eichversuche an Waldbäumen müssen aber alleine an der notwendigen Versuchsdauer scheitern.

Darüberhinaus bleibt gerade bei langlebigen Holzgewächsen die Problematik der "Pflanzenverfügbarkeit" an sich offen: Dieser dynamische, zeitabhängige Begriff eines Potentials kann schon vom Ansatz her nicht durch eine in einer Gleichgewichtslösung bestimmte Menge befriedigend beschrieben werden.

Es bestehen aber noch eine Reihe grundsätzlicher Unterschiede zwischen Wald- und landwirtschaftlich genutzten Böden:

1.1 Bei der Landnahme vergangener Jahrhunderte sind dem Wald die ärmsten, sorptionsschwachen Böden, oft auf Extremstandorten, verblieben. Wir finden hier andere chemische Bedingungen vor, als jene, für welche die landwirtschaftlichen Methoden geeicht sind:

Für pH-Werte bis unter 2,5 für Humusgehalte um 30% und mehr sind manche dieser Routinemethoden nicht geeignet.

1.2 Die Bäume haben sich in ihrer Evolution an diese Böden jedoch gut angepaßt. Die wenigen aus dem Substrat nachwitternden und aus der Luft eingetragenen Nährstoffe werden allmählich in dem Ökosystem akkumuliert. Ein wesentlicher Teil ist in der Biomasse gespeichert, oft um ein Vielfaches mehr als in Ackerkulturen. Sie befinden sich in rascher Umsetzung im Kreislauf über Streufall, Humusbildung und von Mykorrhizapilzen unterstützter Wiederaufnahme; der auf das Jahr umgelegte Ernteentzug ist demgegenüber eher bescheiden. Der Vorrat an leicht verfügbaren Nährstoffen im Kompartiment Boden hat daher nicht die entscheidende Bedeutung. So ist verständlich, daß selbst auf ärmsten Böden, in denen nach landwirtschaftlicher Analysenmethoden (etwa DL, CAL) nur Spuren von Nährstoffen nachgewiesen werden, Bestände beste Wuchsleistungen erzielen können. Sicher sind solche Böden sehr labil, das aufgebaute Gleichgewicht kann leicht gestört und zerstört werden.

1.3 Die rasche Umsetzung bedingt eine merkliche Veränderlichkeit der Spiegelwerte, sowohl im Jahresgang - etwa im Auflagehumus und oberflächennahen Mineralboden je nach Streufall, fortschreitender Zersetzung und maximaler Wurzelaktivität - aber vor allem mittelfristig im Zuge der Bestandesentwicklung: Besonders in Jungbeständen mit rasch zunehmendem Blattflächenindex und bei Veränderung der Belichtungsverhältnisse treten oft beacht-

liche Veränderungen im Chemismus des Oberbodens ein. Gleiche Analysendaten wären hier unterschiedlich zu interpretieren.

1.4 In den ungestörten, durch Bearbeitung nicht laufend homogenisierten Waldböden tritt eine wesentlich stärkere Differenzierung der Bodenhorizonte ein. Diese Horizonte sind getrennt zu analysieren, wobei die Aussage eines und desselben Wertes für jeden Horizont sehr unterschiedlich ist: Eine bestimmte N-Konzentration beispielsweise kann für den Auflagehumus einen unzureichenden, für den A-Horizont hingegen einen hohen N-Gehalt bedeuten.

1.5 Auch die kleinräumige horizontale Variabilität ist im Waldboden noch viel größer als in Ackerböden: Abweichende Infiltrationsverhältnisse im Stammbereich (Stammablauf), im Kronentrauf, alte Stöcke, tote Wurzeln, Störungen durch Windwurf oder Tierbauten bleiben über lange Zeit als Diskontinuität im Boden erhalten.

Einigermaßen gesicherte Daten können daher nur anhand einer größeren Zahl von Wiederholungsproben und horizontweise differenziert ermittelt werden.

Aus allen diesen Gründen mußten Versuche einer so sehr erwünschten simplen Bodenuntersuchung zur Düngerbemessung, mit einfacher Probenahme und einfacher, für die Routine geeigneter Analyse scheitern. Diese Erfahrung machten übrigens alle Länder, die sich ernstlich an dieser Frage versuchten.

Die chemische Bodenanalyse kann also nur ein Hilfsmittel zur Diagnose des Nährstoffzustandes sein, gemeinsam mit einer exakten Standortsbeurteilung und ergänzt durch Analysen der Nährstoffspiegel in der Pflanze selbst (Nadelanalysen). Ein Befund kann somit auch nicht schematisch, aufgrund einiger weniger Grenzwerte, sondern muß jeweils individuell für die jeweilige spezielle Situation erstellt werden.

Vor allem der Ernährungszustand des Waldes mit Phosphor und Stickstoff kann aus der Bodenanalyse allein nicht beurteilt werden. Eher ist dies für Mangel an K, Ca, Mg und Spurenelemente, für toxische Metallüberschüsse sowie für Störungen des Basenhaushaltes möglich. Analytische Kennwerte der Bodenqualität, wie C:N-Verhältnis oder physikalische Daten können dafür indirekt wertvolle Hinweise geben.

2. Angesichts dieser Einschränkungen wurden bisher an der FBVA folgende Parameter untersucht:

2.1 Als Alternative zu den recht widersprüchlichen und unbefriedigenden Extrakten "pflanzenverfügbarer" Hauptnährstoffe wurde der "Gesamtvorrat" an diesen Elementen in heißer, konzentrierter Salzsäure bestimmt. Dies wurde der lange Zeit vorrangigen Fragestellung im Zuge der Standortkartierung, dem regionalen Vergleich der primären, potentiellen Standortqualität am besten gerecht. Der Säureaufschluß ist zwar ebenfalls nur eine Konventionmethode, welche keineswegs den tatsächlichen Gesamtgehalt, wie etwa der Flußsäure- oder Sodaaufschluß erfaßt, aber sie ermittelt definitionsgemäß jenen Vorrat, der etwa während eines 100-jährigen Umtriebes (durch Verwitterung) nachgeschafft wird (z.B. HCl-Aufschluß: THUN et al., 1955; FIEDLER et al., 1965; SCHLICHTING u. BLUME, 1966). Für viele Elemente, etwa P und Ca und Schwermetalle kommt er dem Gesamtgehalt nahe. Diese sehr alte Methode wird auch im Ausland (z.B. USA, DDR) verbreitet angewandt. Bestimmt wurden daraus P, K, Ca, Mg, Fe sowie später eine Reihe von Schwermetallen. Die Analysen sind vergleichsweise störanfällig durch Matrixeffekte, da diese Extrakte hohe Mengen an Al, Si und so ziemlich alles enthalten, was Interferenzen verursacht und sie erfordern somit einen relativ hohen Aufwand, um sichere Werte zu liefern. Ein wesentlicher Vorteil die-

ser Methode liegt aber darin, daß fast alle Elemente aus einem Auszug bestimmt werden können.

Die Bestimmung des Gesamt-N nach Kjeldahl rundet diese Analysen auf Hauptnährstoffe ab.

- 2.2 Gute Hinweise auf die Humusqualität gibt das C:N-Verhältnis. Zu diesem Zwecke wird der elementare Gesamtkohlenstoff durch Verbrennung im Sauerstoffstrom bestimmt, gleichzeitig ein Maß für den Gehalt an organischer Substanz durch Umrechnung mit dem Konventionalwert 1.72. Sicherlich ist dieser Faktor variabel und könnte selbst - etwa im Vergleich mit dem Glühverlust-als Qualitätsmaß für Humus dienen; Versuche dazu vor Jahren schienen erfolgsversprechend. Die C-Bestimmung durch nasse Oxidation, etwa nach Walkley (VdLUFÄ Handbuch, 1973) ist bei den meist hohen Humusgehalten unvollständig und daher nicht geeignet.

Um auch den anderen Endpunkt einer "leicht löslichen" Fraktion abzudecken, hat sich für Forstgärten, welche landwirtschaftlichen Kulturen näher stehen, die Bestimmung von P, K und Mg aus dem Ammonlaktat-Essigsäure-Auszug bewährt, wofür aus der ostdeutschen Literatur auch Richtwerte zur Interpretation zu Verfügung stehen (FIEDLER et al., 1965).

Für Waldböden selbst gewinnt vor allem international der Ionenbelag am Austausch an Bedeutung, zu dessen Bestimmung Perkolation mit NH_4Cl (ULRICH, 1966) oder diverse Schüttelextrakte mit 1- und 2-wertigen Ionen, u.a. Bariumchlorid, gepuffert oder ungepuffert in Diskussion stehen. An der FBVA stehen solche Daten erst im Umfang von Versuchsreihen zu Verfügung.

- 2.3 Weitere Bestimmungsstücke für Serienanalysen sind pH-Werte in KCl, Carbonat nach Scheibler und gelegentlich die KAK (T-Wert) nach einer Schnellmethode.

Relativ hohe Bedeutung wird der Korngrößenbestimmung als einziger seriellen physikalischen Untersuchung eingeräumt. Sie erfolgt in 6 Fraktionen nach Dispergieren mit Na-Pyrophosphat mittels nasser Siebung und Pipetteverfahren (LÜTTMER u. JUNG, 1955).

Überhaupt scheint den physikalischen Größen wegen ihrer schwierigen Handhabung in der Serienanalyse nicht der Stellenwert zuzukommen, der ihnen eigentlich gerade bei Waldböden gebühren sollte. Gilt doch auch hier der alte Ausspruch: "Waldwirtschaft ist Wasserwirtschaft".

Immerhin hat sich beispielsweise die Bodenkunde an der Eidgenössischen Forstlichen Versuchsanstalt in Birmensdorf bis in jüngste Zeit ausschließlich mit physikalischen Untersuchungen befaßt - sicherlich auch ein einseitiges Konzept.

3. Erst in den letzten Jahren wurde mit den "neuartigen Waldschäden", mit dem Fortschritt der wissenschaftlichen Erkenntnisse und der erhöhten Umweltsensibilität der Öffentlichkeit ein gesteigertes Interesse an Informationen über den Zustand der Waldböden geweckt. Viele neue Fragestellungen, z.B. Schadstoffbelastung, kamen hinzu. Die Nachfrage nach Waldbodenuntersuchungen ist sprunghaft gestiegen und soll nun durch die verschiedensten Institutionen, auch in Serienerhebungen durch außerforstliche Stellen befriedigt werden.

Der Bedarf an einheitlichen Methoden für die Serienanalyse, an Richtlinien und Interpretationshilfen ist damit schlagartig geweckt.

Diese Entwicklung hat in vielen Ländern gleichzeitig eingesetzt; große Anstrengungen in dieser Richtung bestehen derzeit z.B. in der BRD bei der LUFA in Zusammenarbeit mit den Forstlichen Fakultäten und Forschungsanstalten. Wie fast

zu erwarten war, konnte bislang zwischen den verschiedenen "Schulen" noch kein Konsens erzielt werden, obwohl sich eine generelle Linie bereits abzeichnet.

In Österreich hat diese Aufgabe eine Arbeitsgruppe der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft übernommen, in der das Inst.f.Forstökologie (Prof. Glatzel, Dipl.-Ing. Stöhr), Inst.f.Bodenforschung (Prof. Blum, Dipl.-Ing. Grall), die Bu.Anst.f.Bodenkartierung (Doz. Danneberg, Dr. Gerber) und das Inst.f.Standortskunde der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (Dr. Kilian und Dr. Mutsch) zusammenwirken.

Obwohl auch wir uns bewußt sind, daß sich nicht alle Probleme sofort lösen lassen, werden wir doch in den nächsten Wochen ein Heft herausbringen¹, das - nach derzeitigem Wissensstand - Richtlinien für die einheitliche Feldansprache, Probenahme und Analysenmethoden für Routineuntersuchungen von Waldböden enthält. Sie sollen als derzeit vorrangige Untersuchungsprobleme drei Fragenkreise abdecken:

- . Düngungs- und Bodenverbesserungsmaßnahmen (neuerdings vornehmlich zur Vitalitätssteigerung der Bestände von Interesse)
- . serielle Bodenzustandserhebungen (Bodenkataster)
- . Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen.

Die Analysenmethoden sollen möglichst viele wichtigen Parameter bei vertretbarem Aufwand erfassen, zur Serienuntersuchung geeignet sein und die Einbindung von Spezialuntersuchungen erlauben. Die Richtlinien sehen folgende Analysenstücke vor:

3.1 pH in CaCl_2

3.2 Gesamt-N nach Kjeldahl, wobei der NO_3 -Stickstoff nicht erfaßt und vernachlässigt wird.

1. Inzwischen als Heft 31 dieser Schriftenreihe erschienen (BLUM et al., 1986).

3.3 Karbonat nach Scheibler.

3.4 Organischer C durch trockene Oxidation im Sauerstoffstrom und Messung des CO_2 durch IR-Adsorption, Leitfähigkeitsmessung nach Adsorption in NaOH etc. Gemessen wird der Gesamt-C und davon Carbonat-C rechnerisch abgezogen.

3.5 Gesamtnährstoffgehalte und Schwermetalle aus Aufschluß mit heißer konzentrierter Säure. An der FBVA wird hiezu derzeit Perchlorsäure-Salpetersäure verwendet. Dieses Gemisch ist wegen der wesentlich rascheren Arbeitsweise insbesondere für stark humose Proben (Auflagenhumus) dem alten Salzsäureaufschluß vorzuziehen. Aus Gründen der internationalen Vergleichbarkeit wird außerdem Königswasseraufschluß empfohlen (entspricht der Klärschlammuntersuchung). Testreihen haben ergeben, daß die Ergebnisse nach allen drei Aufschlüssen recht gut übereinstimmen. Die jeweilige Methode ist (bei Ergebnisdarstellungen) in jedem Fall anzugeben.

Analysiert können aus dem Aufschluß werden: P, K, Ca, Mg, Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Co, Cr, Ni, Pb, Cd, Mo (erweiterbar).

3.6 Austauschbare Kationen durch Schütteln mit 0,1 m BaCl (10g Boden in 100 ml), für karbonathältige Böden mit TEA auf pH 8,2 gepuffert. Mit einem zweiten Schüttelgang kann für besondere Zwecke der Perkolation nahe gekommen und überdies ein Einblick in die Dynamik (Erschöpfung) der austauschbaren Kationen erlangt werden.

Bestimmt werden K, Ca und Mg, bei karbonatfreien Böden auch Al, Fe, Mn sowie bei Bedarf und entsprechend empfindlicher Meßeinrichtung Cu, Zn, Cr, Co, Ni, Pb, Cd, Mo.

H kann aus pH-Vergleich vor und nach dem Schütteln errechnet werden.

Die Gesamt-KUK wird durch Rücktausch mit 0,1 n KCl bestimmt.

3.7 ferner sind "zugelassen":

Austauschbare Kationen mit NH_4 -Acetat, wenn auf internationalem Vergleich Wert gelegt wird (für Böden über pH 7 nicht geeignet). Schwermetallbestimmung aus Komplexbildnern (EDTA).

Für P steht damit allerdings keine "leicht lösliche" Fraktion zu Verfügung. Sie wäre allerdings ebenso wie bei N - wie eingangs erläutert - ohnehin ohne wesentliche Aussage.

4. Zur Probenahme:

Die Aussage von Analysendaten steht und fällt, mit der Qualität der Probenahme und mit der Kenntnis der Standortbedingungen.

Je nach Fragestellung und Voraussetzung kommen folgende Probenahmeverfahren in Frage:

. Volumsgerechte Bohrkernproben zur Mengenermittlung von Stoffen je Flächeneinheit und für Nährstoffbilanzierungen. Sie sind nur möglich auf ausgewählten Probeflächen (Stein-gehalt!) und bes. zweckmäßig auf Dauerbeobachtungsflächen, um die Störung der Fläche durch die Probenahme gering zu halten. Der Auflagehumus wird mit einem Rahmen 20x20 cm geworben.

. Profilgruben dort, wo Bohrkernwerbung nicht möglich ist und die Verteilung der Nährstoffkonzentration, nicht aber die Mengen gefragt sind.

. Mit dem Schlagbohrer nur aus größeren Tiefen, wo der Aufwand für tiefe Profilgruben zu hoch ist, von der Profilschle beginnend.

Für Dauerbeobachtungen, Bilanzen etc. ist die Probenahme nach fixen Tiefenstufen vorzuziehen; die Trennung nach diagnostischen Horizonten dient eher der Charakterisierung deren Qualität und des Profilaufbaues.

Bei der Interpretation der Analysendaten ist dieser grundsätzlich verschiedene Ansatz zu beachten (typische "Zentralprobe" oder Mittel aus allen Übergängen).

Wegen der Inhomogenität selbst visuell uniformer Probeflächen ist eine angemessene Zahl von Wiederholungen und/oder Mischproben für eine gewünschte Aussagensicherheit unbedingt erforderlich. Für Dauerbeobachtungsflächen werden 10 Proben aus je 3 Bohrkernen und je Tiefenstufe empfohlen, für Düngerempfehlungen etc. Proben aus 3 Profilgruben je Fläche.

In den Richtlinien ist schließlich eine ausführliche Anleitung zur Standorts- und Bodenbeschreibung gegeben. Proben ohne ein Mindestmaß von Feldbeschreibung sind wertlos! Das bedeutet aber, daß die Proben von Sachkundigen gewonnen werden sollten, eine Notwendigkeit, an der auch die Landwirtschaft a la long nicht vorbeikommen wird. Vor allem aber die INTERPRETATION der Daten muß, aus gleichen Überlegungen, stets in der Hand des Forst-Fachmannes bleiben - eine Forderung, die kürzlich auch in Deutschland wieder von ULRICH und REHFUESS urgiert wurde.

5. Literatur:

BLUM, W.E.H., O.H.DANNEBERG, G. GLATZEL, H. GRALL, W. KILIAN, F. MUTSCH und D. STÖHR, 1986: Waldbodenuntersuchung: Geländeaufnahme, Probennahme, Analyse. Mitt. d. Österr.Bodenk.Gesellschaft, Heft 31.

EGNER, H., 1955: Neue Beiträge zur chemischen Bodenuntersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Lactatmethode. Landw. Forsch., 6. Sonderh. 28-32.

FIEDLER, H.J., F. HOFFMANN, H. HÖHNE, S. LENTSCHIG, 1965: Die Untersuchung der Böden, Band 2. Verlag Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig.

KILIAN, W., 1972: Isotopes and Radiation in Soil-Plant Relationships Including Forestry. IAEA-SM-151/1, 301-312.

LÜTTMER, J. und L. JUNG, 1955: Über die Eignung des Natriumpyrophosphates zur Dispergierung bei der mechanischen Bodenanalyse. - Notizbl.Hess.Landesamt u.Bodenforschung 83, 282.

SCHLICHTING, E. und H.-P. BLUME, 1966: Bodenkundliches Praktikum, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

SCHÜLLER, H., 1969: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z.Pflanzenernähr. Bodenk. 123, 48-63.

THUN, R., R. HERRMANN und E. KNICKMANN, 1955: Die Untersuchung von Böden, Band 1. Neumann Verlag, Radebeul und Berlin.

ULRICH, B., 1966: Kationenaustauschgleichgewichte. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 113, 141-159.

VDLUFA Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik, Methodenbuch, Band II/1973.

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing.Dr. Walter Kilian
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Institut für Standortkunde
1131 Wien-Schönbrunn

Untersuchungen zur kleinräumigen Variabilität
von Bodenparametern in Waldböden

von Chr. Majer

Zusammenfassung

In einem eng umgrenzten Meßfeld unter Wald wurde die kleinräumige Variabilität einiger Bodenparameter und damit die Treffsicherheit von Bodenanalysen untersucht. Während die Tiefenfunktion der meisten Meßwerte im Profil weitgehend bekannt ist, interessierte hier vor allem die Streuung in horizontaler Richtung. Die Variationskoeffizienten liegen meist zwischen 15 und 30%, schwanken jedoch je nach Untersuchungsparameter in weiten Grenzen. Besonders weit streuen die Gesamtgehalte von Zn, gefolgt von P und Cu.

Die Humusaufgabe ist besonders inhomogen zusammengesetzt. Im Mineralboden ist die Streuung meist wesentlich geringer und nimmt mit der Profiltiefe des Waldbodens bei fast allen Meßgrößen deutlich ab.

Die Anzahl der notwendigen Beobachtungen für einen auf 10 relativ-% genauen Mittelwert bei einer stat. Sicherheit von 95% beträgt zwischen 1 und 143, je nach Element und Bodenhorizont.

Durch eine Verminderung des Genauigkeitsanspruchs auf 20% erreicht man in etwa eine Viertelung des Probenumfangs, was einem praktikablen Aufwand entspricht.

Innerhalb der Einzelprofile bestehen enge, z.T. höchst signifikante Korrelationen zwischen den Horizonten, und zwar

innerhalb des Unterbodens für alle gemessenen Parameter (mit Ausnahme von Fe) bis in den A-Horizont für K, Ca, Mg, Cu, Zn, Cr, Ni, bis in die Auflage nur für Mg, Zn, Cu und Ni. Die Umrechnung auf Mengen pro Flächeneinheit erhöht die Unsicherheit der Werte meist wesentlich, in manchen Fällen - z.B. für eine fixe Oberbodentiefe sind diese Daten jedoch stichhaltiger als die Konzentrationen in diagnostischen Bodenhorizonten.

Die Untersuchung zeigt, welcher hoher Aufwand bei der Werbung von Bodenproben für einigermaßen sichere Aussagen erforderlich ist und macht die Grenzen allzu vereinfachter Bodenuntersuchungen deutlich.

Summary

Within a closely defined sampling unit on forest floor the small area-variability of some soil parameters was examined to check the accuracy of soil analyses. While the various dependencies of many parameters in vertical direction are well known, the deviation in lateral direction is partly unknown and subject to this study.

The coefficients of variation differ usually between 15 to 20 percent. They vary dependant to the examined element between wide limits. Total Zn, followed by total P and total Cu show extremely high deviations. The composal of the humus layer is especially inhomogenous. The deviation of nearly all parameters within the mineral soil is substantially lower and diminishes with the depth of profile in forest soils.

The number of observations required to attain a sample mean within 10% of real mean at a level of probability of 95% differs from 1 to 143, depending on element and horizon.

By decreasing the demand of accuracy to 20% only a quarter of sampling effort is achieved. This corresponds to practical expense.

