

Die Feststellung der Düngebedürftigkeit des Kulturbodens von den ersten Anfängen des Ackerbaues bis zur Gegenwart.

Von Paul Röttgen.

Die Erkenntnis des Menschen, daß es fruchtbare und unfruchtbare Böden gibt, düngebedürftige und solche, die einer Düngung nicht bedürfen, ist beinahe so alt, wie der Ackerbau selbst. N. Jarilow berichtet in einer sehr lesenswerten Abhandlung „Die Keime der Pedologie in der antiken Welt“ über die Arbeit eines allerdings unbekannteren Naturphilosophen des 6. u. 5. Jahrh. v. Chr., in der sich bemerkenswerte Äußerungen finden, die den damaligen Stand der Meinungen treffend wiedergeben, und die ihrem Inhalt nach an die Naturphilosophie des Diogenes von Apollonia erinnern. Die wichtigsten Stellen dieser Schrift seien in kurzer Zusammenfassung hier wiedergegeben: 1. Die Erde ist der Magen der Pflanzen; diese bekommen aus ihr die Nahrung in einer für ihre Ernährung schon ganz fertigen Form. 2. Die Erde besitzt eine unzählige Menge von Kräften, die die Pflanzen ernähren. 3. Fruchtbarkeit und Unfruchtbarkeit eines Bodens, ebenso wie die geographische Verbreitung der Pflanzen, werden durch Vorhandensein, Überfluß, Mangel oder völliges Fehlen der für diese oder jene Pflanze nötigen Feuchtigkeit bestimmt. 4. Bodenbeschaffenheiten, die die Fruchtbarkeit des Bodens bedingen, wechseln leicht bei der geringsten Entfernung.

Auch aus der großen Anzahl der Werke des Aristoteles (384—322) sind uns einige Sätze überliefert, in denen bereits auf die Fähigkeit des Bodens, Nährstoffe festzuhalten (Sorptionsvermögen) hingewiesen wird. Lange hat man geglaubt, dieser Bemerkung zufolge sei Aristoteles die Entdeckung des so wichtigen Festhaltevermögens für Nähr-

stoffe zuzuschreiben. Diese Annahme hat sich aber als irrig erwiesen: nach v. Lipmann und H. Diels stammt die Lehre, Süßwasser sei nichts anderes, als durch die Erde filtriertes Seewasser, aus einer alten, volkstümlichen, schon bei Thales vorkommenden Theorie. Aristoteles hat richtig erkannt, daß die Nahrung der Pflanze nicht nur aus einem einzigen Nährstoff besteht, sondern aus verschiedenen Bestandteilen; seine Annahme jedoch, daß die Pflanzennahrung des Bodens stets so zusammengesetzt sei, wie es den natürlichen Ansprüchen der Pflanze entspricht, ist zwar irrig, aber verständlich. Sie dürfte mit der überall zu machenden Beobachtung im Zusammenhang stehen, daß sich die Pflanzen den Verhältnissen ihres Standorts weitgehend anzupassen vermögen.

In neuester Zeit hat uns M. Schnebel auf Grund von Papyrusforschungen eine Schilderung der landwirtschaftlichen Verhältnisse Ägyptens zur Zeit der Eroberung durch Alexander den Großen bis zur Eroberung durch die Araber (644 n. Chr.) gegeben. Wir entnehmen seinen Ausführungen, daß auch damals schon, genau so wie es auch heute noch ganz allgemein dort geschieht, das schlechte Land mit Nil-schlamm und Überresten von Hausruinen verbessert wurde.