Within the individual profiles exist close and to some extent highly significant correlations among the horizons.

Indeed this applies to all parameters of the lower soil strata (exception: Fe) up to the A-horizon (for K, Ca, Mg, Cu, Zn, Cr and Ni) and the top soil (only for Mg, Zn, Cu and Ni).

Converting the data to amounts per unit area the accuracy of the data decrease. At times however these data are more significant than concentrations in diagnostic soil strata e.g. for a fixed upper soil stratum.

The examination shows, what high efforts are necessary to sampling of soil to acquire certain limits of accuracy and makes visible the limitation of too simplified soil sampling.

1 PROBLEMSTELLUNG

Im Rahmen eines Projektes über Immissionswirkungen auf den Boden wurden entlang von sogenannten "Diagnoseprofilen" standortskundliche Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Anhand von periodischen Wiederholungsaufnahmen sollen dort Veränderungen in der Bodenvegetation und im Boden beobachtet und mit den von diesen Flächen zur Verfügung stehenden Waldzustandsdiagnosen und Nadelanalysen in Beziehung gesetzt werden. Damit Veränderungen im Boden überhaupt nachgewiesen werden können, müssen die Proben hinreichend repräsentativ sein, um entsprechend reproduzierbare Ausgangsdaten zu liefern. Diese Forderung ist aber wegen der beachtlichen räumlichen Variabilität der Bodenmerkmale nicht leicht zu erfüllen.

Die genaue Beschreibung eines Bodenmerkmals gilt streng genommen nur für jeweils ein flächenmäßig sehr begrenztes Bodenprofilindividuum mit einer horizontalen Ausdehnung im 1 m^2 -Bereich, das mit dem Begriff "Pedon" definiert ist (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL, 1979). Jede Übertragung von punktförmig gewonnenen Daten - etwa Analysendaten - auf eine Flächeneinheit bedeutet eine mehr oder weniger unzulässige Extrapolation.

Die Tatsache der relativ großen Inhomogenität der Böden ist an sich bekannt und ihr wird in den meisten Anweisungen für die Probenahme zur landwirtschaftlichen Bodenuntersuchung Rechnung getragen, indem eine entsprechend große Zahl von Einzelproben (Stichen) zur Bereitung einer Mischprobe vorgeschrieben wird (z.B. SCHLICHTING und BLUME, 1966). Sicherlich ist es aber nicht sinnvoll, eine stets gleichbleibende Anzahl von Stichen festzulegen, da die Inhomogenitäten je nach Standort und zu analysierendem Parameter variiert (LEO, 1963). Nicht berücksichtigt bleiben dabei noch die

kurzfristigen zeitlichen Veränderungen des Bodens mit der Witterung und der phänologischen Entwicklung im Jahresgang. In Waldböden ist die räumliche Variabilität noch wesentlich größer als auf Ackerböden. Dies gilt zunächst in vertikaler Erstreckung: die Horizontdifferenzierung ist mangels Bodenbearbeitung deutlicher ausgeprägt, dazu kommen die Auflagehorizonte, welche dem Ackerboden gänzlich fehlen. Für die Charakterisierung des Bodens müssen daher mehr Proben, getrennt nach diagnostischen Horizonten oder nach definierten Tiefenstufen analysiert werden als bei landwirtschaftlich genutzten Böden.

Auch die horizontale Inhomogenität der Waldböden überschreitet bei weitem jene von Ackerböden, da natürliche Diskontinuitäten nicht durch Bodenbearbeitung ausgeglichen werden. Störungen durch Wurzelstöcke, wühlende Tiere, Windwürfe etc. bleiben über lange Zeiträume erhalten und sind oft wegen der einheitlichen Bedeckung mit Auflagehumus und Bodenvegetation nicht erkennbar (BLUM et al., 1986). Auch der Baumbestand selbst fördert, insbesondere in Mischwäldern, die räumliche Diskontinuität: unterschiedliche Belichtungsverhältnisse und Streuzersetzung verschiedener Baumarten, Traufbildung und Stammablauf, unterschiedliche Durchwurzelungsintensität je nach Entfernung vom Stamm, beeinflussen die Humusentwicklung sowie die hydrologischen und chemischen Bodeneigenschaften. Menschliche Aktivität kann zusätzliche Störungen bewirken, z.B. ungleichmäßig ausgebrachte Dünger, Schlepperspuren, Bodenverwundung während der Holzbringung usw.. Analysendaten von Einzelproben können auf diese Weise reine Zufallswerte sein.

Die daraus resultierenden Probleme für die Waldbodenuntersuchung werden z.B. bei SCHMIDT (1970), BARTH and KLEMMEDSON (1978), DAHIYA et al. (1984), SPELSBERG (1985) und BLUM et al. (1986) diskutiert. Sie bedeuten (besonders sorgfältige Probenahme und erhöhte Zahl von Wiederholungsproben, wobei die Einzelanalyse der Mischproben vorzuziehen wäre, um über das Streuungsmaß zusätzliche Information zu gewinnen.

Die Durchführbarkeit dieser Forderungen ist natürlich durch den Arbeitsaufwand begrenzt. Leider hat es sich in der Praxis gerade bei Waldböden wegen der erschwerten Bedingungen, wie unwegsames Gelände, hohem Steingehalt und seichtstreichendem Starkwurzelsystem eingebürgert, Proben aus nur einem Einschlag zu gewinnen und von diesem dann auf die gesamte Fläche zu schließen. Solche problematische Vereinfachungen werden oft gerade großräumigen Monitoringprojekten und Beprobungsnetzen zugrunde gelegt.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, das konkrete Streuungsmaß für verschiedene Elementkonzentrationen und -mengen innerhalb einer standörtlich einheitlichen, eng begrenzten Probefläche zu ermitteln und davon ausgehend die für eine repräsentative Analyse notwendige Anzahl von Proben zu schätzen.

2 MATERIAL UND METHODE

2.1 Standortsbeschreibung

Das Untersuchungsgebiet liegt nördlich der Gemeinde Weistrach im Niederösterreichischen Alpenvorland. Das Gelände ist leicht hügelig bis eben.

Geogr.Lage: Länge: 14° 35' 25'' Breite: 48° 03' 50''

Meereshöhe: 380 m

Exposition: eben

Klima: Jahresniederschlagssumme 850 mm, max. Juli-August
Jahresmitteltemperatur 8.6°C Temperatur der Vegetationsperiode: 13.6°C (April-Oktober)

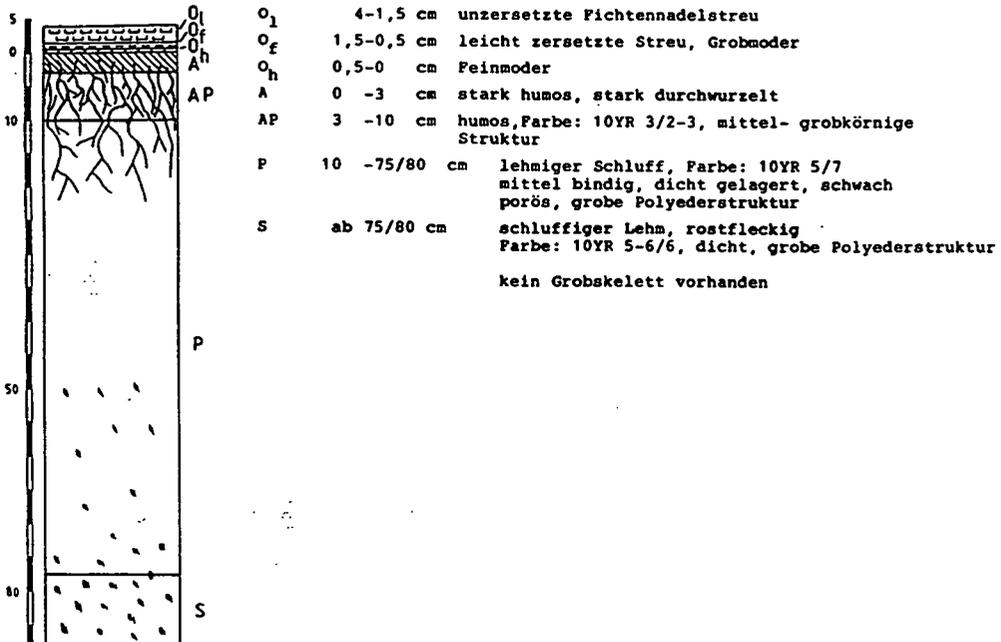


Abb. 1: Durchschnittlicher Profilaufbau

Geologie: Lößdecke über tertiären Sedimenten der Molasse
(Tonmergel, Sande)
Boden: Pseudogley aus verlehnten Löß, oberflächlich
entkalkt
Wasserhaushalt: wechselfeucht
Durchwurzelung: bis 10 cm stark, bis 25 cm schwach durchwur-
zelt

2.2 Versuchsanlage (Abb. 2)

Innerhalb einer 65 m^2 großen, okular vollkommen homogenen Fläche wurden im Mai 1984 an 25 Punkten Proben volumsgerecht mit einem Hohlbohrer bis zu einer Tiefe von 50 cm geworben (Bohrerdurchmesser 6,7 cm). Der Abstand der einzelnen Entnahmen betrug innerhalb der Reihen 1m, zwischen den beiden Reihen 5 m. Um Einflüsse des unmittelbaren Baumbereiches (Stammabfluß etc.) auszuschalten, wurde ein Mindestabstand von 1 m zum nächsten Stamm eingehalten.

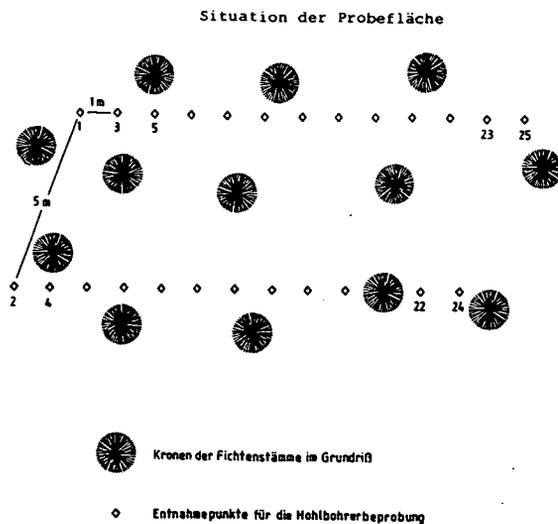


Abb. 2: Situation der Probefläche

Die Bohrkerne wurden luftgetrocknet, nach Horizonten bzw. dm-Stufen getrennt, gewogen, auf 2 mm gesiebt und für die chemische Analyse aufbereitet.

2.2.1 Analysenmethoden

pH-Wert: in 0,1 mol/l KCl-Suspension
Org. Kohlenstoff: als CO₂ mittels IR-Gasanalysator nach Verbrennung im O₂-Strom
Gesamtstickstoff: nach Kjeldahl
Säureaufschluß: mit einem Gemisch aus HNO₃ und HClO₄ (5:1) im Aufschlußblock.
In der Aufschlußlösung wurden Phosphor kolorimetrisch, die Metalle mittels Atomabsorptionsspektroskopie in der Flamme bestimmt.
Korngrößen: Kombination von nasser Siebung und Pipettenmethode nach Vibratordispergierung.

Die Datenverarbeitung erfolgte durch Dipl.-Ing. Walter Höberth an der Rechenanlage der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (VAX 750) bzw. des Landwirtschaftlichen Rechenzentrums (Siemens BS2000).

3 ERGEBNISSE

3.1 pH-Wert

Der pH-Wert des Oberbodens liegt in den Bereichen stark sauer (Aluminium-Pufferbereich nach ULRICH, 1981) bis extrem sauer (Eisen-Pufferbereich).

Die Amplitude der pH-Schwankungen nimmt mit der Profiltiefe kontinuierlich ab. Die Auflage O und der oberste mineralische Horizont A weisen Ausreißer nach oben auf, wahrscheinlich verursacht durch eingewehte Staubpartikel bzw. einen durch Bodentiere eingebrachten höheren Mineralanteil in der Auflage. Die tieferen Horizonte hingegen weisen nur Ausreißer nach unten (niedere pH-Werte) auf, welche vielleicht durch nahe gelegene Wurzelkanäle erklärt werden könnten.

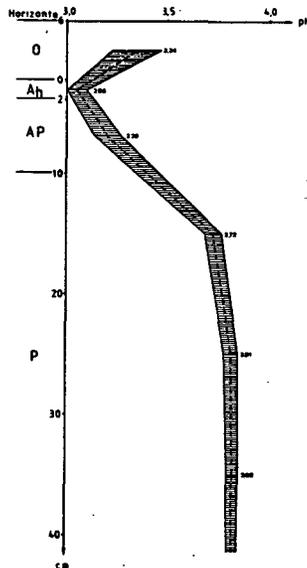


Abb. 3: Änderung der pH-Werte und ihrer Standardabweichung mit zunehmender Profiltiefe.

Die Standardabweichung ist im A-Horizont um mehr als die Hälfte geringer als in der Auflage (Abb. 3). Zwischen AP-Horizont und dem P₃-Horizont, sinkt die Abweichung abermals um dasselbe Ausmaß. Der Anstieg des pH-Wertes ab einer Tiefe von 15 cm abwärts erfolgt kontinuierlich. Zu ähnlichen Ergebnissen kam OFFENBERG (1986) im Wurzelbereich einer Altbuche. Die laterale Streuung des pH-Wertes kann mit kleinräumigen Unterschieden der Bodenvegetation korrelieren. So fand KILIAN (1981) auf einer uniformen, nur 0,1 ha großen Versuchsparzelle, daß die pH-Werte im Ah-Horizont unter Mooskolonien um 0,7 pH-Einheiten signifikant niedriger als auf vegetationslosen Stellen waren.

3.2 Verteilung von Elementkonzentrationen in 3 der 6 untersuchten Straten (O, A, P₃)

Insgesamt wurden die Nährelemente N, P, K, Ca, Mg sowie die Schwermetalle Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Co, Ni, Cr untersucht. Aus dem großen Datenmaterial werden hier als Beispiele für typische Verteilungsmuster N, Pb, Cu und Mg gewählt.

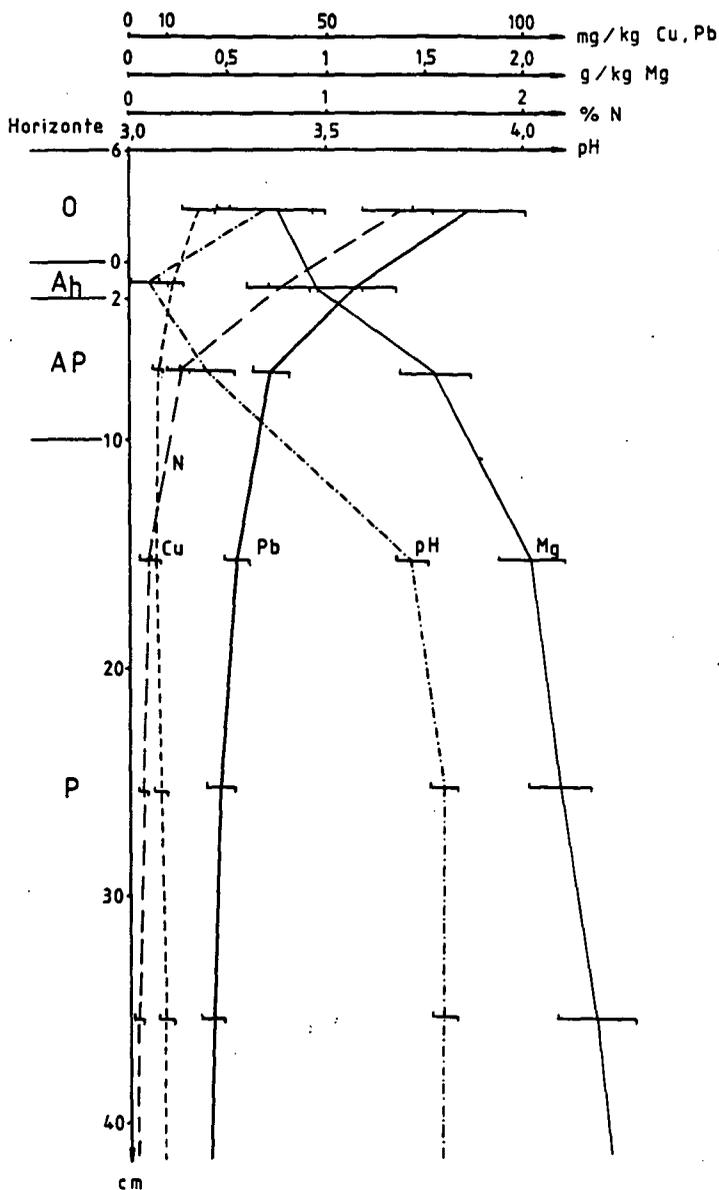


Abb. 4: vertikale Verteilung der Elemente N, Cu, Pb, Mg und des pH-Wertes

Abbildung 4 veranschaulicht die vertikale Verteilung der Elemente N, Mg, Cu und Pb sowie des pH-Wertes. Pb, N und Cu haben gegenüber dem pH-Wert einen konträren Verlauf. Die Abfolge des Mg-Gehaltes ist bis auf den Knick zwischen Auflage und A-Horizont nahezu parallel zum pH-Wert. Die Standardabweichung nimmt bei Cu, N und Pb mit zunehmender Tiefe stetig ab, während sie bei Mg über das ganze Profil hinweg gleich groß bleibt.

Die Maximalwerte der Bleikonzentration liegen in der Auflage zwischen 58 und 112 ppm.

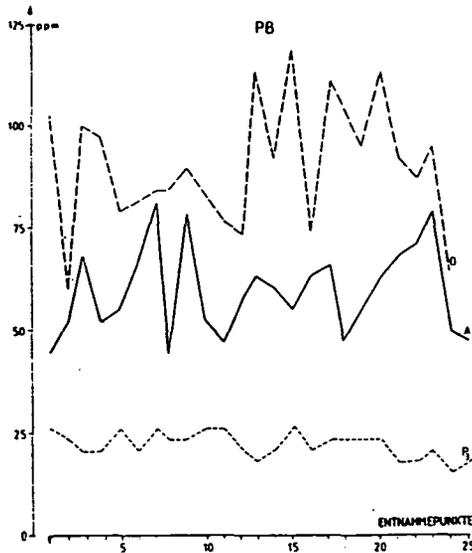


Abb. 5: Verteilungsmuster der Pb-Konzentrationen in 3 Horizonten

Nach der Tiefe hin nehmen die Werte immer mehr ab und erreichen im P_3 -Horizont mit 16 ppm ihr Minimum. Die Streuung ist im O- und A-Horizont um das Dreifache bzw. Doppelte größer als in den Horizonten AP, P_3 , P_1 und P_2 (die beiden letzteren sind in Abb. 5 nicht dargestellt).

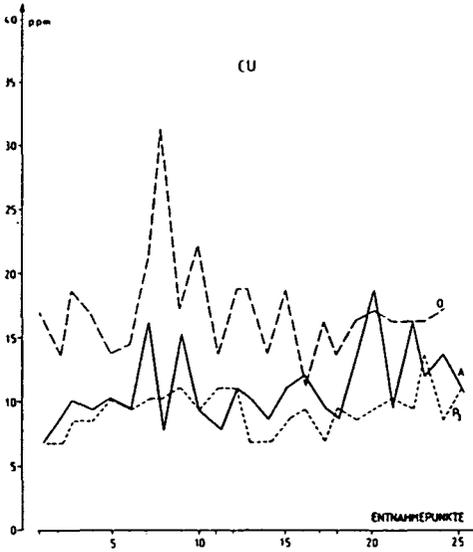


Abb. 6: Verteilungsmuster der Cu-Konzentrationen in 3 Horizonten

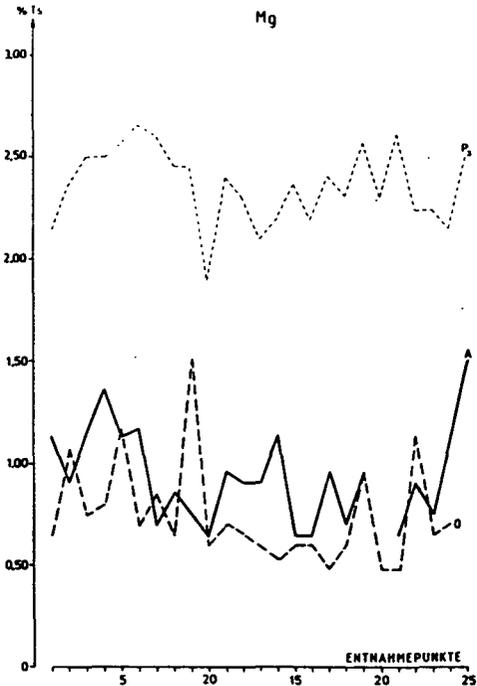


Abb. 7: Verteilungsmuster der Mg-Konzentrationen in 3 Horizonten (Der Wert für Punkt 20, A-Horizont, ist wegen offensichtlicher Verunreinigung nicht berücksichtigt)

Das Verteilungsmuster bei Cu mit Spitzenwerten in der Auflage und im A-Horizont ist dem von Pb ähnlich. Die Verteilung der Mg-Werte verläuft hingegen gänzlich anders. Die Maximalwerte liegen hier im P_3 -Horizont, während die Werte im O- und A-Horizont sich auf einem niedrigeren Niveau befinden. Dies entspricht dem unterschiedlichen Verhalten im Boden: Cu und Pb neigen neben der Anreicherung in Tonmineralschichten zu einer sekundären Akkumulation in der organischen Substanz (EISENBARTH und KOCH, 1986).

3.3 C:N-Verhältnis

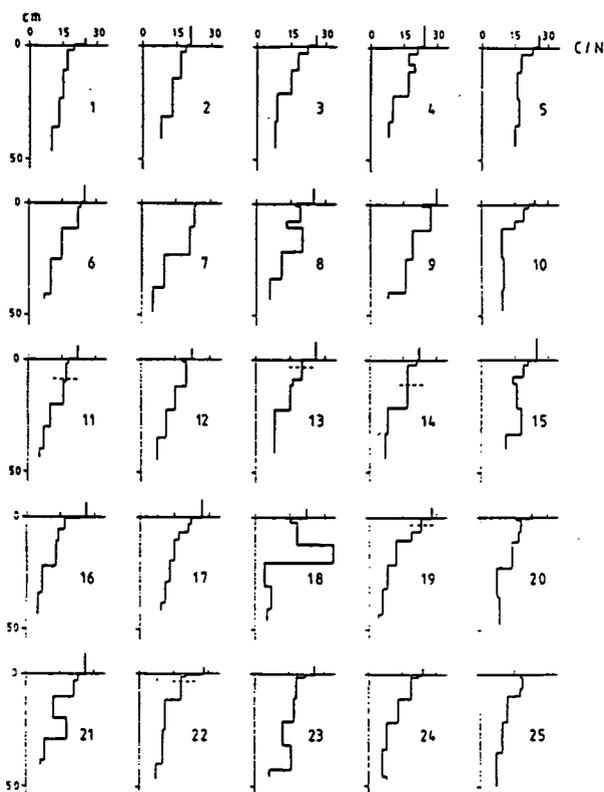


Abb. 8: Änderungen des C:N-Verhältnisses in Abhängigkeit von der Bodentiefe

Im A-Horizont liegt das C:N-Verhältnis beim Großteil aller 25 Proben zwischen 18 und 22. Die höchsten Werte sind auf zwei Zentren mit den Punkten 5, 6, 7, 9, bzw. 16, 19 und 21 konzentriert; dies könnte in einer mikroreliefbedingten (seichte Mulde) Humusanhäufung (vgl. Abb. 2) begründet sein. In der Auflage fallen die Punkte 9 und 19 mit einem C:N-Verhältnis von 30 bzw. 28 aus dem Rahmen. Der atypische Verlauf mit zunehmender Bodentiefe bei den Punkten 18, 21, 23 sowie 8 und 15 läßt auf verrottete Wurzelreste in diesen Horizonten schließen.

Tab. 1: Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichung (s) und Variationskoeffizient (VK) der Variablen N, C und C:N in den 6 untersuchten Horizonten

Horizonte	Element Gehalte in %								
	N			C			C:N		
	\bar{x}	s	VK	\bar{x}	s	VK	\bar{x}	s	VK
O	1,35	0,17	12,5	33,99	5,15	15,2	25	2	9
A	0,75	0,16	21,0	15,65	4,36	27,8	21	3	12,4
AP	0,24	0,05	20,9	4,66	1,02	21,9	19	2	12,7
P ₁	0,09	0,02	19,0	1,35	0,25	18,6	16	3	20
P ₂	0,07	0,03	44,5	0,87	0,66	75,3	11	3	28,3
P ₃	0,05	0,02	38,3	0,51	0,40	78,7	9	3	31,7

Aus Tabelle 1 ist eine stetige Abnahme der Standardabweichung der 3 untersuchten Parameter zu ersehen. In den P-Horizonten ist die Feststellung des C:N-Verhältnisses wenig sinnvoll, zumal die Werte für N und C nahe an der Nachweisgrenze liegen.

3.4 Laterale Verteilungsmuster

Auf die laterale Gruppierung weiterer C:N-Verhältnisse an 2 Stellen (Mikrorelief) wurde bereits hingewiesen. Außerdem könnte aus den Abb. 4, 6 und 7 allenfalls eine Sonderstellung der Punkte 7 bis 10 mit höheren Cu- und niedrigeren Pb-Gehalten, sowie ein kontinuierlicher Anstieg der Mn-Werte nach Osten hin (Punkte 19 bis 25) abgelesen werden.

Die Varianzanalyse weist jedoch nur einen einzigen Punkt (Nr. 20) bei Zn als signifikant verschieden von den Punkten 8 bis 18 aus. Nach dem Rangkorrelationstest nach Kendall nehmen ferner P und Cu signifikant, Zn hoch signifikant von den Punkten 1 und 2 beginnend monoton ab. Alle anderen Elemente zeigen keine Beziehungen.

3.5 Vergleich Menge/Konzentration

Es war zu prüfen, ob bei Umrechnung der Analysendaten auf Mengen pro Flächeneinheit das Streuungsmaß zunimmt - entsprechend der Fehlerzunahme aus variierender Konzentration und Feinbodenmenge (Raumgewicht, Horizontmächtigkeit) oder aber, ob eine Kompensation zwischen diesen Größen besteht und so Mengenangaben über eine bestimmte Tiefenstufe vielleicht sicherer wären. Diesen Vergleich der Variationskoeffizienten zeigt Tabelle 2.

Tab. 2: Vergleich der Variationskoeffizienten der Konzentrationen und der Mengen (Erläuterung siehe Text)

Tiefe Horizont Element	- 0cm		0~25cm				ca 25~50cm		
	O-Horizont Konz.	Menge VK%	A	AP Konz.	P1 VK%	0-25cm Menge	P ₂ Konz.	P ₃ Konz.	25~50cm Menge VK%
C	15.2	45.4	27.8	21.9	18.6	13.5	-	-	-
N	12.5	42.3	21.0	20.9	19.0	13.8	-	-	-
P	14.6	40.1	15.6	17.7	12.9	12.7	17.8	14.3	16.7
K	16.5	39.7	16.8	23.1	11.2	18.9	15.8	9.3	22.1
Ca	30.9	44.0	31.3	47.3	14.0	16.5	15.8	34.7	28.6
Mg	32.8	59.7	24.6	12.0	08.2	17.4	7.5	8.4	20.4
Fe	28.1	55.1	19.4	8.1	05.1	15.8	5.2	5.3	19.9
Cu	24.3	42.1	29.6	19.9	14.6	20.4	16.7	17.6	26.6
Mn	27.7	45.8	19.0	27.4	17.7	20.8	23.0	18.6	29.6
Zn	18.7	37.2	32.2	60.8	32.1	34.2	21.2	19.0	31.1
Co	36.3	176.9	24.5	25.6	18.6	18.8	14.2	13.0	22.4
Ni	13.4	61.3	14.9	15.5	13.7	21.7	13,0	10.4	21.9
Pb	16.9	44.9	18.2	12.2	11.8	15.2	14.6	12.3	21.8

In der Auflage streuen die Mengen aller Elemente bedeutend mehr als die Konzentrationen. Offenbar addieren sich hier die Streuungen der Gehalte und der Horizontmächtigkeit.

In der Stufe 0-25 cm des Mineralbodens (das sind der A, AP und teilweise der P1-Horizont) hingegen ist die Streuung der Menge im allgemeinen geringer als jene der Konzentrationen, zumindest jener im A- und AP-Horizont. Der relativ hohe Anteil des vergleichsweise homogenen P1-Horizontes an dieser Tiefenstufe wirkt hier wohl nivellierend auf die stärker streuenden Daten im A-Horizont. Die erhöhte Treffsicherheit der Mengenangaben beruht also nicht auf einer "Kompensation" zwischen Konzentration und Feinbodenmenge, sondern auf Zusammenfassung von diagnostischen Horizonten. Dies würde aber

bedeuten, daß die Analysendaten aus Sammelproben über den gesamten Oberboden aussagekräftiger sind als solche aus horizontweisen Proben!

C und N, die Hauptkomponenten der Org. Substanz haben eine Sonderstellung: Die Gesamtmenge an C und N im Oberboden streut deutlich weniger als die Konzentration in allen beteiligten Einzelhorizonten. Die Streuung beruht hier demnach eher auf einer ungleichen Verteilung der Org. Substanz über das Profil, nicht aber auf einer wechselnden Gesamtmenge und Humusqualität.

Im Unterboden (25-50 cm) streuen die Mengen im allgemeinen merklich stärker als die Konzentrationen (Ausnahmen sind P und Ca). Hier sind offenbar die diagnostischen Horizonte besser durch Elementkonzentration charakterisiert, während deren Mächtigkeit eher zufällig variiert.

Die Umrechnung von Analysendaten auf Elementmengen pro Flächeneinheit mittels volumsgerecht geworbener Proben führt somit eher zu einer größeren Unsicherheit der Werte, insbesondere bei der Humusaufgabe.

Lediglich die Zusammenfassung der obersten Mineralbodenhorizonte kann zu einer Verminderung des Streuungsmaßes führen.

3.6 Korrelation zwischen den Horizonten

Die lokalen Unterschiede der Bodenmerkmale sind nicht regellos im Raum verteilt. Vielmehr bestehen straffe Korrelationen zwischen den Mineralbodenhorizonten innerhalb des jeweiligen Bodenprofils; das heißt, es unterscheiden sich komplette Bodenindividuen (Pedons) innerhalb der Versuchsfläche.

Zwischen den P-Horizonten ist diese Korrelation innerhalb der Profile für alle Meßgrößen mit Ausnahme von Eisen fast durchwegs höchst signifikant.

Bis in den A-Horizont reicht diese Korrelation nur für einige Elemente (K, Ca, Mg, Cu, Zn, Cr, Ni), bis in die Auflage nur bei Mg, Zn, Co und Ni. Ansonsten ist die Auflage eher unabhängig vom Mineralboden ausgebildet - möglicherweise eine Folge der geringen biologischen Aktivität (Bioturbation). Gerade bei C und N besteht keine signifikante Beziehung zwischen O- und A-Horizont und weiter zu tieferen Horizonten, wohl aber korreliert das C:N-Verhältnis fast über das ganze Bodenprofil; wiederum ein Hinweis darauf, daß die Humusqualität offenbar über ein einzelnes Profil hinweg einheitlich, die Org. Substanz aber inhomogen verteilt ist. Bei den Elementen mit enger Beziehung ihrer Konzentration über alle Horizonte könnte daher die Probenahme aus wenigen Horizonten bereits eine treffsichere Aussage über lokale Abweichungen erlauben.

3.7 Mittelwert, Standardabweichung, Variationskoeffizient (VK) und Schätzung der benötigten Probenanzahl, nach Horizonten getrennt

In der Auflage und im A-Horizont herrschen große Variationskoeffizienten von bis zu 30 und mehr Prozent vor. Der VK der Elemente, vor allem die Häufigkeit des Überschreitens der 30%- Marke, nimmt nach der Tiefe hin ab. Nur Ca und Zn zeigen durchwegs über alle Horizonte hinweg gleich große Variationskoeffizienten.

Aus der bekannten oder vorausgeschätzten Streuung kann man die Anzahl der Beobachtungen ableiten, die notwendig sind, um ein bestimmtes Ergebnis (Meßwert) mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu sichern. Diese Möglichkeit basiert auf der Tatsache, daß die geschätzte Streuung von einer bestimmten Stichprobengröße an nahezu konstant bleibt, sodaß eine Änderung der Beobachtungszahl keinen wesentlichen Einfluß mehr auf die Größe der Streuungsschätzung hat" (MUDRA, 1958). Die solcherart errechneten Zahlen der notwendigen

Messungen für ein jeweils gefordertes Konfidenzintervall des Mittels bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% sind in Tab. 3 dargestellt. Der Berechnung ist allerdings eine Normalverteilung der Variablen zugrunde gelegt, welche aus den Daten jedoch nur mit Vorbehalt akzeptiert werden kann. Daher sind die Zahlen der Beobachtungen lediglich ungefähre Richtwerte.

Im O-Horizont reichen für die Elemente Ca, Mg, Mn und Co die 25 Beobachtungen nicht aus, um einen Mittelwert mit der gewünschten Sicherheitswahrscheinlichkeit auf 10% Relativgenauigkeit zu schätzen. Im A-Horizont gilt dies ebenfalls für vier, im AP für drei Elemente und in den Horizonten P1 und P3 für jeweils ein Element. Im P2 reicht der Rahmen von 25 Messungen bei allen chemischen Parametern aus. Tabelle 3 zeigt, daß bei Zulassung einer Abweichung vom Mittelwert von 20% anstatt von 10% die erforderliche Probenanzahl nur mehr etwa ein Viertel beträgt. Sie erreicht erst dann einen realistisch "machbaren" Umfang mit bis zu 36 Proben.

Tab. 3: Nach diagnostischen Horizonten getrennt, für die Meßwerte jeder Variablen das Mittel \bar{x} , die Standardabweichung s , der Variationskoeffizient VK% ($VK = s/\bar{x} \cdot 100$) und die Schätzung ϵ der Anzahl von notwendigen Beobachtungen n

	HZT	Meßw.	\bar{x}	s	VK%	S = 95%	
						$\epsilon=10\%$ n	$\epsilon=20\%$ n
Angaben	0	C	340,0	52,0	15,2	10	3
in g/kg	0	N	13,5	1,7	12,5	7	3
	0	P	0,55	0,08	14,6	9	3
	0	K	0,66	0,11	16,5	12	4
	0	Ca	1,66	0,51	30,9	37	10
	0	Mg	0,75	0,24	32,8	42	11
	0	Fe	6,65	1,87	28,1	31	9

	HZT	Meßw.	\bar{x}	s	VK%	S = 95%	
						$\epsilon=10\%$ n	$\epsilon=20\%$ n
Angaben in mg/kg	0	Cu	16,6	4,04	24,3	23	6
	0	Mn	439,0	122,0	27,7	30	8
	0	Zn	35,0	6,52	18,7	14	4
	0	Co	5,8	2,1	36,3	51	13
	0	Ni	10,8	1,44	13,4	7	2
	0	Pb	85,9	15,6	16,9	12	3
Angaben in g/kg	A	C	157,0	44,0	27,8	31	8
	A	N	7,5	1,6	21,0	18	5
	A	P	0,39	0,06	15,6	10	3
	A	K	0,62	0,10	16,8	11	3
	A	Ca	0,53	0,16	31,3	38	10
	A	Mg	0,93	0,23	24,6	24	6
	A	Fe	13,9	2,7	19,4	11	5
Angaben in mg/kg	A	Cu	10,4	3,1	29,6	34	9
	A	Mn	194,0	37,0	19,0	14	4
	A	Zn	23,2	7,0	30,2	36	9
	A	Co	7,6	1,9	24,5	24	6
	A	Ni	10,7	1,6	14,9	9	3
	A	Pb	56,6	10,3	18,2	13	4
Angaben in g/kg	AP	C	46,6	10,2	21,9	19	6
	AP	N	2,4	0,5	20,1	18	5
	AP	P	0,20	0,04	17,7	13	4
	AP	K	0,63	0,15	23,1	23	6
	AP	Ca	0,23	0,11	47,3	87	22
	AP	Mg	1,54	0,18	12,0	6	2
	AP	Fe	19,9	1,6	8,1	3	2
Angaben in mg/kg	AP	Cu	6,72	1,34	19,9	16	4
	AP	Mn	234,0	64,0	27,4	29	8
	AP	Zn	24,5	14,9	60,8	143	36
	AP	Co	9,6	2,5	25,6	26	7
	AP	Ni	13,5	2,1	15,5	10	3
	AP	Pb	35,4	4,3	12,2	6	2
Angaben in g/kg	P1	P	0,16	0,02	12,9	7	2
	P1	K	0,69	0,08	11,2	6	2
	P1	Ca	0,17	0,02	14,0	8	2
	P1	Mg	2,03	0,17	8,2	3	1
	P1	Fe	21,7	1,1	5,1	2	1
Angaben in mg/kg	P1	Cu	7,28	1,06	14,6	9	3
	P1	Mn	484,0	86,0	17,7	12	3
	P1	Zn	30,4	9,8	32,1	40	10
	P1	Co	16,8	3,1	18,6	14	4
	P1	Ni	16,2	2,2	13,7	8	2
	P1	Pb	26,7	3,1	11,8	6	2

	HZT	Meßw.	\bar{x}	s	VK%	S = 95%	
						$\epsilon=10\%$ n	$\epsilon=20\%$ n
Angaben in %	P1 Sand		7,6	0,9	11,9	6	2
	P1 Schluff		75,3	1,7	2,3	1	1
	P1 Ton		17,1	1,9	11,1	6	2
Angaben in g/kg	P2 P		0,16	0,03	17,8	13	4
	P2 K		0,76	0,12	15,8	11	3
	P2 Ca		0,17	0,03	15,8	10	3
	P2 Mg		2,17	0,16	7,5	3	1
	P2 Fe		22,3	1,2	5,2	2	1
Angaben in mg/kg	P2 Cu		7,92	1,32	16,7	11	3
	P2 Mn		589,0	135,0	23,0	21	6
	P2 Zn		31,1	6,6	21,2	18	5
	P2 Co		19,0	2,7	14,2	8	2
	P2 Ni		17,2	2,2	13,0	7	2
	P2 Pb		23,2	3,4	14,6	9	3
Angaben in %	P2 Sand		7,4	0,6	8,7	4	2
	P2 Schluff		74,6	2,2	2,9	1	1
	P2 Ton		18,1	2,4	13,4	8	3
Angaben in g/kg	P3 P		0,16	0,02	14,3	8	2
	P3 K		0,83	0,08	9,3	5	2
	P3 Ca		0,19	0,06	34,7	47	12
	P3 Mg		2,36	0,20	8,4	3	1
	P3 Fe		23,2	1,2	5,3	2	1
Angaben in mg/kg	P3 Cu		9,04	1,59	17,6	12	3
	P3 Mn		614,0	114,0	18,6	14	4
	P3 Zn		32,7	6,2	19,0	14	4
	P3 Co		19,9	2,6	13,0	7	2
	P3 Ni		18,7	2,0	10,4	5	2
	P3 Pb		21,2	2,6	12,3	6	2
Angaben in %	P3 Sand		7,2	0,7	9,6	5	2
	P3 Schluff		73,8	1,8	2,5	1	1
	P3 Ton		19,1	2,3	12,0	7	2

HZTBodenhorizont

Meßw.....Chemische Elemente und Korngrößen

\bar{x}Mittelwert

s.....Standardabweichung

VK%.....Variationskoeffizient in %

S.....Sicherheit

ϵAbweichung

n.....Anzahl der mindestnotwendigen Beobachtungen bei einer maximalen Abweichung vom Mittelwert um 10% bzw. 20% und einer statistischen Sicherheit von 95%

4 DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNG

Die Variabilität der Bodeneigenschaften bestimmt die Anzahl der Einzelproben, die jeweils zur Gewinnung einer repräsentativen Mischprobe erforderlich ist.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, welcher großer Aufwand an Proben notwendig ist, um einigermaßen genaue Daten über den Boden eines eng umgrenzten Gebietes zu erhalten. Sehr viele Bodenuntersuchungen laufen Gefahr, wohl richtige Analysendaten, aber nicht repräsentative Werte zu liefern. Solche Analyseergebnisse können etwa beim Vergleich von Behandlungsvarianten oder zeitlichen Wiederholungen zu Fehlinterpretationen führen. FASSBENDER und GUSSONE fanden 1983 bei Klärschlammversuchen so große statistische Abweichungen des Probenmaterials, daß sie die Veränderung durch die Klärschlammzuführung überdeckte.

Die Zahl der notwendigen Proben schwankt aber sehr stark, je nach dem, welche Parameter zur Untersuchung gelangen. Dies bestätigen auch Ergebnisse anderer Autoren:

So sind nach ALBAN (1974) für ein 95%iges Konfidenzintervall und $\pm 10\%$ relative Abweichung für pH, Dichte, Korngrößenfraktion (Sand%) 2 Proben als ausreichend, während für N, P, K, Ca, Mg, Korngrößenfraktion (Ton%) und verfügbares Wasser der tatsächliche Gehalt erst aus 25 bis 60 Proben annähernd sicher dokumentiert werden kann. Für die Bestimmung von Fe sind bei DREES und WILDING (1973) gar 81 Proben erforderlich. KNITTEL und FISCHBECK (1979) erzielen aus 9 Probenahmeorten zu vier Einschlüssen, also insgesamt 36 Proben erst einen auf 25% genauen Mittelwert des Nitratgehaltes.

Die Probenahme ist ein Zentralproblem bei der Untersuchung von Naturstoffen, insbesondere bei so heterogenen Materialien, wie es Böden sind. Fehler bei der Bodenuntersuchung sind nach VERMEULEN (1960) zu 80% auf die Probenahme zurückzuführen. Die Genauigkeit selbst der einfachsten Serienana-

lyse übersteigt meist bei weitem die Stichprobengenauigkeit der Probe, wenn nicht ein beachtlicher Aufwand bei der Probenahme getrieben wird. Damit wird aber auch die Sinnhaftigkeit mancher subtiler Analysen relativiert.

Durch gezielte Wahl der Art der Probennahme, etwa nach diagnostischen Horizonten oder festen Bodentiefen, oder durch die Wahl der Bezugsgrößen (Stoffkonzentrationen, Elementverhältnisse, Mengen pro Flächeneinheit usw.) scheinen nach den vorliegenden Daten bescheidene Möglichkeiten gegeben, die Signifikanz der Proben zu erhöhen. Vor allem ist bei jeder einzelnen Fragestellung abzuwägen, ob nicht eine Auswahl weniger variabler Parameter oder die Gruppierung der Analysendaten nach groben Klassen für die gewünschte Aussage ausreicht, oder aber ein entsprechend hoher Probenaufwand in Kauf genommen werden muß. Auf alle Fälle sind der "Schnelluntersuchung" von Böden und Standorten, etwa im Rahmen von größeren Erhebungsaktionen, Grenzen gesetzt.

5 LITERATUR

- ALBAN, D.H., 1974: Soil variation and sampling intensity under the red pine and aspen in Minnesota.
USDA For.Serv.Res.Pap NC-106.
- BARTH, R.C. and J.O. KLEMMEDSON, 1978: Shrub-induced spatial patterns of dry matter, nitrogen and organic carbon.
Soil Sci.Soc. Am. J. 42: 804-809.
- BLUM et al., 1986: Waldbodenuntersuchung. Österr. Bodenkundliche Gesellschaft, Arbeitsgruppe Waldbodenuntersuchung, Wien.
- DAHIYA, I., KERSEBAUM, K., RICHTER, J., 1984: Spatial variability of some nutrient constituents of an Alfisol from loess I. Classical statistical analysis. Z.f. Pflanzenernährung und Bodenkultur 147: 695-703.
- DREES, L.R. und WILDING, L.P., 1973: Elemental Variability within a Sampling Unit (Variabilität von Elementen innerhalb einer eng begrenzten Lokalität).
Proc.Soil Sci.Soc. America 37: 82-87.
- EISENBARTH, M., und KOCH, M., 1986: Chemismus und Metallgehalte in Böden sowie im Trauf- und Bodenwasser verschiedener Waldgebiete im Saarland.
Forst- und Holzwirt 41(11): 297:301.
- FASSBAENDER, H.W. und GUSSONE, H.A., 1983: Änderungen im Nährstoffhaushalt eines Waldbodens nach Klärschlammabbringung.
Forst- und Holzwirt 22: 584-588.