In der römischen Literatur begegnen wir zum erstenmal bei Columella, der sich bereits mit den Schwierigkeiten bodenkundlicher Forschung auseinandersetzt, Vorschlägen, die Ackerkrume zu untersuchen und zu prüfen, um einer Erschöpfung des Bodens vorzubeugen. Zwar kannten die Römer noch keine Apparate, den Boden zu untersuchen, und ihr Wissen vom Boden entbehrte noch gänzlich der chemischen und geologisch-geognostischen Grundlage, aber sie prüften doch schon den Boden mit den Fingern (Fingerprobe) und ordneten die Erdarten nach ihren Bestandteilen in einer heute noch üblichen Weise. Um die Mitte des 1. Jahrh. n. Chr. finden wir bei römischen Schriftstellern eine ziemlich gute Anordnung der Böden nach äußern Merkmalen, hier und da auch schon einen Hinweis auf diagnostische Hilfsmittel sowie manches Anzeichen für gewisse Bodeneigenschaften, die uns beweisen, wie gut die stark ackerbautreibenden Römer zu beobachten verstanden. Es ist schwer verständlich, daß es sich bei den Überlieferungen aus jener Zeit nur um Bruchstücke aus umfassenden Werken handelt, und daß keiner der bedeutenden Schriftsteller sich ausschließlich mit bodenkundlichen Fragen befaßt hat. Vielleicht ist dies oder jenes Werk verlorengegangen oder der Vergessenheit anheimgefallen. Spärlich sind auch die Bemerkungen römischer Schriftsteller über Ackerbau und

Boden der Germanen; fast alle uns von da überkommenen Nachrichten sind nicht bodenkundlicher Natur, sondern nur für die betriebswirtschaftliche und siedlungskundliche Forschung von Wichtigkeit.

Zwischen diesen kärglichen Überlieferungen und der neuen Zeit klappt eine weite Lücke, wie ganz allgemein in den ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung die Quelle unserer naturwissenschaftlichen Erkenntnis nur spärlich fließt. Im Zeitalter der Alchimie lagen die Dinge nicht viel besser. Wesentliche Fortschritte sind auch in dieser Zeit, von einigen seltenen Ausnahmen abgesehen, in der Bodenkunde nicht zu verzeichnen. Aberglaube und Geheimwissenschaft jener Zeit beherrschten das Feld.

Im darauffolgenden Zeitalter der sogenannten Iatrochemie läßt sich ein langsamer aber stetiger Fortschritt in der Entwicklung der Naturwissenschaften und auch der Bodenkunde beobachten. Kennzeichnet ist diese höchst anziehende Zeit dadurch, daß man dazu überging, theoretische Erwägungen durch experimentelle Untersuchungen zu klären. Nach F. Giesecke war es vor allem B. v. Palissy, der auf das Vorhandensein von pflanzenlöslichen, d. h. aufnehmbaren Salzen im Boden hinwies und vorschlug, diese in Form von Stallmist oder durch Verbrennen des Stroh dem Acker zurückzugeben.

Diese Erkenntnis bedeutete einen Bruch mit der bisherigen Anschauung von der Unererschöpflichkeit des Nährstoffvorrats im Boden und veranlaßte den Chemiker J. B. van Helmont (1577—1644) zu den ersten Vegetationsversuchen, die allerdings zu der falschen Annahme Veranlassung gaben, daß die Gewichtszunahme der Pflanze lediglich auf das Wasser zurückzuführen sei. Zeitgenossen Helmonts, wie Robert Boyle und Joachim Jungius, kamen zu denselben Schlüssen; der letztere war es auch, der den Stoffwechsel der Pflanzen in großen Umrißen erkannte. Während des Dreißigjährigen Krieges sind keinerlei Fortschritte zu verzeichnen. Es kam während dieser Zeit in allen Naturwissenschaften zu einem fast völligen Stillstand der Forschertätigkeit im weiteren Ausbau fruchtbarer Gedanken. Nach Beendigung des Krieges setzte mit der Erholung von Handel und Gewerbe allmählich auch die wissenschaftliche Tätigkeit wieder ein. Den Arbeiten J. K. Laubers (1650) verdanken wir die Erkenntnis, daß der Salpeter einer der wichtigsten, für das Pflanzenleben unentbehrlichen Nährstoffe ist, eine Erkenntnis, die eine Reihe von weiteren wichtigen Arbeiten auslöste. Im Jahr 1682 erschien unter dem Titel „Georgica curiosa“ eine Veröffentlichung des Freiherrn W. S. v. Söberg, in der Vorschriften zur Ermittlung der Fruchtbarkeitsveranlagung des Bo-

dens gegeben werden, z. B. das Schlämmen des Erdreichs und Kosten des Schlammwassers, ob es süß oder sauer und widrig schmecke. In diese Zeit fällt auch die erste Anregung, die gewonnenen Zahlen und Beobachtungen in Karten mit besonderen Farben und Zeichen einzutragen, Vorschläge, die der englische Arzt Martin Lister der Royal Society in London unterbreitete.

Um die Wende des 17. Jahrhunderts geht es dann mit Riesenschritten vorwärts. Vom Pfalzgrafen Franz Philipp und von J. B. von Rohr (1688—1742) wurde eine neue Bodenklassifikation und eine auf petrographischer Grundlage aufgebaute Nomenklatur des Bodens geschaffen, die sich vor allem auf Böden mit Gesteinsfragmenten bezog, wichtige Arbeiten, die in ihren Grundzügen auch heute noch das Fundament unseres Wissens auf diesem Sondergebiet bedeuten. Mit dem Zeitalter der Phlogisten-Theorie und der Einführung induktiver Forschungsmethoden, besonders aber mit dem Übergang zu ihrer quantitativen Auswertung läßt sich allmählich auf dem Gebiet der Bodenchemie, das uns hier besonders angeht, eng verknüpft mit wichtigen Entdeckungen in der Chemie, mancher Fortschritt erkennen. Während H. Boerhaave (1668—1738) die noch etwas primitiv anmutende Ansicht vertrat, daß es die „Säfte der Erde seien“, die den Pflanzen als Nahrung dienen, spricht im Jahre 1730 Jethro Full die Vermutung aus, daß es „die ganz feinen, durch die Einwirkung der Feuchtigkeit gelockerten Bodenteilchen“ sind, die als die eigentliche Nahrung der Pflanze bezeichnet werden müßten.

Ein völliger Umschwung der Auffassungen setzte mit der Forscher-tätigkeit des Schweden Walerius (1709—1785) ein, der in Upsala lebte und neben Medizin eine Reihe von Naturwissenschaften lehrte. Walerius kam auf Grund seiner chemischen Untersuchungen, die sich auf Analysen von Pflanzenaschen bezogen, was die Nährstoffaufnahme der Pflanzen anbelangt, allerdings zu falschen Schlußfolgerungen. Seine Auffassung von der Entstehung des Humus aber, den Eigenschaften des Tons usw. ist für die ganze spätere Entwicklung bahnbrechend geworden. Die Bedeutung der chemischen Analyse des Bodens wurde auch von seinen teilweise noch etwas rückständigen Zeitgenossen anerkannt; so schrieb Otto v. Münchhausen (1770): „Walerius untersucht in seinen Grundsätzen des Ackerbaus die Erdarten chemisch, und ohne chemische Untersuchung kommen wir nicht auf den rechten Grund.“ In der Folge wurden unter dem Einfluß des großen Chemikers Berzelius (1779—1842) und des Begründers der Mineralanalyse