KAZDA, M. und GLATZEL, G., 1984: Schwermetallanreicherung und Schwermetallverfügbarkeit im Einsickerungsbereich von Stammablauf in Buchenwäldern (*Fagus sylvatica*) des Wienerwaldes.

Z.f. Pflanzenernährung und Bodenkultur 147: 743-753.

KILIAN, W., 1981: Erfahrungen und Probleme bei der Anwendung der Bodenuntersuchung zur Standortsbeurteilung. Mittl. Forstl. Bundesversanst., Band 140: 67-75.

KNITTEL, H., und G. FISCHBECK, 1979: Die Heterogenität des Nitratgehaltes in den Profilschichten einer Ackerbraunerde zu Beginn des Frühjahrs.

Z.Pflanzenernaehr.Bodenkd. 142: 689-695.

MUDRA, A., 1958: Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche.

Paul Parey Berlin und Hamburg.

OFFENBERG, K., 1986: Bodenversauerung im Wurzelbereich einer Altbuche.

Forst- und Holzwirt 11: 295-297.

SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P., 1983: Lehrbuch der Bodenkunde, 10. Auflage.

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.

SCHLICHTING, E. und BLUME, H.P., 1966: Bodenkundliches Praktikum.

Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

SCHMIDT, W., 1970: Untersuchungen über die Phosphorversorgung niedersächsischer Buchenwaldgesellschaft. Scripta Geobotanica I.

Verlag Erich Goltze Göttingen.

SPELSBERG, G., 1985: Variabilität von pH-Werten in Beständen des nördlichen Ruhrgebietes.

Forst- und Holzwirt, 40(16): 425-428.

ULRICH, B., 1981: Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand.

Z. Pflanzenernährung und Bodenkultur 144: 289-305.

VERMEULEN, F.H.B., 1960: Fehlerquellen bei der Bodenuntersuchung. Landw. Forsch., 14, Sonderh., 80.

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing. Christoph Majer
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Institut für Standortskunde
1131 Wien-Schönbrunn

Die EUF-Methode als Grundlage für die Düngeempfehlung

von K. Németh

Zusammenfassung:

Zur Kostensenkung trägt auch eine dem Bedarf der Pflanze angepasste Düngung bei, denn sie ermöglicht hohe Erträge bei guter Qualität und schützt die Umwelt. Für eine bedarfsgerechte Düngung müssen folgende Daten bekannt sein:

- 1) die für die Pflanze tatsächlich verfügbaren Nährstoffmengen im Boden und
- 2) der Nährstoffbedarf der Pflanze bei gegebenem Ertragspotential.

Mit Hilfe dieser Daten kann der pflanzengerechte Düngbedarf berechnet werden.

Während die herkömmliche Bodenuntersuchung nur Nährstoffgehalte (mg/100 g Boden) ermittelt, bestimmt die EUF-Methode das Tempo der Nährstoffanlieferung an die Pflanzenwurzel, d. h. sie erfaßt Nährstoffmengen in der Zeiteinheit (mg/100 g/min). Die EUF-Bodenuntersuchung ermittelt also nicht Gehaltsstufen (Nährstoffklassen), sondern Nährstoffversorgungsstufen.

Die herkömmlichen Methoden bestimmen nur eine Fraktion eines Nährstoffes (z. B. Lactat- P_2O_5 oder Lactat- K_2O), wohingegen die EUF-Methode mehrere Fraktionen eines Nährstoffes erfaßt, und zwar

- 1) leichtverfügbare Nährstoffgehalte,
- 2) Nährstoff-Vorräte und
- 3) Nährstoff-Festlegung (Fixierung).

Mit Hilfe dieser Fraktionen kann der Düngerbedarf errechnet werden.

Es wurde ausführlich geschildert, wie die für die Pflanze tatsächlich verfügbaren Fraktionen lebenswichtiger Pflanzennährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kali usw. mittels EUF aus einer einzigen Bodenprobe bestimmt werden können. Besonders ausführlich wurde die Beurteilung der Stickstoffvorsorgung des Bodens und die Berechnung des N-Bedarfes landwirtschaftlich relevanter Pflanzen mit Hilfe der EUF-N-Fraktionen beschrieben. Hierzu sind folgende EUF-N-Fraktionen erforderlich:

EUF-Nitratstickstoff,
EUF-Ammoniumstickstoff,
EUF-organischer Stickstoff,
EUF-N-Quotient und
EUF-N_{org}-Quotient.

Schließlich wurden die mit der EUF-Empfehlung im Rübenanbau gesammelten positiven Erfahrungen in Deutschland und Österreich erörtert. In beiden Ländern führte die EUF-Empfehlung zu einer Zunahme der bereinigten Zuckererträge, wobei nach EUF im Schnitt niedrigere Düngermengen als betriebsüblich empfohlen wurden.

Summary:

The EUF-methode as a basis for fertilizer recommendations.

Fertilizer recommendations well adapted to plant nutrient requirement reduce production costs, enable high yields together with good quality and protect environment.

Fertilizer requirement can be calculated from

- the actual amount of nutrients in soil available to the plant, and
- the nutrient requirement of the plant for a given level of yield.

While usual methods of soil analysis produce nutrient concentration figures (mg/100 g soil) EUF-method determines the velocity of nutrient transport to the plant root, i. e. nutrient amounts per unit of time (mg/100 g soil/min). Thus, EUF does not determine classes of nutrient contents but classes of nutrient supply.

Common methods determine only one fraction of a nutrient element (e. g. lactate soluble P_2O_5 or K_2O) whereas EUF-method is able to extract several fractions, i. e.

- easily available nutrients
- nutrient reserves
- fixed nutrients.

Using these fractions, fertilizer requirement can be calculated.

It is extensively described, how these plant available and essential plant nutrients like nitrogen, phosphorus, potassium and so on can be determined from just one soil sample using the EUF-method. Most extensively the inter-

pretation of soil-N-supply-data and the calculation of fertilizer-N-requirement of agricultural plants using EUF-method is pointed out. To do this the following EUF-fractions are needed:

EUF-nitrate-N
EUF-ammonium-N
EUF-organic-N
EUF-N-ratio and
EUF-N_{org}-ratio.

Finally, positive experiences in the German and Austrian sugar beet production gained with EUF-based recommendations resulted in increased sugar yields while EUF-based fertilizer recommendations were on average lower than usual.

1. Einleitung

Das Ziel der landwirtschaftlichen Produktion ist nicht der maximale Rohertrag, sondern der optimale Deckungsbeitrag, d. h. Streben nach niedrigen Produktionskosten. Zur Kostensenkung trägt auch die dem Bedarf der Pflanze angepaßte Düngung bei, denn sie ermöglicht hohe Erträge bei guter Qualität und dient außerdem dem Schutz der Umwelt.

Für eine bedarfsgerechte Düngung müssen folgende Daten bekannt sein:

- a) die für die Pflanze tatsächlich verfügbaren Nährstoffmengen im Boden und
- b) der Nährstoffbedarf der Pflanze bei gegebenem Ertragspotential.

Während der Nährstoffbedarf landwirtschaftlich relevanter Pflanzen zur Erzeugung eines bestimmten Ertrages bekannt ist, ist der am besten geeignete Weg zur Bestimmung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe noch umstritten. Deshalb soll in dieser Arbeit gezeigt werden, wie die für die Pflanze tatsächlich verfügbaren Nährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium, Bor, Eisen, Mangan usw. mittels der EUF-Bodenuntersuchung in einem Extraktionsgang bestimmt werden. Außerdem soll noch diskutiert werden, wie die beim EUF-Verfahren gewonnenen zahlreichen Informationen bezüglich der Nährstoffversorgung eines Standortes für die Berechnung des Düngerbedarfes genutzt werden. Schließlich werden noch einige mit der EUF-Methode in Deutschland und in Österreich gesammelten Erfahrungen bei der Senkung der Produktionskosten vorgestellt und diskutiert.

2. Bestimmung pflanzenverfügbarer Bodennährstoffe

Die Landwirtschaft bzw. die Pflanzenernährung fordern von der Bodenuntersuchung die Beantwortung folgender Fragen:

- a) Wie hoch liegen die tatsächlich verfügbaren Nährstoffgehalte im Boden?
- b) Wie schnell verändern sich diese Nährstoffgehalte im Laufe der Vegetationsperiode infolge der Aufnahme durch die Pflanze, von Verlagerung im Bodenprofil, von Mobilisierung (Verwitterung) usw.?
- c) Wieviel an Nährstoffen muß dem Boden zugeführt werden, um den leichtverfügbaren Anteil um einen bestimmten Wert (z. B. um 1 mg/100 g oder kg/ha) zu erhöhen?

2.1 Die herkömmliche Bodenuntersuchung

Die Forderung der Landwirtschaft bzw. der Pflanzenernährung können die herkömmlichen Methoden (AL-, DL-, CAL-, CaCl_2 -Extraktionen) nur teilweise erfüllen, denn diese Methoden beurteilen den Nährstoffversorgungsgrad eines Bodens nach dem Gehalt an extrahierten Nährstoffen. Die Gehalte (mg/100 g Boden) werden in Nährstoffklassen (A, B, C, D, E) eingeteilt. Unbekannt bleibt allerdings die effektive Verfügbarkeit der mit den verschiedenen Lösungen gewonnenen Mengen. Ebenfalls unbekannt bleibt die Höhe der Nährstoff-Nachlieferung und der Nährstoff-Festlegung.

Werden beispielsweise schwache Extraktionslösungen wie Wasser oder CaCl_2 verwendet (VAN DER PAAUW, 1969; SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN, 1974), so sind Aussagen über die leichtverfügbaren Nährstoffgehalte möglich, unbekannt bleibt jedoch die Höhe der Nährstoff-Nachlieferung und -Festlegung in dem betreffenden Boden. So kann z. B. eine bestimmte mit CaCl_2 extrahierte K-Menge zu einem Boden mit geringer K-Nachlieferung gehören, ebenso aber auch zu einem Boden mit hoher K-Nachlieferung. Aus eben diesem Grunde kann nicht gesagt werden, wie sich diese K-Menge durch bestimmte K-Düngermengen verändern läßt, das heißt der K-Düngerbedarf kann mit Hilfe einer CaCl_2 -Extraktion nicht ermittelt werden.

Werden stärkere Extraktionslösungen verwendet wie z. B. Lactatlösungen (EGNER, 1955; SCHÜLLER, 1969), dann wird zwar ein größerer Teil der Nährstoffvorräte erfaßt, unbekannt bleibt aber auch hier die Verfügbarkeit dieser Nährstoffmengen. Deswegen sind die Beziehungen zwischen diesen Lactatgehalten und den durch die Pflanze aufgenommenen Nährstoffmengen bzw. dem Düngerbedarf der Pflanze unbefriedigend (SCHWERT u. JESSEN, 1961; JUDEL et al., 1982; BUCHNER, 1986). BUCHER (1964), SCHLICHTING und SUNKEL (1971) u. a. fordern daher, daß neben den Lactatwerten auch

andere Standorteigenschaften berücksichtigt werden müssen. VETTER und FRÜCHTENICHT (1974) betonen ebenfalls die Notwendigkeit einer stärkeren Berücksichtigung von Tongehalt, Tonart, Humus, pH, Nährstoff-Festlegung usw., um die Lactatwerte dadurch besser interpretieren zu können.

Will man die chemischen Schnellmethoden für die praktische Bodenuntersuchung beibehalten, dann muß die Untersuchung auf andere Bodeneigenschaften erweitert werden. Eine erweiterte Bodenuntersuchung auf Tongehalt, Tonart, pH, CaCO_3 , Humus, Nährstoff-Nachlieferung und -Festlegung usw. bedeutet jedoch einen beachtlichen Zeit-, Arbeits- und Materialaufwand. Eine zweite Möglichkeit bietet das EUF-Verfahren, bei dem die oben genannten Bodeneigenschaften in die Untersuchungsergebnisse mit einfließen.

2.2 Das EUF-Verfahren

Das Prinzip des Verfahrens besteht darin, aus einer Bodensuspension Ionen mittels elektrostatischer Anziehung herauszuziehen. Hierdurch werden die Gleichgewichtsbedingungen zwischen den Nährstoffen in der Bodenlösung und an den festen Bodenpartikeln ständig verändert, d. h. es gehen gebundene Ionen in die gelöste Phase (Desorption), um dadurch ein neues Gleichgewicht zwischen gelösten und sorbierten Ionen anzustreben. Die ständige Störung des Gleichgewichtes durch EUF entspricht den im Boden sich abspielenden Vorgängen. Auch hier wird das Gleichgewicht durch Aufnahme von Nährionen aus der Bodenlösung gestört, so daß es zur Desorption von Ionen aus dem Nährstoffvorrat des Bodens in die Bodenlösung kommt.

In Abbildung 1 wird das Prinzip einer EUF-Apparatur gezeigt. An den beiden Außenzellen des EUF-Gerätes befindet sich jeweils eine Platinnetzelektrode, die mit einem Spezialfilter (EUF-Filter) abgedeckt ist. Beim Anlegen

einer Spannung wandern die Anionen zur Anode und die Kationen zur Kathode. Von dort werden sie mittels Wasser in die Auffanggefäße gespült. Spannung, Temperatur und Zeit lassen sich während der Extraktion variieren, so daß man mit unterschiedlicher Kraft die Ionen aus der Bodensuspension herausziehen kann. Dementsprechend kann man in einem Extraktionsgang mehrere Fraktionen unterschiedlicher Bindungsstärke (unterschiedlicher Pflanzenverfügbarkeit) gewinnen. Die EUF-Bodenuntersuchung ermittelt also das Tempo der Nährstoffanlieferung an die Pflanzenwurzel, d. h. sie erfaßt Nährstoffmengen in der Zeiteinheit (mg/100 g/min). Die verschiedenen Bodeneigenschaften brauchen deshalb nicht extra bestimmt zu werden. Ihr Einfluß auf die Verfügbarkeit der Bodennährstoffe wird bei der EUF-Methode in der Weise erfaßt, daß bei einem gegebenen Nährstoffgehalt je nach Bodeneigenschaften unterschiedliche Mengen in der Zeiteinheit extrahiert werden (NÉMETH, 1976, 1982, 1985).

Wie bereits erwähnt, werden bei dem EUF-Verfahren mehrere Fraktionen eines Nährstoffes in einem Extraktionsgang gewonnen, und zwar:

- a) leichtverfügbare Nährstoffe,
- b) Nährstoffvorräte (Nährstoff-Nachlieferung) und
- c) Nährstoff-Festlegung (Fixierung).

Aus diesen Fraktionen resultiert die tatsächlich (effektiv) verfügbare Nährstoffmenge, d. h. die Versorgungsstufe (Tabelle 1). Die EUF-Bodenuntersuchung ermittelt also nicht Gehaltsstufen, sondern Nährstoff-Versorgungsstufen.

Folgende Nährstoffe und deren Fraktionen können mittels EUF aus einer Bodenprobe extrahiert werden:

$\text{NO}_3\text{-N}$; $\text{NH}_4\text{-N}$; leichtmineralisierbarer organischer Stickstoff (EUF- N_{org}); anorganischer Phosphor (EUF- $\text{PO}_4\text{-P}$); organischer Phosphor (EUF- P_{org}); Kalium, Kalzium, Mag-

nesium, Natrium, Bor, Aluminium, Mangan, Zink usw. Da die wichtigsten Nährstoffe in einem Arbeitsgang gewonnen werden, können auch die bekannten Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Nährstoffen bei der Aufnahme berücksichtigt werden. Bei der Berechnung des Düngerbedarfes wird also nicht nur die verfügbare Menge eines bestimmten Nährstoffes zugrunde gelegt, sondern auch die Menge der antagonistisch bzw. synergistisch wirkenden Begleitnährstoffe. Hierdurch läßt sich der Düngerbedarf (der physiologische Bedarf) genauer beurteilen. Weitere Einzelheiten hierzu werden bei den einzelnen Nährstoffen angegeben.

3. Beurteilung der Stickstoffversorgung des Bodens

3.1 Die N_{\min} -Analyse

Auf gut durchlüfteten Ackerböden stellt das Nitrat die wichtigste Form des aufnehmbaren Stickstoffes dar, denn diese N-Fraktion ist für die Pflanze direkt verfügbar. Mit der N_{\min} -Analyse, die wesentlich zur Verbesserung der N-Düngung beigetragen hat, wird diese Fraktion erfaßt. Die N_{\min} -Analyse ist jedoch hauptsächlich dann informativ, wenn im Bodenprofil noch große Mengen an Nitratstickstoff vorhanden sind. Hohe Gehalte an "Reststickstoff" findet man aber vor allem dann, wenn die Menge der verabreichten N-Düngung nicht dem Bedarf der Pflanze entsprach, was allerdings sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht vermieden werden sollte.

Bei einer über dem Bedarf der Pflanze liegenden N-Düngung reichert sich im Laufe mehrerer Jahre nicht nur der Nitrat-Stickstoff im Boden an, sondern auch eine leichtverfügbare organische Stickstoff-Fraktion, die durch die N_{\min} -Analyse nicht erfaßt werden kann, aus der aber Nitrat angeliefert wird. Andererseits wird bei einer unter dem

Bedarf der Pflanze liegenden N-Düngung diese leichtverfügbare organische N-Fraktion verbraucht. Das Ausmaß des Verbrauches wird durch die N_{\min} -Analyse ebenfalls nicht angezeigt. Die N_{\min} -Gehalte reichen also nicht aus, um eine dem Bedarf der Pflanze angepaßte N-Düngung durchführen zu können. Hierzu muß auch die leichtverfügbare organische N-Fraktion in die Berechnung miteinbezogen werden. Dies ist mittels EUF möglich.

3.2 Der EUF-extrahierbare Stickstoff

Bei der EUF-Methode werden folgende Stickstoff-Fractionen gewonnen:

EUF-Nitrat-Stickstoff	}	= N-Mengen im Boden
EUF-Ammonium-Stickstoff		
EUF-organischer-Stickstoff (EUF- N_{org})		

EUF-N-Quotient ($\frac{\text{EUF} \cdot N_{\text{org}}}{\text{EUF} \cdot \text{NO}_3\text{-N}}$) = Aktivität der mikrobiellen Biomasse im Boden

EUF- N_{org} -Quotient ($\frac{\text{EUF} \cdot N_{\text{org}} \cdot 80^\circ \text{C}}{\text{EUF} \cdot N_{\text{org}} \cdot 20^\circ \text{C}}$) = N-Nachlieferung

Zwischen dem EUF-Nitratstickstoff und dem Nitratgehalt der N_{\min} -Analyse (ausgedrückt in mg/100 g Boden) besteht eine enge Beziehung (HARRACH et al., 1982). Ebenfalls enge Beziehungen wurden zwischen den EUF- $\text{NO}_3\text{-N}$ - und den mit CaCl_2 bzw. K_2SO_4 extrahierten NO_3 -Gehalten ermittelt. Demnach ist es gleichgültig, mit welcher Extraktionsmethode das locker gebundene NO_3 -Ion extrahiert wird.

Die austauschbar gebundenen NH_4 -Gehalte der meisten Ackerböden liegen nach SCHACHTSCHABEL (1961) und nach SCHERER

und MENGEL (1979) niedrig, nämlich zwischen 0,02 und 0,17 mg je 100 g Boden. Ähnlich niedrige NH_4 -Gehalte wurden auch mittels EUF in 35 min extrahiert (NEMETH et. al., 1986).

Der EUF-extrahierbare Ammonium-Stickstoff (beinhaltet hauptsächlich die an den äußeren (planaren) Sorptionsstellen locker gebundenen NH_4 -Ionen. Bei 80°C setzt zwar auch die Desorption von NH_4 -Ionen ein, die in den Zwischenschichten der Tonminerale lokalisiert sind, da aber bei Serienuntersuchungen lediglich 5 min lang bei 80°C extrahiert wird (30 - 35 min), kann nur ein geringer Teil des nicht austauschbar gebundenen Ammoniums erfaßt werden.

Der EUF-organische Stickstoff (EUF- N_{org}) enthält nach Untersuchungen von NEMETH et al. (1986) Aminosäuren, wobei die sauren Aminosäuren wie Asparaginsäure und Glutaminsäure bevorzugt zur Anode und die basischen wie Lysin und Arginin bevorzugt zur Kathode wandern. Aminosäuren mit isoelektrischen Punkten von 5,6 - 6,0 sind nahezu gleichmäßig sowohl in Anoden- als auch in Kathodenfiltraten zu finden.

In den EUF-Filtraten von Acker- und Waldböden treten am häufigsten die Aminosäuren Glutaminsäure, Asparaginsäure, Serin, Glycin und Alanin auf. Oft machen sie zwei Drittel der gesamten Aminosäuremengen aus. Diese fünf Aminosäuren sind am Zellwandaufbau von Mikroorganismen stark beteiligt. Das ist ein Hinweis darauf, daß zwischen den EUF-N-Gehalten (EUF- N_{org} -Gehalten) und der Aktivität der mikrobiellen Biomasse im Boden eine positive Beziehung bestehen muß (NEMETH et al., 1986).

Der Anteil des Aminosäurestickstoffes an der EUF- N_{org} -Fraktion macht bei Ackerböden etwa 2 - 3 % und bei Waldböden (A_h -Horizonte) 2 - 7 % aus. In O_h -Horizonten findet man sogar Aminosäure-N-Anteile von 14 % (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2 zeigt deutlich, daß die $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Gehalte in den Waldböden höher liegen als in den Ackerböden. Ihr ist außerdem noch zu entnehmen, daß mit steigenden $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Gehalten auch die Gehalte an Aminosäure-N ansteigen. Deshalb fanden NEMETH et al. (1986) eine enge Beziehung zwischen den $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Gehalten und den Gehalten an Aminosäuren in den EUF-Extrakt en von 23 Acker- und Waldböden ($r = 0,87$). Hierbei zeigte sich allerdings, daß bei einem gegebenen $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Gehalt die Aminosäuregehalte um so niedriger lagen, je höher die EUF-N-Quotienten ($\frac{\text{EUF-N}_{\text{org}}}{\text{EUF-NO}_3\text{-N}}$) waren.