M. S. Klaproth, eines Vertreters der sogenannten Hausväter, chemische Untersuchungen von Mineralböden immer zahlreicher durchgeführt; doch beschränkte sich die Untersuchung wesentlich auf die Ermittlung von Ton, Sand, Thonerde und Glimmer. Die in dieser Zeit in den ersten Anfängen stehende Chemie des Bodens wurde durch A. W. Lampadius mächtig gefördert. O. Nolte, der über die Arbeiten dieses Chemikers unterrichtet, hat uns hierüber Einzelheiten mitgeteilt, aus denen hervorgeht, daß Lampadius sich besonders mit der chemischen Untersuchung von Ackerböden befaßte, um die zur Bildung der Pflanzen nötigen Bestandteile kennenzulernen. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Analysen von Kube hingewiesen, der zur Bestimmung der mineralischen Teile den Boden mit Wasser auslaugte und den Rückstand verglühte. Hierin haben wir wohl den ersten Versuch zu erblicken, die leichtlöslichen und damit für die Pflanzen ohne weiteres zugänglichen Nährstoffe zu erfassen. In ähnlicher Weise arbeitete auch Lampadius, indem er sich eines heißen, wässerigen Auszugs bediente und die Untersuchungsergebnisse durch Pflanzenanalysen ergänzte, wobei erwähnt sein möge, daß es ihm gelang, in den Laub- und Holzaschen beträchtliche Mengen von Schwefelsäure nachzuweisen.

Waren die bisherigen Analysen überwiegend auf die Bestimmung der mineralischen Bodenbestandteile gerichtet, so trat in dieser Beziehung ein gänzlicher Umschwung ein, als man anfing, den Hauptwert auf die Erforschung der organischen Bestandteile des Bodens zu richten, angeregt durch die analytischen Fortschritte der organischen Chemie. Es kam allmählich zur Entwicklung der sogenannten „Humustheorie“, die sich lange erhielt und die immerhin vielversprechenden Ansätze der „Mineraltheorie“ zeitweilig zurückdrängte. Nach dieser Theorie ist der Humus entweder unmittelbar als Pflanzennahrung aufzufassen, oder aber die sich aus ihm durch Verwesung entwickelnde Kohlensäure dient den Pflanzen zur Nahrung, die sie durch die Wurzeln entnehmen und in den Blättern verwerten können. Während mit Beginn des 19. Jahrhunderts fast alle Naturwissenschaften auf analytischem Gebiet rasche Fortschritte machte, stockte die Bodenuntersuchung gänzlich. Hierüber äußert sich Gieseler folgendermaßen: „Weder die Geologie noch die Landwirtschaft haben sich um die planmäßige Untersuchung der Ackererde, deren Entstehung und Umbildung, gekümmert; man strebte einerseits in der Geologie weit anderen Zielen zu, und in der Landwirtschaft sah man die Dinge lediglich vom ökonomischen Standpunkt an, und das einzige Interesse wurde dem Boden in bezug auf seine Kultur und Er-

tragsfähigkeit zugewandt. Zahllos sind die Schriften, welche über Ackerbau und Landwirtschaft handeln, aber die für das Alttertum schon geltende Mißachtung des Bodens ist noch bis in die Tage der Wende vom 18. zum 19. Jahrh., ja sogar darüber hinaus, festzustellen.“

Bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts änderte sich kaum etwas an dieser Sachlage. Die chemische Bodenuntersuchung geriet ganz in den Bann der Agrikulturchemie, und ihre Weiterentwicklung war eng verknüpft mit den Fortschritten auf diesem Gebiet. Vor allen de Saussure und später Humphrey Davy, die als die Begründer der Agrikulturchemie gelten, befaßten sich eifrig mit bodenkundlichen Dingen. Davy war bereits der Salzsäureauszug zur Nährstoffbestimmung sowie die kolorimetrische Kohensäurebestimmung bekannt; er benutzte auch schon die Hygrostopizität als Wertmesser für die verschiedenen Bodenarten. Als Hauptvertreter der agrikulturchemischen Richtung in der Bodenkunde gilt Karl Sprengel (1787—1859), dessen Arbeiten uns deshalb hier besonders angehen, weil sie mehr chemisch gerichtet sind und vor allem wesentlich Neues über die Zusammensetzung der Humus säuren und deren Schädlichkeit für das Pflanzenwachstum bringen. Ihm verdanken wir den Hinweis, daß nicht der Humus allein, sondern noch eine Reihe anderer Stoffe als Baustoffe für die Pflanze notwendig sind; Sprengel kann daher mit einem gewissen Recht als „der Vorläufer der von Liebig begründeten Mineraltheorie angesehen werden“. Er war auch der erste, der auf die Wichtigkeit der Gesteinslehre hinwies, besonders in bezug auf die sogenannte nachschaffende Kraft des Bodens. In seiner Bodenkunde, in der er auch eine Übersicht über die Gesteinslehre gibt, drückt er das mit folgenden Worten aus: „Es ist unumgänglich notwendig, daß derjenige, welcher die verschiedenen Bodenarten gründlich beurteilen und kennenlernen will, auch die Gesteine oder Felsarten kennt, aus denen sie hervorgegangen sind.“ Die chemischen Untersuchungen des Bodens, wie sie Sprengel durchführte, sind dadurch gekennzeichnet, daß er dessen Nährstoffvorrat sowohl durch Wasserauszüge als auch durch die Einwirkung schwacher Säuren zu erfassen suchte, und man geht wohl nicht fehl, wenn man in dieser Art der Untersuchung die ersten Anfänge erblickt, die relative Löslichkeit der Nährstoffbasen und -säuren zu bestimmen. Man hatte bereits erkannt, daß es weniger auf die Bestimmung der Gesamtmengen der Nährstoffe ankommt, als auf die Erfassung ihrer relativen Löslichkeit. Bemerkenswert ist auch die Vielseitigkeit der Sprengelschen Untersuchungen; er untersuchte den Boden auf Rieselerde, Maunerde, Eisen-

oxyd und Oxydul, Manganoxyd, kohlensauren Kalk und Talkerde, Kali, Natron, Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kalk und Humus. Es ist, als wäre mit dem erfolgreichen Wirken Sprengels die chemische Bodenanalyse mit einem Schlag der Erstarrung entrisen, in die sie alles in allem trotz vieler bemerkenswerten Fortschritte verfallen war.

Im Jahr 1836 machte Bronner die wichtige Entdeckung vom Absorptionsvermögen der Ackererde, eine Entdeckung, die für die Kenntnis des Nährstoffhaushalts von grundlegender Bedeutung ist. H. S. Thomson und Thomas Way setzten diese Arbeiten fort und versuchten die Beobachtungen quantitativ chemisch auszuwerten. Die Ergebnisse Ways wurden von Justus v. Liebig bestätigt, der als Begründer der Mineraltheorie anzusehen ist. Bekannt ist Liebig's Gesetz vom Minimum, das neuerdings besonders von Mitscherlich verbessert und quantitativ formuliert worden ist. Nach Gieseler ist Liebig wohl auch der erste, der den Begriff „Bodenkapital“ geschaffen hat, worunter er den ganzen Vorrat an Aschenbestandteilen versteht. Gleichzeitig mit Liebig beantworteten A. F. Wiegmann und L. Polstorff 1841 eine sehr bekannt gewordene Preisaufgabe der Göttinger Universität dahin, daß das Wachstum der Pflanze abhängig sei von dem Vorhandensein einer Reihe anorganischer Bestandteile im Boden in löslichem Zustand. Die von Liebig fest begründete Mineraltheorie war nicht nur für die weitere Entwicklung des Arbeitsgebiets, das diese Abhandlung zum Gegenstand hat, von ausschlaggebender Bedeutung, sondern sie muß geradezu als richtunggebend für die ganze spätere Entwicklung der Landwirtschaftswissenschaft bezeichnet werden, soweit sie den Boden als wichtigstes Produktionsmittel benutzt. Von dieser Zeit an hat die Bestimmung des Nährstoffbedarfs des Bodens einen wichtigen, um nicht zu sagen den wichtigsten Teil der Bodentechnologie gebildet. Von den Werken nach Liebig sei das von Trommer hervorgehoben, in dem die chemische Analyse des Bodens einen besonders breiten Raum einnimmt und dem die chemische Untersuchung des Humus viel zu verdanken hat.