Je höher nämlich diese EUF-N-Quotienten sind, um so schlechter sind die Bedingungen für die mikrobielle Tätigkeit im Boden, d. h. für die Bildung von Aminosäuren aus höhermolekularen Verbindungen. Deswegen fanden NEMETH et al. (1985), daß die Ertragsleistung (Trophie) hessischer Waldstandorte umso besser war, je niedriger die EUF-N-Quotienten bei einem gegebenen EUF-N-Gehalt lagen.

Auf gut nährenden "eutrophen" Waldstandorten wurden EUF-N-Quotienten von kleiner als 15 ermittelt. Auf "mesotrophen" Standorten lagen diese Quotienten zwischen 15 - 50, und auf schlecht nährenden "oligotrophen" Waldstandorten wurden EUF-N-Quotienten zwischen 50 bis 100 ermittelt.

Da laut Tabelle 2 lediglich 3 - 14 % der $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Fraktion in Form von freien Aminosäuren vorliegen, stellt sich die Frage, aus welchen anderen N-Verbindungen die $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Fraktion zusammengesetzt ist. Eine Hydrolyse der EUF-Extrakte verschiedener Böden mit 6N HCl ergab, daß die Gehalte an Aminosäuren nach der Hydrolyse stark angestiegen waren. Tabelle 3 zeigt ein Beispiel hierfür. Dieser Anstieg der Aminosäuregehalte nach der Hydrolyse um das 4- bis 10fache zeigt deutlich, daß die $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Fraktion zum großen Teil aus hydrolysierbaren (leicht mineralisierbaren)

N-Verbindungen besteht, die sehr wahrscheinlich aus Umwandlungsprodukten der mikrobiellen Biomasse und auch aus Wurzelrückständen usw. stammen.

Die chemische Natur der $\text{EUF-N}_{\text{org}-20^\circ \text{C}}$ -Fraktion unterscheidet sich allerdings von der $\text{EUF-N}_{\text{org}-80^\circ \text{C}}$ -Fraktion.

Mit steigender N-Versorgung (mit steigenden ϵ EUF-N -gehalten) steigt die $\text{EUF-N}_{\text{org}-20^\circ \text{C}}$ -Fraktion viel stärker an als die $\text{EUF-N}_{\text{org}-80^\circ \text{C}}$ -Fraktion. Deshalb nimmt auch der $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Quotient ($\frac{\text{EUF} \cdot \text{N}_{\text{org} - 80^\circ \text{C}}}{\text{EUF} \cdot \text{N}_{\text{org} - 20^\circ \text{C}}}$) mit steigender N-Versorgung ab. Da die $\text{EUF-N}_{\text{org}-20^\circ \text{C}}$ -Fraktion durch N-Zufuhr schnell verändert wird, kann sie infolge von N-Aufnahme ebenfalls leicht gesenkt werden. Die $\text{EUF-N}_{\text{org}-80^\circ \text{C}}$ -Fraktion wird dagegen weniger durch N-Zufuhr oder N-Aufnahme beeinflusst, sondern vielmehr durch Bodeneigenschaften wie z. B. durch den Kalk- und Lufthaushalt des Bodens.

Bei einem gegebenen ϵ $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Gehalt von z. B. 2 mg/100 g ist der Anteil der $\text{EUF-N}_{\text{org}-80^\circ \text{C}}$ -Fraktion um so größer, je besser die Kalkversorgung ist. Die $\text{EUF-N}_{\text{org}-80^\circ \text{C}}$ -Fraktion ist also eine standortspezifische Größe, die durch die Bewirtschaftung nur langfristig verändert werden kann. Mit steigendem Anteil der $\text{EUF-N}_{\text{org}-80^\circ \text{C}}$ -Fraktion steigt auch die N-Nachlieferung an, weil 1 mg von der $\text{EUF-N}_{\text{org}-80^\circ \text{C}}$ -Fraktion ein größeres N-Potential repräsentiert als 1 mg von der $\text{EUF-N}_{\text{org}-20^\circ \text{C}}$ -Fraktion. Dieses unterschiedliche N-Nachlieferungspotential bei gegebenem $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Gehalt kann mit den $\text{EUF-N}_{\text{org}}$ -Quotienten ($\frac{\text{EUF} \cdot \text{N}_{\text{org} - 80^\circ \text{C}}}{\text{EUF} \cdot \text{N}_{\text{org} - 20^\circ \text{C}}}$) sehr gut charakterisiert werden. Je größer dieser Quotient bei einem gegebenen EUF-N -Gehalt ist, um so größer ist das N-Nachlieferungspotential. Deshalb kann die N-Dynamik eines Standortes mit Hilfe von einfachen Extraktionen wie z. B. mit CaCl_2 oder K_2SO_4 nicht befriedigend charakterisiert werden, denn diese Methoden liefern keine Aussagen über die soeben besprochenen N_{org} -Quotienten, d. h. über das N-Nachlieferungspotential.

Die N-Nachlieferung kann mit der Heißwassermethode (BRONNER, 1976) besser erfaßt werden als durch einfache Extraktionen mit CaCl_2 oder K_2SO_4 . Mit EUF wird allerdings weniger N extrahiert als mit der Heißwassermethode, denn diese Methode selektiert nicht nach Molekulargröße und Oxidationsfreudigkeit. Der Unterschied zwischen EUF-N und heißwasserlöslichem N ist um so größer, je besser die N-Versorgung ist, was Tabelle 4 zu entnehmen ist. Sie zeigt deutlich, daß die EUF-N_{org}-Gehalte im Schnitt 50 % niedriger liegen als die heißwasserlöslichen N-Gehalte, und zwar um so niedriger, je besser die N-Versorgung des Bodens ist.

Zur Beurteilung der N-Versorgung eines Bodens und zur Berechnung des N-Düngerbedarfes müssen demnach folgende N-Fractionen bekannt sein:

die verfügbare N-Menge ($\text{EUF-NO}_3\text{-N} + \text{EUF-N}_{\text{org}} = \Sigma \text{EUF-N}$);

der $\frac{\Sigma \text{EUF-N}_{\text{org}}}{\Sigma \text{EUF-NO}_3\text{-N}}$ -Quotient (Aktivität der mikrobiellen Biomasse im Boden) und die N-Nachlieferung ($\frac{\text{EUF-N}_{\text{org}} 80^\circ \text{C}}{\text{EUF-N}_{\text{org}} 20^\circ \text{C}}$ -Quotient).

4. EUF-Stickstoff und Stickstoff-Düngerbedarf

Je höher die EUF-N-Gehalte sind, um so niedriger ist der N-Düngerbedarf. Das beweisen die zahlreichen N-Steigerungsversuche zu Zuckerrübe, Getreide, Mais Kartoffel usw. (NEMETH und WIKLICKY, 1982; WIKLICKY et al., 1983) RECKE, 1984; REX, 1984; FÜRSTENFELD, 1985; NEMETH et al., 1986). Einige Ergebnisse dieser Versuche sollen die folgenden Abbildungen und Tabellen veranschaulichen.

Abbildung 2 zeigt die Beziehung zwischen den EUF-N-Gehalten (Probennahme im Sommer vor der Zuckerrübe) und der Erhöhung des Zuckerertrages durch N-Düngung. Abbildung 2 macht deutlich, daß mit steigenden EUF-N-Gehalten der durch

N-Düngung erzielbare Ertragszuwachs schnell abnimmt. Bei einem EUF-N-Gehalt von über 5 mg/100 g ist durch N-Düngung praktisch kein Ertragszuwachs mehr zu erwarten. Obwohl in Abbildung 2 die EUF-N-Gehalte und die Zuckererträge von drei witterungsmäßig sehr unterschiedlichen Jahren und aus den Einzugsgebieten von drei Zuckerfabriken Österreichs und vier Standorten Niedersachsens zusammen verrechnet wurden, ist die Beziehung statistisch hochsignifikant.

Zu dem gleichen Ergebnis führten auch die N-Steigerungsversuche zur Berechnung des N-Düngerbedarfes für die Zuckerrübe auf 30 bayerischen Standorten. In Abbildung 3 ist die durch N-Düngung hervorgerufene Erhöhung des bereinigten Zuckerertrages in dt/ha gegen den mittels EUF berechneten N-Düngerbedarf aufgetragen. Der Abbildung 3 ist deutlich zu entnehmen, daß der bereinigte Zuckerertrag durch die N-Düngung um so weniger erhöht werden konnte, je niedriger der nach EUF ermittelte N-Düngerbedarf lag. Die Richtigkeit der EUF-N-Empfehlung wurde also durch die Erhöhung der bereinigten Zuckererträge bestätigt.

Zwar ist die in der Abbildung 2 gezeigte Beziehung statistisch hochsignifikant, doch kann die Erhöhung des bereinigten Zuckerertrages bei einem gegebenen EUF-N-Gehalt von z. B. 4 mg/100 g sehr unterschiedlich sein (5 bis 15 %). Dieser Befund ist damit zu erklären, daß die Σ EUF-N-Gehalte die verfügbare N-Menge zwar richtig wiedergeben, nicht aber die unterschiedliche Intensität der N-Nachlieferung. Wie bereits besprochen, kann die N-Nachlieferung mit Hilfe der EUF-N_{org}-Quotienten ($\frac{\text{EUF-N}_{\text{org}} - 80^{\circ}\text{C}}{\text{EUF-N}_{\text{org}} - 20^{\circ}\text{C}}$) charakterisiert werden. Tabelle 5 gibt ein Beispiel hierfür. Sie zeigt den laut N-Steigerungsversuch optimalen N-Bedarf der Zuckerrübe bei ähnlich hohen Σ EUF-N-Gehalten, aber bei unterschiedlich hohen EUF-N_{org}-Quotienten (N-Nachlieferung). Tabelle 5 ist deutlich zu entnehmen, daß bei ähnlich hohen EUF-N-Gehalten der N-Be-

darf der Zuckerrübe um so niedriger ist, je höher die EUF-N_{org}-Quotienten (die N-Nachlieferung) sind. Weitere Feldversuche zur Erfassung der N-Nachlieferung mit Hilfe der EUF-N_{org}-Quotienten sind dankbare Aufgaben künftiger Forschungen.

5. EUF-Phosphor und EUF-Kalium

Über den EUF-extrahierbaren Phosphor und das EUF-Kalium sind bereits zahlreiche Arbeiten erschienen, von denen einige an dieser Stelle allerdings nur zitiert und nicht diskutiert werden können (NEMETH, 1982; WIKLICKY und NEMETH, 1982; EIFERT et al., 1982; REX, 1984; RECKE, 1984; FÜRSTENFELD, 1985; NEMETH, 1985; SIMONIS und NEMETH, 1985; JUDEL et al., 1982; BUCHNER, 1986).

Eine Interpretation der EUF-P- und -K-Fractionen für die Beurteilung der P- und K-Verfügbarkeit des Bodens kann wie folgt zusammengefaßt werden:

Die EUF-P- und -K-20° C-Fractionen charakterisieren die Höhe der effektiv verfügbaren P- und K-Mengen, die mit der P- und K-Konzentration der Bodenlösung in enger Beziehung stehen. Eine gute P- bzw. K-Versorgung (Versorgungsstufe "C") liegt vor:

- a) bei einem EUF-P-20° C-Gehalt von 2,0 mg/100 g Boden und
- b) bei einem EUF-K-20° C-Gehalt von 14 mg/100 g Boden.

Diese anzustrebenden EUF-P- bzw. -K-Gehalte können aber niedriger angesetzt werden, wenn die EUF-P- und EUF-K-Quotienten über 0,6 liegen, d. h. wenn die P- und K-Nachlieferung hoch ist.

Die anzustrebenden EUF-P- und -K-Gehalte hängen aber auch von den EUF-Ca-80° C-Gehalten (von der Kalkversorgung des Bodens) ab. Bei einem gegebenen EUF-P-Quotienten von z. B. 0,5 kann nämlich der anzustrebende EUF-P-20° C-Gehalt um so niedriger angesetzt werden, je höher die EUF-Ca-80° C-Gehalte sind. Im Gegensatz zu Phosphor können die anzustrebenden EUF-K-20° C-Gehalte bei einem gegebenen EUF-K-Quotienten von z. B. 0,5 um so niedriger angesetzt werden, je niedriger die EUF-Ca-80° C-Gehalte und je höher die EUF-N-Gehalte sind. Bei der Festsetzung der anzustrebenden Grenzwerte und bei der Berechnung des Düngerbedarfes wird also bei EUF nicht nur die verfügbare Nährstoffmenge und die Nachlieferung zugrunde gelegt, sondern auch die Menge der antagonistisch bzw. synergistisch wirkenden Begleitnährstoffe. Hierdurch kann man den Düngerbedarf (den physiologischen Bedarf) genauer berechnen.

6. Erfahrungen mit der EUF-Düngeberatung im Zuckerrübenanbau

Die mehr als 10jährigen Erfahrungen der Tullner Zuckerfabrik AG in Österreich mit der EUF-Düngeberatung sind eindeutig positiv, denn die Optimierung der Düngung mittels EUF führte zu einem kontinuierlichen Anstieg der Zuckererträge, was Abbildung 4 zu entnehmen ist. Durch die Optimierung der Düngung war es also möglich, sowohl Ertrag als auch Qualität zu verbessern und dadurch die Flächenproduktivität zu steigern.

Auch in Süddeutschland wurden mit der EUF-Düngeempfehlung positive Erfahrungen gesammelt. Ähnlich wie in Österreich führte die EUF-Empfehlung auch hier zu einer Zunahme der bereinigten Zuckererträge, was Tabelle 6 zu entnehmen ist. Da diese höheren bereinigten Zuckererträge mit niedrigeren Düngermengen als "betriebsüblich" erzeugt wurden, konnte der Erlös pro Fläche beachtlich gesteigert werden.

Auch aus Irland, Jugoslawien und Ungarn liegen positive Erfahrungen mit der EUF-Düngeberatung vor. Anlässlich des 3. Internationalen EUF-Symposiums am 30. und 31. Mai 1988 in Mannheim werden die mit EUF weltweit gesammelten Erfahrungen vorgestellt und diskutiert werden. Die eingereichten Beiträge werden vor Beginn des Symposiums gedruckt in einem Symposiumsband vorliegen, so daß weitere Einzelheiten diesem Band entnommen werden können.

Literatur:

BUCHER, R. 1964:

Neuere Erkenntnisse über das Verhalten des Kaliums im Boden. Arbeiten der DLB, 101, 3 - 27.

BUCHNER, A. 1986:

Die Ermittlung der gezielten optimalen Phosphatdüngung und deren Wirtschaftlichkeit. Herausgeber: Bundesarbeitskreis Düngung e.V Kassel.

BRONNER, H. 1976:

Kenndaten des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffes in Beziehung zum Wachstum der Zuckerrübe. Die Bodenkultur 87, Heft 1, 18 - 59; Heft 2, 120 - 161.

EGNER, H. 1955:

Neue Beiträge zur chemischen Bodenuntersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Lactatmethode. Landwirtschaftl. Forschung, Sonderheft 6, 28 - 32.

FÜRSTENFELD, F. 1985:

Stickstoff- und Kaliumverfügbarkeit in norddeutschen Ackerböden bei Gülleanwendung - gemessen mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF) - und ihre Bedeutung für die Ernährung der Zuckerrübe. Dissertation Universität Gießen.

HARRACH, T.; NÉMETH, K.; WERNER, G. 1982:

Effect of soil properties and soil management on the EUF-N-fractions in different soils under uniform climatic conditions. Plant and soil, 64, 55 - 61.

JUDEL, G.K.; GEBAUER, W.G.; MENGEL, K. 1982:

Einfluß der Löslichkeit verschiedener Phosphatdüngemittel auf die Phosphataufnahme und den Ertrag von Sommerweizen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 145, 296 - 303.

NÉMETH, K. 1976:

Die effektive und potentielle Nährstoffverfügbarkeit im Boden und ihre Bestimmung mit Elektro-Ultrafiltration (EUF). Habilitationsschrift Universität Gießen.

NÉMETH, K. 1982:
Application of electro-ultrafiltration (EUF) in
agricultural production. Plant and Soil, 64, 1 - 138.

NÉMETH, K. 1985:
Recent advances in EUF research. Plant and Soil, 83, 1 - 19.

NÉMETH, K. und WIKLICKY, L. 1982:
Bestimmung pflanzenverfügbarer Stickstoff-Fraktionen im
Boden und Beurteilung des Stickstoffdüngerbedarfes für die
Zuckerrübe mit EUF. Zuckerindustrie 107, 958 - 962.

NÉMETH, K.; HARRACH, T.; KUNZMANN, G. 1985:
Untersuchung von Waldböden unterschiedlicher Trophie mit
EUF. Mitt. Dt. Dodenkd. Gesellsch. 43/II., 987 - 992.

NÉMETH, K.; BARTELS, H.; VOGEL, M. 1986 a:
Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und
organischen Bodenstickstoffes mittels EUF - 1. Teil.
Zuckerindustrie 111, 932 - 937.

NÉMETH, K.; BARTELS, H.; ZIEGLER, K. 1986 b:
Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und
organischen Bodenstickstoffes mittels EUF - 2. Teil.
Zuckerindustrie 111, 1107 - 1111.

NÉMETH, K.; BARTELS, H.; HEUER, C. und MAIER, J. 1987:
Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren anorganischen und
organischen Bodenstickstoffes mittels EUF - 3. Teil.
Zuckerindustrie 112, 223 - 226.

NÉMETH, K.; MAIER, J.; MENGEL, K. 1987:
Gehalte an EUF-extrahierbarem Stickstoff in Ackerböden und
deren Beziehung zu Stickstoffaufnahme und Ertrag von
Weizen, ermittelt in Feldversuchen. Z. Pflanzenernähr.
Bodenk. 150, 369 - 374.

PAAUW, F. van der 1969:
Entwicklung und Verwertung einer neuen Wasserextraktions-
methode für die Bestimmung der pflanzenaufnehmbaren
Phosphorsäure. Landwirtschaftl. Forschung, Sonderheft
23/II, 102 - 109.

RECKE, H. 1984:
Kalium- und Stickstoffverfügbarkeit südniedersächsischer
Standorte - bestimmt mittels Elektro-Ultrafiltration (EUF)
- in Beziehung zu Ertrag und Qualität der Zuckerrübe.
Dissertation Universität Gießen.

REX, M. 1984:
Der Einfluß der Durchwurzelbarkeit des Bodens auf den
Ertrag und den Nährstoffentzug von Getreide. Dissertation
Universität Gießen.

SCHACHTSCHABEL, P. 1951:

Die Methoden zur Bestimmung des Kalkbedarfes im Boden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 54, 134 - 145.

SCHACHTSCHABEL, P. und HEINEMANN, C.G. 1974:

Beziehungen zwischen den Kaliumgehalten in Böden und in jungen Haferpflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 137, 123 - 134.

SCHLICHTING, E. und SUNKEL, R. 1971:

Nährstoffgehalte und Düngewirkung in einigen Böden Württembergs. Landwirtschaftl. Forschung, Sonderheft 24, 170 - 192.

SCHÜLLER, H. 1969:

Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 123, 48 - 63.

SCHWERDT, K. und JESSEN, W. 1961:

Düngungserfolg durch Kali auf hessischen Lößlehmböden. Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft 14, 160 - 167.

SIMONIS, A. und NÉMETH, K. 1985:

Comparative study on EUF and other methods of soil analysis für the determination of available potassium in soils from Northern Greece. Plant and Soil, 83, 93 - 106.

VETTER, H. und FRÜCHTENICHT, K. 1974:

Wege zur Ermittlung des Düngebedarfes mit größerer Treffsicherheit. Landwirtschaftl. Forschung, Sonderheft 31/I, 290 - 320.

WIKLICKY, L. und NÉMETH, K. 1982:

Die anzustrebenden EUF-P-Gehalte im Zuckerrübenbau. Zuckerindustrie 107, 607 - 611.