Mit dem Auftreten von Fallou und dem Erscheinen seines Hauptwerks „Die Pedologie“ (1862) tritt die Bodenkunde zunächst ganz allgemein in einen neuen Entwicklungsabschnitt ein. Hatte bisher die bodenkundliche Forschung fast ausschließlich dazu gedient, wichtige Fragen der Ackerbautechnik zu ergründen, so wurde sie durch das Wirken Fallous zur reinen, selbständigen, voraussetzungslos arbeitenden Wissenschaft erhoben und ein scharfer Trennungsstrich zwischen Boden-

technologie, die Fallou treffend als Agrologie bezeichnete, und der wissenschaftlichen Bodenkunde gezogen. Es ist bekannt und spiegelt sich besonders in der geschichtlichen Entwicklung der Chemie wieder, daß eine Wissenschaft gerade dann in technologischer Hinsicht am meisten zu leisten vermag, wenn sie um ihrer selbst willen betrieben wird, ganz unabhängig und losgelöst von irgendwelchen praktischen Voraussetzungen und Zielen.

Diese Anschauung ist in der Bodenkunde immer mehr Allgemeingut geworden und bedeutet jetzt eine Selbstverständlichkeit, an der nicht mehr zu rütteln ist. Sie wurde zum Dogma unter dem überragenden Einfluß eines deutschen Forschers, des Altwaters der Bodenkunde E. Ramann in München, auf dessen Wirken noch einzugehen sein wird. Unabhängig von der weiteren Entwicklung dieser Richtung in der Bodenkunde waren die Fortschritte der Bodenchemie auch in der Folge weiterhin eng verknüpft mit den Fortschritten der Agrilkulturchemie, als deren hervorragendste Vertreter Wolff, Knop, Sachs, Julius Kühn, U. Mayer, Detmer, Thiel, R. Heinrich genannt werden müssen.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts sind alle Fragen, die sich auf die Fruchtbarkeitsveranlagung des Bodens beziehen, in vollem Fluß. Unter dem Einfluß von E. Ramann, der in seiner höchst bedeutsamen Abhandlung „Forstliche Bodenkunde und Standortlehre“ ein Werk schuf, das schon deutlich die Erhebung der Bodenkunde zur selbständigen Wissenschaft erkennen läßt und in dieser Beziehung als bahnbrechend angesehen werden muß, kamen immer mehr die bodenkundlich wissenschaftlichen Arbeiten zur Geltung, die die Beziehungen des Bodens zum Klima zum Gegenstand hatten. Man kam zum Begriff der ektodynamomorphen Böden, einem Bodentyp, dessen Entwicklung weniger unter dem Einfluß des Muttergesteins, als unter dem des Klimas gestanden hat. Dadurch wurde die Bodenkunde — aus einer engbegrenzten Interessensphäre herausgehoben — ein Zweig der Gesamtheit der Naturwissenschaften und eine Wissenschaft, die gewiß (wie jede andere) auch einer beständigen Befruchtung und Anregung durch ihre Grundwissenschaften bedarf, die sonst aber ihre eigenen Wege zu gehen hat.