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Doz. Dr. K. NÉMETH

Institut für Pflanzenernährung
der Universität Gießen
Südanlage 6
D-6300 Gießen

Fraktionierung der Bodennährstoffe mittels EUF

1. Fraktion	2. Fraktion	EUF-Quotient 2. Fr./1. Fr.
0 - 30 min	30 - 35 min	
20 - 25 °C	80 °C	
maximal 200 V	maximal 400 V	
leichtverfügbare (tatsächlich verfügbare) Nährstoffe	Hinweis auf Nährstoffvor- räte	Nährstoff-Nachlieferung Nährstoff-Festlegung

TABELLE 2

Prozentuale Anteil des Amonosäurestickstoffs (AS-N)
an EUF N_{org} in Acker- und Waldböden

Nutzungsart	Horizonte	EUF-N _{org} (mg/100 g)	AS-N ⁻¹ mg kg	% AS-N von EUF-N _{org}
Acker	Ap	2,2	0,68	3,0
Acker	Ap	3,2	0,79	2,4
Acker	Ap	3,8	0,68	1,8
Laubwald	Oh	21,9	31,0	14,2
Kiefer	Oh	24,1	27,0	11,2
Laubwald	Ah	4,8	3,4	7,0
Laubwald	Ah	6,6	3,1	4,6
Kiefer	Ah	4,3	2,6	6,0

TABELLE 3

Aminosäuren im EUF-Filtrat eines Ackerbodens vor und nach
der Hydrolyse mit 6N HCl
(mikrogramm N/kg Boden)

Aminosäuren	vor	und	nach
		der Hydrolyse	
Glutaminsäure	122		947
Asparaginsäure	78		456
Serin	81		298
Glycin	73		726
Alanin	61		477

TABELLE 4

Vergleich zwischen dem heißwasserlöslichen
Stickstoff und den EUF-N_{org}-Gehalten einiger Böden

Böden	Hwl.-N (mg/100 g)	EUF-N _{org} (mg/100 g)	% EUF-N _{org} von Hwl.-N
Schwarzerde	9,0	4,2	46,6
Auenboden	7,0	3,5	47,2
Schwarzerde	6,0	3,1	51,6
Humoser Sand	5,4	2,7	50,0
Parabraunerde	4,2	2,7	64,2

TABELLE 5

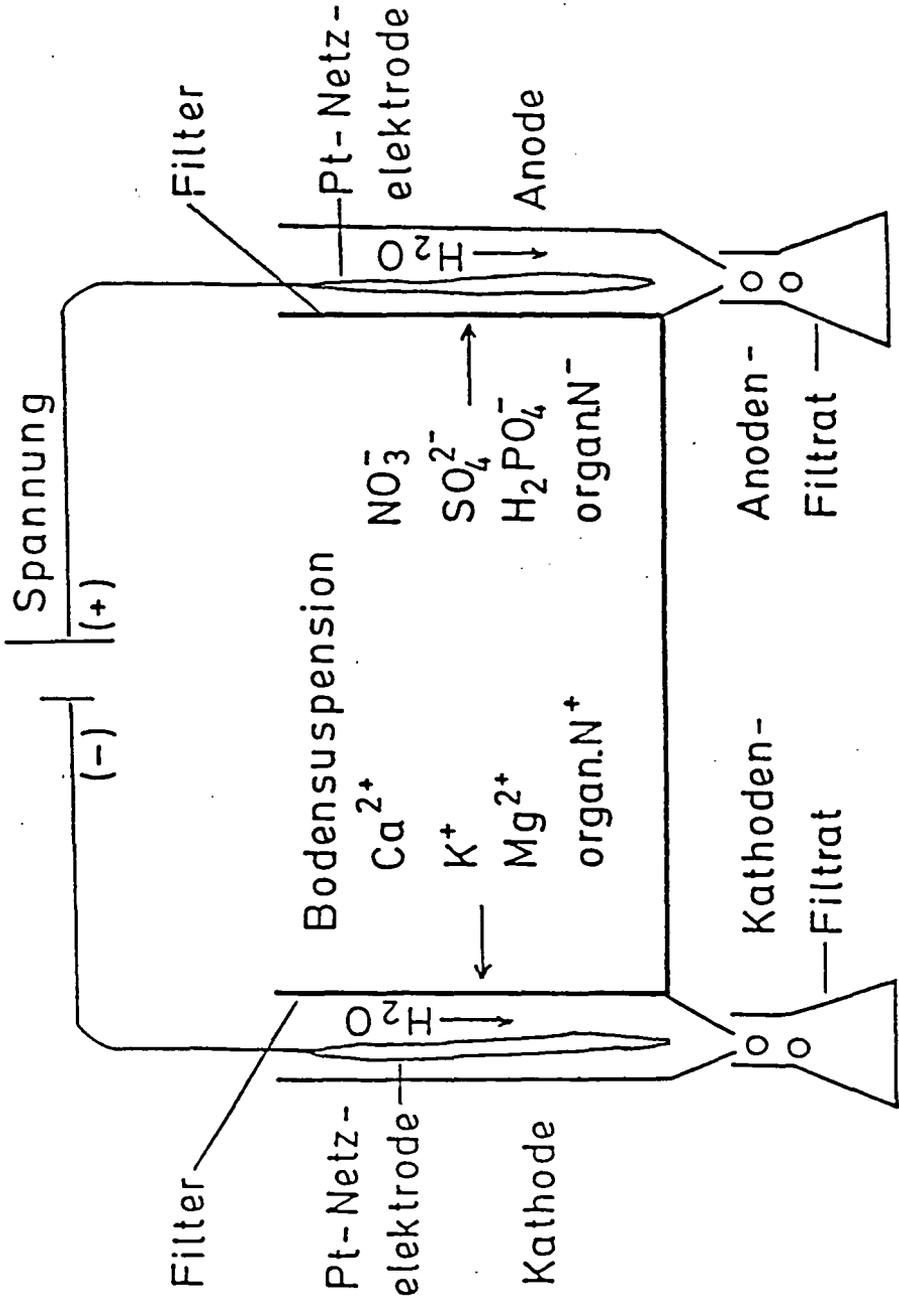
Einfluß der EUF-N^{org}-Quotienten auf den
N-Bedarf der Zuckerrübe bei ähnlich hohen
EUF-N-Gehalten

Standorte	EUF-N (mg/100 g)	EUF-N ^{org} -Q	N-Bedarf (kg/ha)
1	3,6	0,40	140
2	3,5	0,47	120
3	3,9	0,55	80
4	3,7	0,59	80

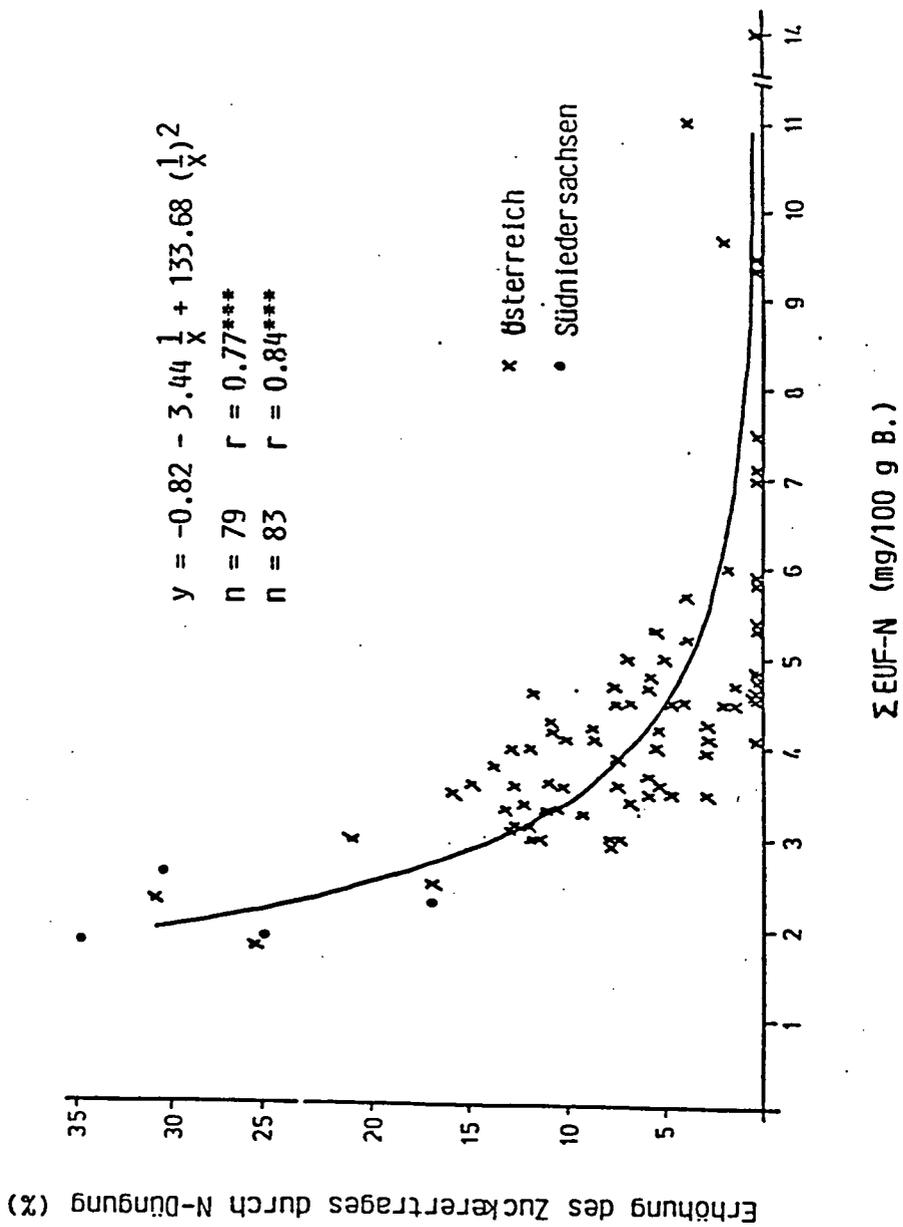
Bereinigter Zuckerertrag von EUF- und Nicht-EUF-Betrieben
1983 bis 1986

Werk	bereinigter Zuckerertrag (dt/ha von Betrieben)											
	1983		1984		1985		1986		mit EUF		ohne EUF	
	mit EUF	ohne EUF	mit EUF	ohne EUF	mit EUF	ohne EUF	mit EUF	ohne EUF	mit EUF	ohne EUF	mit EUF	ohne EUF
Plattling	91,3	84,7	92,9	84,4	98,1	93,2	99,0	90,7				
EUF-Proben	2.300		2.400		3.100		5.400					
Rain	86,8	81,6	77,6	75,8	87,8	84,9	91,3	84,3				
EUF-Proben	1.700		1.700		2.300		5.000					
Regensburg	86,2	76,9	87,1	78,6	97,4	91,0	97,2	88,1				
EUF-Proben	1.600		1.800		2.200		3.600					

Prinzip des EUF-Verfahrens



Beziehung zwischen Σ EUf-N (Probenahme im Sommer vor Zuckerrübe) und der Erhöhung des Zuckerertrages durch N-Düngung



Beziehung zwischen dem N-Düngerbedarf nach EUF und der Erhöhung des bereinigten Zuckerertrages durch N-Düngung (30 Standorte)

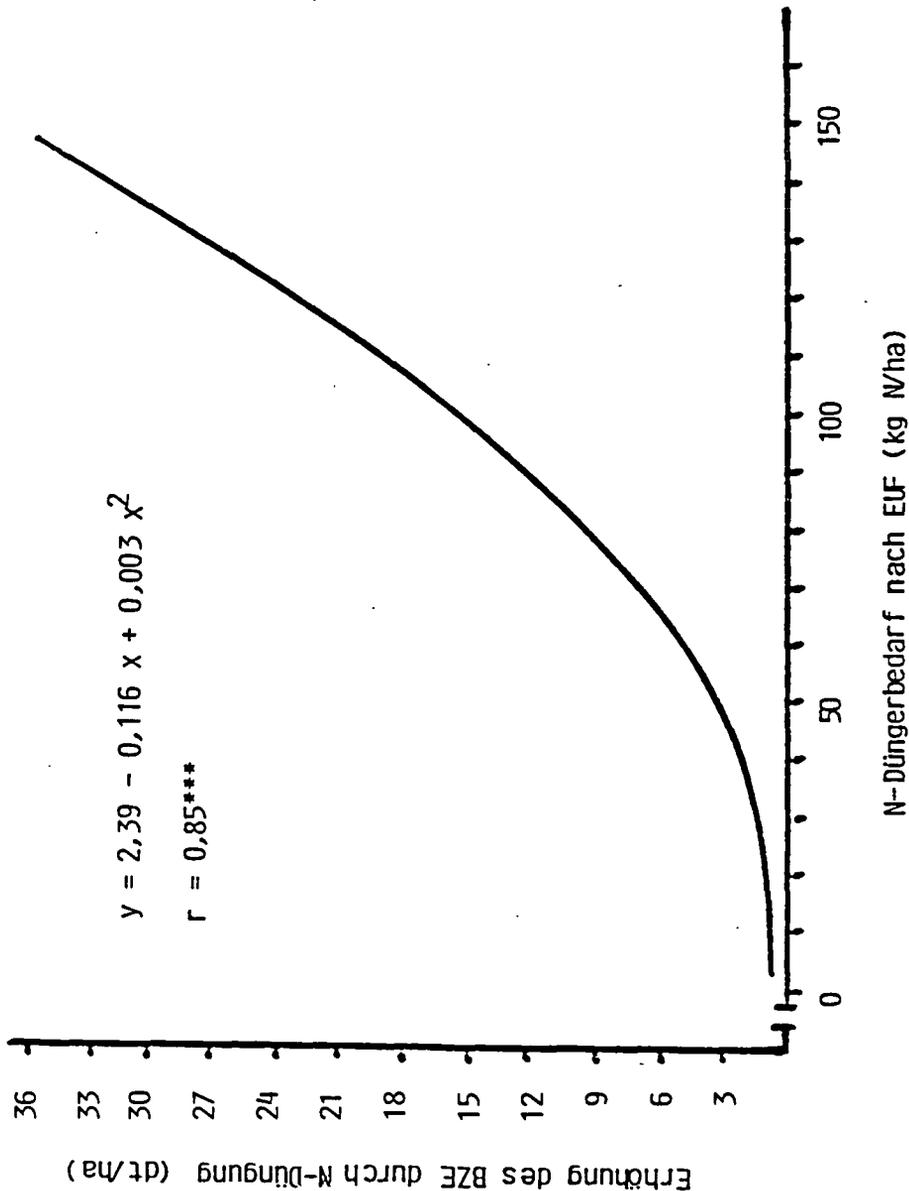
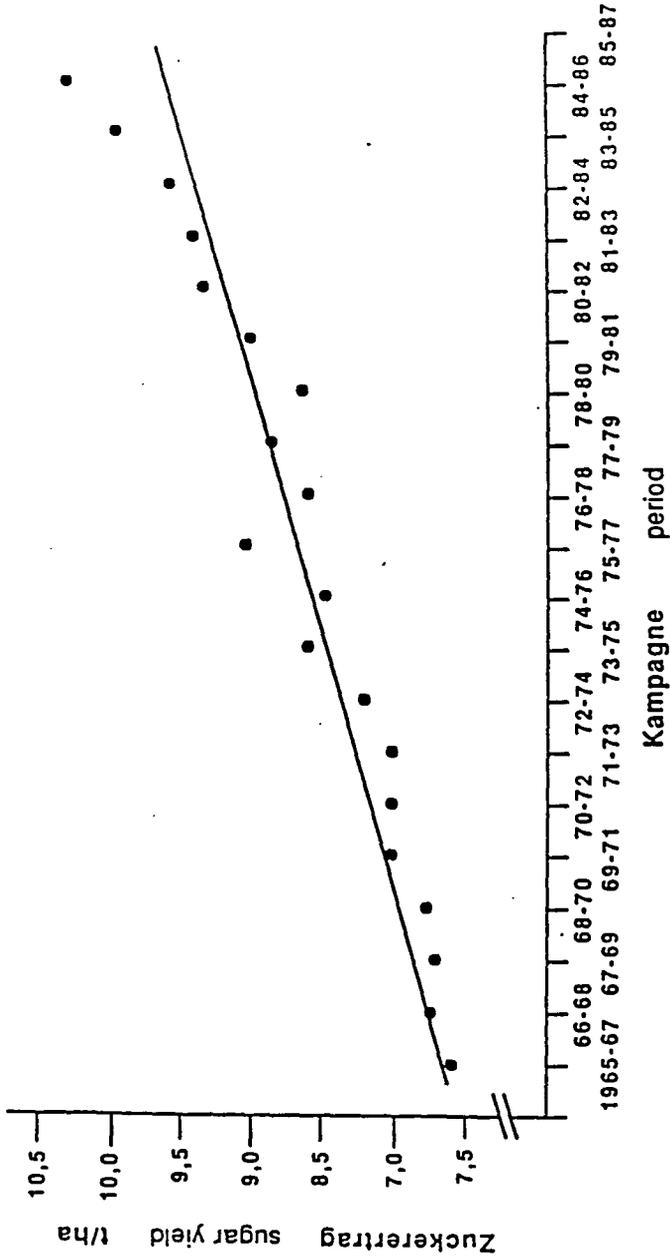


Abb. 4

ZUCKERERTRAG in Tulln von 1965 - 1986 (3-jähr. gleitender Mittelwert)
SUGAR YIELD from 1965 - 1986 (3 year moving averages)



Physikalische Methoden in der landwirtschaftlichen
Bodenforschung

von E. Klaghofer

Zusammenfassung

Es wird versucht, den aktuellen Stand der bodenphysikalischen Methoden in der landwirtschaftlichen Bodenforschung darzustellen. Dabei wird im wesentlichen auf den Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt und auf die mechanischen Kräfte, die auf den Boden einwirken sowie auf die Behandlung der Stoffverlagerung im Boden eingegangen. Die vorgestellten Methoden und Arbeiten können als Beispiel dafür gelten, daß die moderne bodenphysikalische Forschung zur Lösung bodenkundlicher und pflanzenbaulicher sowie kulturtechnischer Fragen viel beitragen kann.

Summary

In this paper the soil physical methods used in the field of agricultural soil research are very comprehensive presented; especially the water-gas-heat interactions as well the soil mechanical forces acting in the soil and the displacement of solutions. These methods and results showed at least, that the applied soil physics can solve very well existing problems in the soil-plant atmosphere.

1. Einleitung

In der landwirtschaftlichen Bodenforschung werden physikalische Methoden dazu verwendet, diejenigen Zusammenhänge zu erfassen und zu beschreiben, die eine optimale Bodennutzung bei der Erhaltung einer langfristigen Bodengesundheit gestatten. Leider wurde lange Zeit der Erhebung bodenphysikalischer Daten und der Erforschung der bodenphysikalischen Prozesse weniger Aufmerksamkeit gewidmet als z. B. den chemischen Vorgängen im Boden. Auch heute werden in Österreich routinemäßig nur vereinzelt bodenphysikalische Untersuchungen durchgeführt, so daß im Gegensatz zu den bodenchemischen wenige bodenphysikalische Daten über die landwirtschaftlich genutzten Böden Österreichs vorliegen. Dies ist um so bedauerlicher, da schon Martin Ewald WOLLNY (1846 - 1901), Professor an der Technischen Universität München, durch seine sehr exakten Forschungen nachwies, "daß die Lebensbedingungen der Pflanze nicht alleine in der günstigen chemischen Zusammensetzung des Bodens zu suchen seien, sondern daß auch das Gefüge des Bodens und dessen Verhalten zu Wasser, Wärme und Luft gleichgewichtige Fruchtbarkeitsfaktoren sind" (CZIBULKA, 1931). Auch BAVER (1956) bedauert in seinem Buch "Soil Physics" die Tatsache, daß von WOLLNY's umfangreichen und klassischen Experimenten heute kaum mehr Notiz genommen wird, obwohl viele neuere Untersuchungsergebnisse in Wahrheit nur die Bestätigung der von ihm bereits veröffentlichten Untersuchungsbefunden darstellen.

Pionierarbeiten auf dem Sektor der bodenphysikalischen Forschung im landwirtschaftlichen Bereich sind in Österreich mit den Namen FISCHER, KUBIENA, DONAT, RAMSAUER, KASTANEK untrennbar verbunden. Der zunehmenden Bedeutung der Bodenphysik wurde auch dadurch Rechnung getragen, daß 1971 eine eigene Lehrveranstaltung "Bodenphysik" als Pflichtvorlesung für Studenten der Studienrichtung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur und am Institut für Wasserwirtschaft der selben Universität eine eigene Abteilung für Hydraulik und Bodenphysik eingerichtet wurde.

Die Notwendigkeit sich mit den physikalischen Zusammenhängen im Boden zu befassen, wurde in den letzten Jahren deshalb immer größer, da die Betrachtung vieler chemischer Untersuchungsbefunde ohne eine ausreichende Kenntnis der physikalischen Zusammenhänge im Boden sehr unbefriedigende Ergebnisse zeigte. So ist z. B. die Umsetzung von Düngerempfehlungen in Relation zum Ertrag ohne bodenphysikalische Kenndaten nicht mehr zielführend und in manchen Produktionsgebieten kam es zu Wachstumseinschränkungen durch die Veränderung von bodenphysikalischen Eigenschaften. Die Lösung vieler Umweltprobleme benötigt ebenfalls grundlegende bodenphysikalische Kenntnisse, wie z. B. die Behandlung der Fragen über eine Grundwasserkontamination durch Stoffverlagerungen aus dem Boden.

2. Aufgaben und Methoden der Bodenphysik

Die physikalischen Anforderungen an einen landwirtschaftlich optimal zu nutzenden Boden bei Erhaltung einer langfristigen Bodenfruchtbarkeit sind einerseits durch die Ansprüche der

wachsenden Pflanze an den Standort gegeben, andererseits jedoch auch durch die Eigenschaften des Bodens als Transport- und Puffersystem. Die Bodenphysik ist demnach jene Wissenschaft von den physikalischen Eigenschaften, von den physikalischen Zuständen und Zustandsänderungen des Bodens, die durch Transportprozesse ausgelöst werden. Für das physikalische Verhalten des porösen Bodens ist dabei von wesentlicher Bedeutung, daß der Boden selbst kein abgeschlossenes, sondern ein offenes System ist, d. h. er steht mit der Atmosphäre und dem Untergrund in vielfältiger Wechselwirkung. Diese Wechselwirkungen sind bedingt durch die Aufnahme, Verteilung und Abgabe von Wasser, Luft und Wärme, aber auch für mechanische Kräfte, die auf den Boden einwirken. Die Bodenphysik beschränkt sich dabei nicht nur auf die quantitative Beschreibung des augenblicklichen physikalischen Zustandes des Bodens, sondern will die Gesetzmäßigkeiten der im Boden ablaufenden physikalischen Prozesse kausalanalytisch erfassen und mathematisch beschreiben. Allgemein gesprochen sind dies die physikalischen Prozesse des Stoff- und Energietransportes sowie die Übertragung von Kräften im Boden. Diese funktionale Betrachtung der Geschehnisse ermöglicht es dann auch unter wechselnden Außen- und Bodenbedingungen die Änderungen im physikalischen Zustand zu erklären und im voraus abschätzen bzw. berechnen zu können.

3. Bestimmung der Ansprüche und Einflüsse der Pflanzen im Hinblick auf physikalische Bodeneigenschaften

Im nachfolgenden wird versucht, nur jene Bodeneigenschaften sowie deren Erfassung zu beschreiben, die im Hinblick auf eine landwirtschaftliche Bodennutzung einen wesentlichen Einfluß ausüben.

3.1 Die Bodentextur

Diese einfache physikalische Grundgröße wird routinemäßig schon sehr lange in vielen Laboratorien Österreichs bestimmt; dies deshalb, da nur "gestörte" Bodenproben zu deren Bestimmung notwendig sind. Die Bodentextur wird meist nach DIN 19683, Blatt 2 bestimmt.

3.2 Das Bodengefüge

Neben der morphologischen Gefügeansprache die meist im Felde erfolgt (z. B. nach DIN 19682, Blatt 10) kommt der Kennzeichnung des Bodengefüges nach der Lagerungsdichte, der Porosität und der Porengrößenverteilung große Bedeutung zu; lassen sich doch aus diesen Daten die Kenngrößen zum Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt und der mechanischen Belastung der Böden ableiten. In der Regel bestehen Böden aus Mineralien und organischen Stoffen, die sich in bestimmter räumlicher Anordnung zueinander befinden und so das Bodengefüge mit dem Hohlraumsystem prägen. Dieses Hohlraumsystem besteht aus Poren unterschiedlicher Größe und Form, die mit Bodenlösung und Luft gefüllt sind. Die Lagerungsdichte, Porosität und Verteilung der Porengrößen werden an "ungestörten" Bodenproben in Stechzylindern und mit der "pF-Apparatur" (DIN 19683, Blatt 5) ermittelt.

3.2.1 Bestimmung der Lagerungsdichte zur Feststellung von Bodenverdichtungen

Die Lagerungsdichte, bestimmt an "ungestörten" Zylinderproben (z. B. DIN 19683, Blatt 12), läßt eine Abschätzungsmöglichkeit der Auswirkung von mechanischen Belastungen (Verdichtungen) des Bodens zu. Dazu muß man die "natürliche" Lagerungsdichte und

die Porosität des nichtbelasteten Bodens kennen. HARTGE und SOMMER (1979) gehen zur Abschätzung der Bodenverdichtung davon aus, daß in mechanisch unbelasteten Böden die Porenziffer einer Bodenschichte in einer bestimmten Bodentiefe eine Funktion der natürlichen Auflast ist, die sich aus dem Gewicht der gesamt über der betrachteten Bodenschicht lastenden Bodenschichte ergibt. Trägt man die Porenziffer ξ als Funktion der Auflast auf, ergeben sich "natürliche Drucksetzungskurven" die im Fall einer Erstverdichtung (also ohne mechanische Zusatzbelastung) bei logarithmischen Maßstab für die Auflast "Gerade" darstellen. Abweichungen von dieser "Geraden" kennzeichnen durch mechanische Auflast erzeugte Verdichtungen (KLAGHOFER, 1982). Aktuelle Verdichtungszustände im Boden können auch durch Porenraumanalysen, Bestimmung der Wasserleitfähigkeitsbeiwerte und der Belüftungskapazitäten noch weiter analysiert werden. Zur Frage der Bodenverdichtung sei noch erwähnt, daß mit Hilfe von Drucksonden zwar relative Bodenverdichtungen bei gleichen Wassergehalten im Boden einfach bestimmbar sind, daß jedoch die, unter Feldbedingungen durch dynamische Belastungen sich einstellenden Bodenverdichtungen, mit ihren Konsequenzen für die physikalischen Eigenschaften des Bodens und des Wachstums der Pflanzen aufgrund von bodenmechanischen Theorien noch nicht voraussagbar sind.

Ein weiteres für die landwirtschaftliche Bodenforschung wesentliches Arbeitsgebiet sind die Fragen der optimalen Bodenbearbeitung im Zusammenhang mit einer entsprechenden Gefügeausbildung und einem optimalen Pflanzenwachstum. Der optimale Bodenbearbeitungszeitpunkt kann zwar relativ leicht durch den Wassergehalt bei der Ausrollgrenze (ÖNORM B 4411) bestimmt werden, welche Bodenbearbeitungsgeräte jedoch einen optimal strukturierten Bodenaufbau erzeugen, ist nicht so leicht anzugeben und bedarf noch weiterer grundlegender Untersuchungen.

3.3 Der Wasserhaushalt

In der bodenphysikalischen Forschung haben Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Böden deshalb immer eine wesentliche Bedeutung eingenommen, da:

- a) vom Bodenwasser alle anderen physikalischen Eigenschaften des Bodens berührt werden,
- b) Wasser für das pflanzliche Leben und die Pflanzenproduktion essentiell ist und
- c) der Boden der Spender des Grundwassers und damit ein für die Menschen unentbehrliches Gut ist.

Für die Wasserspeicherung und -leitung und damit für die Verteilerrolle des Bodens für das Wasser im Boden sind zwei hydraulische Funktionen wichtig: die Wasseranteil-Druckpotentialbeziehung (pF-Kurve) und die Leitfähigkeit-Druckpotential- bzw. Wasseranteilsbeziehung. Die Wasserleitfähigkeit des Bodens kann im gesättigten Zustand an "ungestörten" Bodenproben bzw. durch verschiedene Feldmethoden (Versickerungsmethoden, Bohrlochmethode nach HOOGHOUT-ERNST etc.) bestimmt werden; im ungesättigten Bereich ist dies jedoch weitaus schwieriger. Die Wasserleitfähigkeit im ungesättigten Bereich kann aus kontinuierlichen Wassergehalts- und Wasserdruckpotentialbestimmungen im Felde oder im Labor z. B. durch eine Durchflußmethode an "ungestörten" Proben erhoben werden. Sind diese beiden Funktionen bekannt, wird die Wasserhaushaltsgleichung an einem Standort mit seinen Ausgabegrößen Evapotranspiration und Tiefensickerung bilanzierbar und auch die Wasseraufnahme durch die Wurzel aus einzelnen Bodenschichten berechenbar (STENITZER, 1980). Bei einer optimalen Nährstoffversorgung der Böden wird das Bodenwasser zum ertragsentscheidenden Faktor. Mit Simulationsmodellen können

nach ihrer Eichung die einzelnen Glieder der Bodenwasserhaushaltsgleichung berechnet werden. Mit diesen Modellen können z. B. auch Angaben über die Beregnungsbedürftigkeit, über den Einfluß des Grundwassers auf die Wasserversorgung der Pflanzen, über die Tiefenbearbeitbarkeit der Böden, über die Grundwasserneu- und Staunässebildung gemacht werden. Weiters besteht auch die Möglichkeit der Simulation des Ertrages bei Kenntnis der mikrometeorologischen sowie der bodenphysikalisch relevanten Parameter.

3.4 Der Lufthaushalt

In Böden werden von den Mikroorganismen, den Tieren und den Pflanzenwurzeln Sauerstoff verbraucht und Kohlendioxyd produziert. Dieser lebensnotwendige Gasaustausch zwischen Boden und Atmosphäre erfolgt zum größeren Anteil auf dem Wege der Diffusion. Quantitativ läßt sich die Diffusion eines Gases mit Hilfe des 1. und 2. FICK'schen Diffusionsgesetzes beschreiben (KLAGHOFER, 1978). Dazu müssen die Diffusionskoeffizienten der betreffenden Gase im Boden in Abhängigkeit vom luftgefüllten Porenvolumen an ungestörten Bodenproben im Labor bestimmt werden. Aus Untersuchungen über die Abhängigkeit des Diffusionskoeffizienten vom luftgefüllten Porenvolumen kann der pflanzenphysiologisch notwendig luftgefüllte Porenraum genauer abgeleitet werden, Untersuchungen die meist jedoch nur forschungsmäßig durchgeführt werden. Diese Untersuchungen bringen aber einen besseren Einblick in die Porenkontinuität und geben Aufschluß über den Luftanteil, der für ein optimales Pflanzenwachstum notwendig ist. Die Bestimmung der Luftdurchlässigkeit als relatives Maß des Gasaustausches bzw. als Größe zur Kennzeichnung einer Bodenverdichtung kann mit Hilfe eines Gasometers nach KMOCH und HANUS (1965) bestimmt werden.

3.5 Der Wärmehaushalt

Wärmehaushaltsuntersuchungen sind deshalb von wesentlicher Bedeutung, da alle chemischen und biologischen Reaktionen temperaturabhängig verlaufen. Die thermischen Bodeneigenschaften sind die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmekapazität, wobei die Wärmebewegung im Boden von der Energiebilanz an der Bodenoberfläche und den thermischen Bodeneigenschaften abhängt. Die Wärmekapazität ist das Produkt aus der spezifischen Wärme und der Dichte des Bodens. Die spezifische Wärme wird mit Hilfe eines Mischkalorimeters bestimmt und schwankt in einem Bereich von 0,8 bis 1,3 $\text{J.g}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (HILLEL, 1980). Die Wärmeleitfähigkeit kann z. B. mit einer "Nadelmethode" bestimmt werden (GOLOVANOV, 1969).

3.6 Der Stofftransport

Durch zivilisatorische Effekte werden die Böden im zunehmenden Maße mit Abfallstoffen, Chemikalien und Schwermetallen usw. befrachtet. Dünger, Biozide, schädliche Salze etc. wandern in suspendierter oder gelöster Form mit dem Infiltrationswasser in den Boden ein. Im Boden werden diese Stoffe aus der "Bodenlösung" zum Teil mechanisch oder chemisch ausgefällt, fixiert, absorbiert, mikrobiell ab- oder umgebaut oder sie unterliegen keinerlei Wechselwirkungen wie z. B. das Anion Chlorid. Mit dem Problem des Stofftransportes in landwirtschaftlich genutzten Böden beschäftigt sich die bodenphysikalische Forschung schon seit geraumer Zeit. Dabei ist die Beschreibung des Transportes der gelösten Stoffe, die nicht mit der Bodenmatrix in chemischer und anderer Wechselwirkung treten relativ einfach. Stoffverlagerungen, bei denen Wechselwirkungen mit dem Boden zu erwarten sind, sind überaus kompliziert. Um die Simulation eines Stofftransportes durchführen zu können, werden finite Differenzenverfahren benutzt, wobei vorher die

Parameterermittlung und Kalibrierung mit Hilfe von Geländemeßdaten erfolgen muß. Die Bestimmung der Transportmechanismen gelöster Stoffe in porösen Medien, wie Konvektion, molekulare Diffusion und hydrodynamische Dispersion (DUYNISVELD, 1983) benötigt einen sehr hohen Untersuchungsaufwand und erfolgt meist im Labor (BEESE, 1982). Bisher scheinen mit vereinfachenden Annahmen Simulationsergebnisse mit experimentellen Befunden in Einklang gebracht werden zu können. Wesentliche Arbeiten sind jedoch hier noch zu leisten, und zwar in einer intensiven Zusammenarbeit mit Bodenchemie, Pflanzenbau, Mikrobiologie etc.

3.7 Die Erosion

Bodenverlagerungen durch Wind oder Wasser beeinflussen wesentlich das Pflanzenwachstum. Die landwirtschaftliche Bodenforschung muß sich daher auch mit der Bestimmung der bodenphysikalischen Faktoren, die die Erosion bedingen, beschäftigen. Wesentliche Schwerpunkte bei diesen Untersuchungen sind dabei die Erhebung der Transportmechanismen, die zu einem Bodenabtrag durch fließendes Wasser oder Wind führen, sowie die Erforschung der Maßnahmen, die eine Erosion verhindern bzw. reduzieren.

4. Die Interpretation der Meßwerte

Neben der Bestimmung der physikalischen Daten im Labor kommt der Umlegung von bodenphysikalischen Einzeldaten auf das Gesamtuntersuchungsgebiet große Bedeutung zu. Da zur Beschreibung eines komplexen Bodensystems durch einzelne aus dem Bodenverband entnommene Bodenproben geringen Volumens die Frage ihrer Repräsentativität bzw. zur Übertragung der Einzelmeßwerte auf größere Bodeneinheiten die Kenntnis der

Häufigkeitsverteilung dieser Parameter notwendig ist, muß zu deren exakten Bestimmung stets eine größere Anzahl von Bodenproben entnommen werden. HARTGE (1963) wies hin, daß z. B. die Meßwerte der Wasserleitfähigkeit selten einer Normalverteilung gehorchen und bei einer statistischen Verrechnung eine Probenanzahl von mind. 10 Wiederholungen notwendig ist. NIELSEN et al. (1973) beschäftigen sich ebenfalls mit diesem Problem und zeigten Wege der statistischen Behandlung von Einzelmeßwerten in bezug auf ihre flächenhafte Umlegung auf. Der durch die große Anzahl von Einzelproben hohe Untersuchungsaufwand kann dadurch verringert werden, daß die Probennahmestellen aufgrund einer exakten flächenhaften Feldkartierung (nach makromorphologischen Gesichtspunkten) so angelegt werden, daß sie für größere Bodeneinheiten repräsentativ sind und mehrere Wiederholungen dadurch nicht mehr notwendig werden. Diese Problematik bedarf jedoch noch weiterer zukünftiger Forschungen und sie ist sicher eines der aktuellen und zukünftigen bodenphysikalischen Forschungsgebiete.

6. Literaturverzeichnis

- BAVER, L.D., 1956: Soil Physics. - 3. Aufl., Verlag John Wiley & Sons, New York.
- BEESE, F., 1982: Gesetzmäßigkeiten beim Transport gelöster Stoffe im Boden. - Beiträge zur Hydrologie, Sonderheft 4, 267 - 300.
- CZIBULKA, F.K., 1931: Die geschichtliche Entwicklung der Bodenuntersuchung und deren kritische Betrachtung. - Diss. Techn. Univ. München.
- DIN 19682, 1973: Felduntersuchungen
Blatt 10: Bestimmung des Makrogefüges. -
Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DIN 19683, 1973: Physikalische Laboruntersuchungen
Blatt 2: Bestimmung der Krongrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat.
Blatt 5: Bestimmung der Saugspannung des Bodenwassers.
Blatt 12: Bestimmung der Rohdichte. -
Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- DUYNISVELD, W.H.M., 1983: Entwicklung von Simulationsmodellen für den Transport von gelösten Stoffen in wasserungesättigte Böden und Lockersedimenten. - Umweltbundesamt, Text 17/83.
- GOLOVANOV, A.I., 1969: Measuring thermal conductivity of soils under laboratory conditions. - ICW, Techn. Bull. 63, Wageningen.
- HARTGE, K. H., 1963: Bodenkundliche Auswertungsmöglichkeiten der Permeabilitätswerte bei Messung an Stechzylinderproben. - Z. f. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, 103, 197 - 209.
- HARTGE, K. H. u. C. SOMMER, 1979: Bodenverdichtungen und ihre Beurteilung. - Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 20, 257 - 268.
- HILLEL, D., 1980: Fundamentals of Soil Physics. - Academic Press, New York.
- KLAGHOFER, E., 1978: Stoffbewegung im Boden. - Mitt. der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, Heft 20, 23 - 29.

- KLAGHOFER, E., 1982: Zur Frage der Regelung des Bodenwasserhaushaltes schwerer Böden. - Mitt. 28 der Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Petzenkirchen.
- KMOCH, H.G. u. H. HANUS, 1965: Verreinfachte Methodik und Auswertung der Permeabilitätsmessung des Bodens für Luft. - Z. f. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde, 111, 1 - 10.
- NIELSEN, D.R., BIGGAR, J.W. u. K.T. ERH, 1973: Spatial variability of field measured soil water properties. - Hilgardia, 42, 215 - 259.
- ÖNORM B 4411, 1974: Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen), Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze. - Österr. Normungsinstitut, Wien.
- STENITZER, E., 1980: Ein numerisches Modell zur Simulation des Wasser- und Salzhaushaltes sowie des Pflanzenertrages eines Standortes. - Diss. TU Berlin.

Anschrift des Verfassers:

Univ.-Doz. Dipl.-Ing.
Dr. E. KLAGHOFER

Bundesanstalt für Kulturtechnik
und Bodenwasserhaushalt
A-3252 PETZENKIRCHEN

DIE BODENANALYSE IM RAHMEN DER BODENGENETIK UND -TAXONOMIE

KURZFASSUNG

von

Winfried E.H.Blum

Zusammenfassung

Nur wenige Eigenschaften kennzeichnen die Entwicklung von Böden und können daher als diagnostische Bodenmerkmale für die Einordnung von Böden in systematische Kategorien herangezogen werden.

Es sind dies vor allem solche Eigenschaften, die sich langfristig in gleichsinniger Richtung entwickeln und in der Regel nicht reversibel sind, wie z.B. die Zerkleinerung der Gesteine durch Verwitterung und die dadurch entstehenden Texturunterschiede innerhalb und zwischen Böden, die Veränderung von Primärmineralen sowie die Entstehung von pedogenen Oxiden und Tonmineralen.

Humusgehalte sowie biologische und biochemische Bodeneigenschaften, einschließlich wasserlöslicher und leichtlöslicher Elementfraktionen sind schon deshalb für die bodengenetiche und systematische Interpretation kaum verwertbar, weil sie durch menschliche Tätigkeit, insbesondere durch Immissionen, vielfach beeinflusst sind und daher über die langfristige Bodenentwicklung keine Aussagen erlauben.

Summary

SOIL ANALYSIS FOR THE SOIL TAXONOMY AND THE ASSESSMENT OF SOIL FORMATION.

Only a few soil characteristics are of diagnostic value for the assessment of soil development and can be used therefore as diagnostic characteristics for ordering soils into systematic categories.

Such characteristics are those which develop in one direction during long time periods. They are normally not reversible as for example the break down of rock parent material through weathering, forming different textures within soils and between different soil types as well as the alteration of primary minerals and the development of pedogenetic oxides and clay minerals.

Soil organic matter as well as biological and biochemical soil characteristics, including water soluble and easily extractable amounts of elements are without diagnostic value for soil genesis and systematics because they are influenced by human activities, especially by immissions. Therefore they show no diagnostic value for long lasting processes of soil formation.

Einleitung und Abgrenzung der Fragestellung

Die Bodengenetik beschäftigt sich mit der Genese, d.h. der Entstehung von Böden und hierbei insbesondere mit denjenigen Eigenschaften von Böden, die Informationen über ihre Entstehung vermitteln. Daher liegt hier, im Gegensatz zur bisherigen Betrachtung des Bodens als land- und forstwirtschaftlicher Pflanzenstandort eine völlig andere Fragestellung vor.

Die Bodentaxonomie beschäftigt sich mit der Art der Einordnung von Böden in systematische Kategorien (=Taxa, Einzähl Taxon). Hierbei

wird unterstellt, daß die derart geordneten Einzelglieder unmittelbar miteinander verwandt sind. Die Bodensystematik ist daher folgerichtig eine Ordnung von Böden.

Da die älteren europäischen Bodenklassifikationssysteme, z.B. das österreichische System von 1969 weder diagnostische Horizonte noch diagnostische Bodeneigenschaften für taxonomische Zwecke analytisch definiert haben, im Gegensatz zum revidierten System der Bundesrepublik Deutschland von 1985 bzw. zur US-SOIL TAXONOMY von 1975 oder zur revidierten FAO-UNESCO Bodenkarten-Legende von 1985, erscheint es in zunehmendem Maße notwendig, schärfere Abgrenzungen für die Einordnung von Böden in systematische Kategorien mittels bodeneigener Kriterien (diagnostischen Horizonten und diagnostischen Eigenschaften) durchzuführen, die, soweit möglich, gleichzeitig die Entstehung der Böden reflektieren.

In diesem Sinne soll daher im folgenden geprüft werden, welche physikalischen, chemischen und mineralogischen und biologisch/chemischen Eigenschaften für diese Zielsetzung ermittelt werden sollen.

Untersuchungsansätze und ihre Aussagefähigkeit

Die Entwicklung von Böden ist ein langfristiger Prozeß, der in Mitteleuropa seit ca. 14000-16000 Jahren (seit Ende der letzten Eiszeit) andauert.

Hierbei kann im wesentlichen unterstellt werden, daß die Bodenentwicklung "monogenetisch" verlaufen ist, obwohl in diesem Zeitraum aufgrund der bekannten Klimaabläufe unterschiedliche Verwitterungsintensitäten angenommen werden müssen. - Ganz im Gegensatz hierzu verlief die Bodenentwicklung in tropischen und subtropischen Regionen "polygenetisch", da angenommen werden darf, daß in diesen Regionen sehr unterschiedliche Bodenentwicklungsphasen bestanden.

Hieraus kann abgeleitet werden, daß es für bodengenetische und taxonomische Zwecke notwendig ist, Bodeneigenschaften zu definieren und zu analysieren, die derartige langfristige (monogenetische oder polygenetische) Entwicklungen kennzeichnen. - Im folgenden soll nur die Bodenanalytik für den mitteleuropäischen Raum diskutiert werden.

In Tabelle 1 ist der Versuch gemacht worden, eine Reihe physikalischer, chemischer, mineralogischer und biologisch/biochemischer Bodenmerkmale, die häufig für bodengenetische Zielsetzungen analysiert werden, im Hinblick auf ihre Interpretationsmöglichkeit und Aussagefähigkeit zu diskutieren.

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß zwischen einer Interpretation vertikal verteilter Bodeneigenschaften (Bodenhorizonte), d.h. von oben nach unten oder von unten nach oben, innerhalb eines Bodens und einem Vergleich zwischen verschiedenen Böden (Bodenhorizonten) aus sehr ähnlichem/gleichem Ausgangsgestein oder aber aus unterschiedlichen Ausgangsgesteinen unterschieden werden kann. Es zeigt sich hierbei, daß z.B. bezüglich der Bodenmächtigkeit und der Textur durchaus wichtige Hinweise auf die Entstehung der Böden gegeben sind, wenn diese vertikal im Boden oder horizontal zwischen Böden aus gleichen Ausgangsgesteinen verglichen werden. Ein Vergleich dieser Parameter bei Böden, die aus unterschiedlichen Gesteinen, z.B. Granit und Löß, hervorgegangen sind, erscheint hingegen nicht möglich. Als weitere physikalische Bodeneigenschaft ist die Struktur nur bei horizontalem Vergleich zwischen Böden aus gleichem Ausgangsgestein ein interessantes Merkmal, da durch menschliche Tätigkeit vielfältige Strukturbeeinflussungen möglich sind. Dagegen ist die Farbe von Böden ein wesentliches genetisches bzw. taxonomisches Kriterium, da sie eindeutig die Entwicklung von Oxiden und Huminstoffen in Böden kennzeichnet und hiermit Hinweise auf Alterstellung und Art der Entwicklung von Böden erlaubt.

**Tabelle 1: EIGENSCHAFTEN VON MINERALBÖDEN, DIE FÜR DIE GENE-
TISCHE INTERPRETATION UND TAXONOMIE AUSSAGEFÄHIG SIND**

Bodeneigenschaften Interpretation der Art u. Intensität der
Bodenentwicklung

vertikal im Boden: horizontal zw. Böden:

gleiches Gestein: versch. Gestein:

physikalische:

Boden-/Horizontmächtigkeit	+	+	+
Textur	+	+	0
Struktur	-	+	-
Farbe	+	+	+

chemische:

pH-Wert	-	-	0
Carbonat-/Salzgehalt	+	+	-
C _t org.	+	0	0
KAK, S-, T-Wert (Feinbod./Ton)	+	-	-

mineralogische:

pedogene Oxide (Fe, Al, Mn)	+	+	-
Gesamtminerale	+	+	+
Tonminerale	+	+	+

biol./biochemische: 0 0 0

- + = uneingeschränkte Aussage
 - = Aussage nur unter besonderen Bedingungen, z.B. bei Böden unter Wald oder natürlichen Vegetationsdecken, Böden mit gleicher Bodenbearbeitung etc.
 0 = keine Aussage

Bei den chemischen Bodeneigenschaften zeigt sich, daß unter bestimmten Bedingungen der Carbonat- und Salzgehalt durchaus Hinweise auf Bodenentwicklungen erlaubt, ebenso der organische Kohlenstoffgesamtgehalt.

Von größter Aussagefähigkeit sind jedoch die pedogenen Oxide des Eisens, Aluminiums und Mangans, insbesondere bei einem vertikalen Vergleich von Bodenhorizonten innerhalb von Böden oder horizontal zwischen Böden aus gleichem Ausgangsgestein. Darüber hinaus ist die Beurteilung des Gesamtmineralbestandes und der Tonminerale bei der Frage nach der Bodenentstehung und der systematischen Stellung von Böden von großer Bedeutung.

Biologische bzw. biochemische Bodenparameter sind deshalb wenig aussagekräftig, weil sie durch die menschliche Tätigkeit und daraus resultierende direkte bzw. indirekte Einflußnahme (z.B. Immissionen) stark beeinflußt werden.

Anschrift des Autors: O. Univ.-Professor Dipl.-Ing.
Dr. Winfried E. H. Blum
Institut für Bodenforschung
und Baugeologie
Universität für Bodenkultur
Gregor-Mendel-Straße 33
1180 Wien

Walter - Kubiena - Preis

1. Der Walter-Kubiena-Preis bezweckt
 - die Förderung von Studierenden für fachliche Arbeiten auf dem Gebiet der Bodenkunde
 - die Anerkennung einer geleisteten Arbeit.
2. Zu diesem Zwecke führt die ÖBG alljährliche eine **Beurteilung und Prämierung** von bodenkundlichen Originalarbeiten durch. In Frage kommen Diplomarbeiten, Dissertationen und gleichwertige Arbeiten.
3. Es können nur Arbeiten von Studierenden (a) an österreichischen Universitäten, Hochschulen; b) an Höheren Lehranstalten) in unbezahlter Stellung eingereicht werden.
4. Die Geldmittel für den Fonds werden durch einen jährlichen Beitrag der ÖBG in der Höhe von S 5.000,- bereitgestellt.
5. Arbeiten müssen von den Universitäten, Hochschulen und Höheren Lehranstalten angenommen sein und sind in zweifacher Ausführung an die Beurteilungskommission der ÖBG bis zum **31. August** einzureichen.
6. Zur Beurteilung der Arbeiten wird vom Vorstand der ÖBG eine Beurteilungskommission von höchstens 3 Mitgliedern bestellt.
7. Der gesamte Vorstand entscheidet auf Antrag der Beurteilungskommission über die Prämierung guter Arbeiten.
8. Für die prämierte Arbeit wird dem Verfasser eine **Anerkennungsurkunde** der ÖBG ausgestellt.
9. Autoren und Titel von prämierten Nachwuchsarbeiten werden in den Mitteilungen der ÖBG veröffentlicht.
10. Ein Exemplar der Arbeit bleibt bei der ÖBG.

Mitteilungen
der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft

- Heft 1 1955, 46 Seiten
JANIK, V.: Das Beispiel Ottensheim - ein Beitrag zur Bodenkartierung
FRANZ, H.: Zur Kenntnis der "Steppenböden" im pannonischen Klimagebiet Österreichs
SCHILLER, H.: Der Einfluß gestaffelter Jauchegaben auf einem Acker- und Wiesenboden
- Heft 2 1956, 40 Seiten
WAGNER, H.: Die Bewertung der Wasserstufen in der Bodenschätzung des Grünlandes
SCHMIDT, J.: Die Tonminerale burgenländischer Flugsandböden
EHRENDORFER, K.: Schnellmethoden zur näherungsweise Bestimmung der Bodenfeuchte
- Heft 3 1959, 44 Seiten
Fink, J.: Leitlinien der quartärgeologischen und pedologischen Entwicklung am südöstlichen Alpenrand
JAKLITSCH, L.: Zur Untersuchung oststeirischer Böden, insbesondere jener auf Terrassen des Ritscheintales
LUMBE-MALLONITZ, Ch.: Untersuchungen über den Zurundungsgrad der Quarzkörner in verschiedenen Sedimenten und Böden Österreichs
- Heft 4 1960, 58 Seiten
REICHART, J.: Untersuchungen über die Wirkung intensiver Gülle-
düngung auf Dauergrünland
JANIK, V. und H. SCHILLER: Charakterisierung typischer Bodenprofile der Gjaidalm
FINK, J.: Bemerkungen zur Bodenkarte Niederösterreichs
- Heft 5 1961, 55 Seiten
BARBIER, S., H. FRANZ, J. GUSENLEITNER, K. LIEBSCHER und H. SCHILLER: Untersuchungen über die Auswirkungen langjährigen Gemüsebaues auf den Boden bei mangelnder animalischer Düngung
NESTROY, O.: Jahreszyklische Schwankungen des Wassergehaltes in zwei niederösterreichischen Lößböden
- Heft 6 1961, 189 Seiten
Exkursionen durch Österreich:
FRANZ, H.: Die Böden Österreichs
BLÜMEL, F.: Das Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und technische Bodenkunde in Petzenkirchen, NÖ und die Versuchsanlage in Purgstall
FINK, J.: Der östliche Teil des nördlichen Alpenvorlandes
FRANZ, H., G. HUSZ, H. KÜPPER, G. FRASL und W. LOUB: Das Neusiedlerseebecken
FINK, J.: Die Ortsgemeinde Moosbrunn als Beispiel einer Kartierungsgemeinde

FRANZ, H., F. SOLAR, G. FRASL und H. MAYR: Die Hochalpenexkursion
FINK, J.: Die Südostabdachung der Alpen
JANEKOVIĆ, G.: Über das Alter und den Bildungsprozeß von Pseudogley aus pleistozänem Staublehm am südwestlichen Rand des panninischen Beckens

- Heft 7 1962, 46 Seiten
WEIDSCHACHER, K.: Die Böden am Westrande des niederösterreichischen Weinviertels südlich Retz
- Heft 8 1964, 72 Seiten
SOLAR, F.: Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau
- Heft 9 1965, 72 Seiten
MIECZKOWSKI, Z.: Untersuchungen über die Bodenzerstörung im niederösterreichischen Weinviertel
- Heft 10 1966, 61 Seiten
GHOBADIAN, A.: Salz- und Steppenböden des Seewinkels (Burgenland, Österreich); Charakteristik, Meliorationsergebnisse und bodenwirtschaftliche Aspekte
- Heft 11 1967, 88 Seiten
MESSINER, H.: Pflanzenbauliche Beurteilung chemischer Bodenanalysen
MÜLLER, H.J.: Der Wasserhaushalt eines Pseudogleyes mit und ohne künstliche Beregnung
NESTROY, O.: Bodenphysikalische Untersuchungen an einem Tschernosem in Wilfersdorf (NÖ)
SCHILLER, H. und E. LENGAUER: Über den Kationenbelag und den Spurenelementgehalt in den Böden der IDV-Serie
SOLAR, F.: Phosphatformen und Phosphatumwandlungsdynamik in Anmoorschwarzerden
- Heft 12 1968, 79 Seiten
KRAPPENBAUER, A.: Waldernährung und Problematik der Walddüngung
GLATZEL, G.: Probleme der Beurteilung der Ernährungssituation von Fichte auf Dolomitböden
Symposium über die Untersuchung von Waldböden
- Heft 13 1969, 95 Seiten
FINK, J.: Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs
- Heft 14 1970, 136 Seiten
SOLTANI-TABA, Ch.: Vergleich einiger Pararendsinaprofile des Steinfeldes im südlichen Inneralpinen Wiener Becken
KAZAI-MOGADHAM, M.: Vergleich von Böden des Tschernosemtypus mit Auböden im südlichen Inneralpinen Wiener Becken
- Heft 15 1971, 139 Seiten
Exkursion der ÖBG am 16. u. 17. 10. 1970 in den Raum "Kärntner Becken nördlich und südlich der Drau"
WILFINGER, H.: Das Klima des südöstlichen Klagenfurter Beckens
EISENHUT, M., H. MÜLLER, E. PRIESSNITZ, H. ROTH, A. SCHROM und F. SOLAR: Die Böden

- Heft 16** 1972, 110 Seiten
RIEDMÜLLER, G.: Zur Anwendung von Bodenkunde und Tonmineralogie
in der baugelogeologischen Praxis
Exkursion der ÖBG am 8. u. 9. 9. 1972 in den Pasterzenraum und
in den Pinzgau
BURGER, R. und H. FRANZ: Die Böden der Pasterzenlandschaft im
Glocknergebiet
SOLAR, F.: Die Böden des Raumes Großglockner - Zell am See
SCHNETZINGER, K.: Oberflächenvergleitung im Raum Zell am See
- Heft 17** 1973, 123 Seiten
GRUBER, P.: Zusammenhänge zwischen Klimaunterschieden, Boden-
chemismus und Bodenwasserhaushalt auf Lockersedimenten des
Wiener Raumes
- Heft 18/** 1977, 102 Seiten, vergriffen
19 Exkursion der ÖBG 1971: Böden des inneralpinen Trockengebietes
in den Räumen Oberes Inntal und Mittleres Ötztal
SOLAR, F., W. ROTTER, H. WILFINGER und H. HEUBERGER: Böden des
inneralpinen Trockengebietes in den Räumen Oberes Inntal und
Mittleres Ötztal
Exkursion der ÖBG 1976:
FRANZ, H., A. BERNHAUSER, H. MÜLLER und P. NELHIEBEL: Beiträge
zur Kenntnis der Bodenlandschaften des Nordburgenlandes
- Heft 20** 1978, 86 Seiten
MRAZ, K.: Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Erforschung von
Walddumusformen unter besonderer Berücksichtigung der Grund-
prinzipien der Systematik
KLAGHOFER, E.: Stoffbewegung im Boden
RIEDL, H.: Die Bodentemperaturverhältnisse an Südrand des Tennen-
gebirges - ein Beitrag zum UNESCO-Programm Man and Biosphere
- Heft 21** 1979, 109 Seiten
SOLAR, F.: Die Talböden, ein allgemeiner Überblick
BLÜMEL, F.: Regelung des Bodenwasserhaushaltes in Talungen
HOLZER, K.: Praktische Durchführung von Meliorationen in der
Oststeiermark
SCHROM, A.: Standortskundliche und pflanzenbauliche Probleme
der Talböden bei intensiver Ackernutzung durch Maisbau
BLASL, S.: Probleme der Maisernährung auf drainierten Talböden
ORNIG, F.: Möglichkeiten der Schaden-Ersatz-Berechnung
STEFANOVITS, O.: Umweltschutz im Spiegel der Bodenkunde
ČERNÝ, V.: Einfluß der Bodenbearbeitung auf Boden und Ertrag
unter den Standortbedingungen in der ČSSR
- Heft 22** 1980, 112 Seiten
DUDAL, R.: Landreserven der Erde. Eine Weltbodenkarte
BLUM, W.E.H.: System Boden - Pflanze und bodenkundliche Forschung
KASTANEK, F. et al.: Zur Nomenklatur der Bodenphysik, Teil 1
NESTROY, O.: Die Aktivitäten der Gesellschaft ab ihrer Gründung
bis 1979
- Heft 23** 1981, 183 Seiten
SOLAR, F.: In memoriam Julius Fink

SOLAR, F.: In memoriam Bernhard Ramsauer
GUSENLEITNER, J.: Würdigung von Hofrat Dipl.-Ing. Dr. Herwig Schiller
SCHLEIFER, H.: Dir. Dipl.-Ing. Dr. Franz Blümel zum 65. Geburtstag
GESSL, A.: Würdigung von Ministerialrat Dipl.-Ing. Adolf Stecker
BLUM, W.E.H. und M. SALI-BAZZE: Zur Entwicklung und Altersstellung
von Böden der Donau- und Marchauen
KLUG-PÜMPEL, B.: Phytomasse und Primärproduktion alpiner Pflanzen-
gesellschaften in den Hohen Tauern
STELZER, F.: Bioklimatologie der Gebirge unter besonderer Berück-
sichtigung des Exkursionsraumes 1981
Kurzfassungen der Vorträge

Heft 24 1982, 116 Seiten
Aktuelle Probleme der landwirtschaftlichen Forschung, 8. Seminar:
Stoffumsatz am Standort
SOLAR, F.: Eröffnung
BECK, W.: Einleitungsreferat
ULRICH, B.: Stoffumsatz im Ökosystem - theoretische Grundlagen
und praktische Schlußfolgerungen
BENECKE, P. und F. BEESE: Bodenstruktur und Stoffumsatz - Methodik
der Erfassung bodenphysikalischer Parameter
MÜLLER, W.: Bodenbeurteilung und Bodenmelioration vor dem Hinter-
grund moderner physikochemischer und bodenkundlicher Erkennt-
nisse
Diskussion

Heft 25 1982, 173 Seiten
RIEDL, H.: Die Prägekraft des sozioökonomischen Strukturwandels
auf Morpho- und Pedosphäre des subalpinen Lebensraumes
GUSENLEITNER, J., K. AICHBERGER und W. NIMMERSVOLL: Die Wirkung
steigender Kadmiumgaben auf das Wachstum von Italienischem
Raygras (*Lolium multiflorum*) in Abhängigkeit von der Bodenart
LICHTENEGER, E.: Der Wärme- und Wasserhaushalt - ertragsbildende
Faktoren in Abhängigkeit von der Seehöhe, dargestellt aus
pflanzensoziologischer Sicht
Kurzfassungen der Vorträge

Heft 26 1983, 165 Seiten
Exkursionsführer Marchfeld; Thema: Böden und Standorte des March-
feldes
NESTROY, O.: Zur Geologie und Morphologie des Marchfeldes
HARLFINGER, O.: Das Klima des Marchfeldes
STELZER, F.: Standortsbeurteilung nach der Niederschlagswirksamkeit
STECKER, A.: Die Böden des Marchfeldes
MADER, K.: Die forstliche Standortskartierung der österreichischen
Donauauen
Profilbeschreibungen
KLAGHOFER, E.: Bodenphysikalische Kenndaten
NESTROY, O.: Vergleichende Betrachtungen über die bodenphy-
sikalischen Kenndaten der Exkursionsprofile und Profile von
Weikendorf und Schönfeld
BLUM, W.E.H. und H.W. MÜLLER: Mineralogische und bodenchemische
Kennwerte ausgewählter Böden des Marchfeldes
BLUM, W.E.H.: Zum Nährstoffversorgungsgrad ausgewählter Böden
im Raume des Mühlviertels

LOUB, W.: Zur Mikrobiologie der Böden des Marchfeldes
Kartenbeilagen

Heft 27 1983, 154 Seiten

MÜCKENHAUSEN, E.: Neuere Entwicklung in der Bodensystematik der
Bundesrepublik Deutschland
VERGINIS, S. und O. NESTROY: Standortkundliche Untersuchungen
auf dem Nordwest- und Zentral-Peloponnes
LOUB, W. und G. HAYBACH: Bodenbiologische Untersuchungen an
Böden aus Lockersedimenten
Kurzfassungen der Vorträge

Heft 28 1984, 145 Seiten

Exkursionsführer Mühlviertel; Thema: Böden des Mühlviertels
KOHL, H.: Zur Geologie und Morphologie des Mühlviertels
STELZER, F.: Die klimatischen Verhältnisse des westlichen Mühl-
viertels
SCHNETZINGER, K.: Die Böden des oberen Mühlviertels
GRUBHOFFER, G.: Die Boden- und Nutzungsverhältnisse des Mühlviertels
DUNZENDORFER, W.: Pflanzensoziologie des oberen Mühlviertels
BLASL, S.: Begrenzende Ertragsfaktoren im Ackerbau des Mühl-
und Waldviertels
MAIERHOFER, E.: Die pflanzliche Produktion des Mühlviertels
Profilbeschreibungen
KLAGHOFER, E.: Bodenphysikalische Kenndaten der Böden im Ex-
kursionsbereich der ÖBG-1983
BLUM, W.E.H. und H.W. MÜLLER: Mineralogische und bodenchemische
Kennwerte ausgewählter Böden des oberen Mühlviertels
BLUM, W.E.H.: Zum Nährstoffversorgungsgrad ausgewählter Böden
des oberen Mühlviertels

Heft 29 1985, 193 Seiten

Verwertung von Siedlungsabfällen aus der Sicht der Landwirtschaft
unter besonderer Berücksichtigung der Eignung landwirtschaft-
licher Böden; Seminar
BECK, W., W.E.H. BLUM und D. KRIECHBAUM: Begrüßung und Eröffnung
HOFFMANN, G.: Bodenkundliche und pflanzenbauliche Aspekte beim
Einsatz von Siedlungsabfällen in der Landwirtschaft
KÖCHL, A.: Nutz- und Schädigung von Klärschlamm
EDER, G., M. KÖCK und G. SCHECHTNER: Klärschlammhygiene im Grün-
land
AICHBERGER, K. und G. HOFER: Chemische Untersuchungen von Sied-
lungsabfällen
MÜLLER, H.: Müllkompost - Gütekriterien (ÖNORM S 2022) und Anwendung
MAYR, E.: Modell Oberösterreich - Klärschlammfall und Entsorgung
MAIERHOFER, E.: Erwartungen der Landwirtschaft an die Qualität
der Siedlungsabfälle und Forderungen an den Gesetzgeber
NELHIEBEL, P.: Einsatzmöglichkeiten von Bodenkarten bei der Aus-
bringung von Siedlungsabfällen
WIMMER, J.: Aufbau und bisherige Ergebnisse des Klärschlamm-
und Müllkompostversuches St. Florian
ÖHLINGER, R.: Bodenzymatische Untersuchungen beim Versuch St. Florian
Generaldiskussion
Unterlagen zur Exkursion

- Heft 30** 1985, 185 Seiten
BLÜMEL, F.: Sektionschef i.R. Hofrat Dipl.-Ing. Ernst Güntschl †
GUSENLEITNER, L.: In memoriam Hofrat Dipl.-Ing. Hans Schüller
HUBER, J.: Vergleichende Untersuchungen von Böden mit unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen hinsichtlich Wasser-, Nährstoff-, Humushaushalt und Biologie
FOISSNER, W., T. PEER und H. ADAM: Pedologische und protozoologische Untersuchungen einiger Böden des Tullnerfeldes (NÖ)
WALTER, R.: Die Viruskontamination des Bodens und Methoden ihrer Kontrolle
Kurzfassungen der Vorträge
- Heft 31** 1986, 68 Seiten
Arbeitsgruppe Waldbodenuntersuchung der ÖBG
BLUM, W.E.H., O.H. DANNEBERG, G. GLATZEL, H. GRALL, W. KILIAN, F. MUTSCH und D. STÖR: Waldbodenuntersuchung; Geländeaufnahme - Probennahme - Analyse. Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich
- Heft 32** 1986, 209 Seiten
Bodeninventur aus ökologischer Sicht; Symposium am 11. u. 12. 4. 1985
DANNEBERG, O.H.: Kartierung landwirtschaftlich genutzter Böden in Österreich
WITTMANN, O.: Kartierung und Bodeninventur in Bayern
KILIAN, W.: Forstliche Standortsklassifikation und Kartierung in Österreich aus internationaler Sicht
FOERST, K.: Forstliche Standortserkundung in Bayern
GESSL, A.: Die österreichische Bodenschätzung
GRAF, W.: Der Boden in Naturraumpotentialkarten
LAMP, J.: Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Boden-Informationssysteme
NESTROY, O.: Bericht über die abschließende Podiumsdiskussion
- Heft 33** 1986, 383 Seiten
Aktuelle Probleme der landwirtschaftlichen Forschung, Seminar am 5. u. 6. 6. 1986; Thema: Die Anwendung enzymatischer und mikrobiologischer Methoden in der Bodenanalyse
BECK, W. und O. NESTROY: Einleitung und Eröffnung
SCHINNER, F.: Die Bedeutung der Mikroorganismen und Enzyme im Boden
HOFFMANN, G.: Bodenenzyme als Charakteristika der biologischen Aktivität und von Stoffumsätzen im Boden
BECK, Th.: Aussagekraft und Bedeutung enzymatischer und mikrobiologischer Methoden bei der Charakterisierung des Bodenlebens von landwirtschaftlichen Böden
HOLZ, F.: Automatisierte photometrische Durchflußmethoden zur Bestimmung der Aktivität von Bodenenzymen - ihre Anwendung und einige Ergebnisse
KANDELER, E.: Der Einsatz enzymatischer Methoden am Beispiel eines Stroh- und Klärschlammdüngungsversuches
ÖHLINGER, R.: Der Einsatz enzymatischer Methoden am Beispiel eines Grünlanddüngungsversuches
Postervorträge
Diskussion

Heft 34 1987, 80 Seiten

DUCHAUFOUR, Ph.: Stand und Entwicklung der internationalen Bodensystematik aus französischer Sicht

MANCINI, F.: Stand der bodenkundlichen Forschung in Italien
Kurzfassung der Vorträge

HEFT 35 1987, 80 Seiten

Bodenschutz-Symposium

STICHER, H.: Bodenschutz als integrale nationale Aufgabe - Möglichkeiten und Grenzen

BECK, W.: Entwicklungsstand der Bodenschutzkonzeption in Österreich

EISENHUT, M.: Das Steiermärkische Bodenschutzgesetz

1. Sonderheft der Mitteilungen der ÖBG (1978, 92 Seiten)
Exkursionsführer südöstliches Alpenvorland;
Thema: Landformung und Bodenbildung auf Talböden des südöstlichen Alpenvorlandes (Standorts- und Meliorationsprobleme)
2. Sonderheft (1979, 126 Seiten)
Exkursionsführer Ost- und Weststeiermark;
Thema: Obstbau in der Steiermark - Standorte und Probleme
3. Sonderheft (1981, 199 Seiten)
Exkursionsführer durch das Glocknergebiet und die Karnischen Alpen in Kärnten;
Thema: Böden und Standorte in den Zentral- und Südalpen - Nutzungsprobleme des montanen und subalpinen Grünlandes

Die Hefte können über die Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, Gregor-Mendel-Straße 33, 1180 Wien, bezogen werden.

Der Autor trägt für den Inhalt seines Beitrages die Verantwortung.