Mit den Untersuchungen über den Düngerbedarf des Bodens beschäftigte sich allerdings Ramann weniger, dieses Teilgebiet der technologischen Bodenkunde blieb nach wie vor der agrilkulturchemischen Richtung vorbehalten; es führte, immer mehr in die Breite gehend, zur Entwicklung der biologischen Arbeitsmethoden und in ihrer extremen Form

zur Ausbildung der Düngungsversuche auf dem Felde. Die Pflanze selbst über den Nährstoffbedarf des Ackers zu befragen, hatte etwas außerordentlich Bestechendes, und die Mehrzahl der Forscher gab sich daher mit großem Eifer der Ausbildung dieser Untersuchungsmethoden hin, auf der sicherlich richtigen Voraussetzung aufbauend, daß letzten Endes allein der Feldversuch geeignet sei, alle Fragen, die den Gesamtkomplex der Fruchtbarkeitsveranlagung eines Bodens ausmachen, zu beantworten. Jetzt, nach mehreren Jahrzehnten einer außerordentlich regen Tätigkeit auf diesem Gebiet, lassen sich die Ergebnisse einigermaßen übersehen. Die Technik des Feldversuchs ist nicht zuletzt durch die außerordentliche Initiative Paul Wagners, des kürzlich verstorbenen Leiters der landwirtschaftlichen Versuchsstation in Darmstadt, hochentwickelt; auch die mathematische Auswertung der Versuchsergebnisse hat erhebliche Fortschritte gemacht. Trotzdem machen sich neben dem Bestreben, durch Düngungsversuche auf dem Acker, den Wiesen und Weiden den Düngerbedarf des Bodens festzustellen, immer mehr Stimmen geltend, die der chemischen Analyse das Wort reden. Diese Bestrebungen sind zwar sehr alt, sie konnten aber aus begreiflichen Gründen erst Erfolg haben, als man sich über die Grundzüge der Pflanzenernährung klar geworden war. Sie haben in letzter Zeit besonders unter dem Einfluß der mächtig emporblühenden physikalischen Chemie Bemerkenswertes geleistet und sind jetzt so weit entwickelt, daß sie mit Fug und Recht zum mindesten als wertvolle Ergänzung exakt ausgeführter Düngungsversuche angesehen werden können.

Die derzeitige Sachlage ist etwa die folgende: Die Feststellung des Düngerbedarfs des Bodens wird erstrebt entweder durch biologische Methoden oder durch chemische Methoden. Die biologischen Methoden suchen das Ziel durch Düngungsversuche oder durch Topfversuche zu erreichen. Bei den chemischen Methoden wird der Boden entweder durch Wasser oder durch schwache Säuren extrahiert und die Ergebnisse an Feldversuchen geeicht. Außerdem sind neuerdings noch ähnliche in gleicher Richtung liegende Methoden angegeben worden, bei denen ebenfalls Wasser als Lösungsmittel benutzt wird, bei denen aber das Gelöste unter dem Einfluß des elektrischen Stromes sofort wegtransportiert wird, die Elektrolyse und die Elektro-Ultrafiltration. Ferner gibt es noch einige Methoden, bei denen man nicht recht weiß, wie man sie einordnen soll, weil sie teils chemisch, teils biologisch gerichtet sind. Es sind dies einmal das außerordentlich verbreitete Verfahren von Neubauer, sodann die bakteriologischen Methoden von Christensen-

Niklas. Felddüngungsversuche werden heute in großer Zahl besonders durch die umfassende und segenbringende Tätigkeit der landwirtschaftlichen Versuchsringe durchgeführt. Da sie sehr teuer sind, hat die Not der Zeit leider gerade diesem Zweig des landwirtschaftlichen Versuchswesens große Einschränkungen auferlegt. Sollen derartige Versuche zu einwandfreien Ergebnissen führen, so müssen sie mehrere Jahre hintereinander auf demselben Acker und in derselben Versuchsanordnung zur Durchführung kommen. Die Versuche selbst erfordern eine große Zahl von Kontrollparzellen, da anderenfalls wegen der meist geringen Homogenität der Bodenbildungen die Versuchsergebnisse nicht genügend sichergestellt sind. Einjährige Versuche können auf keinen Fall etwas Sicheres über den Düngerbedarf des Bodens auf weite Sicht aussagen, sie können nur den momentanen Düngungszustand erfassen. Es ist auch nicht angängig, die Ergebnisse eines Feldversuchs, die auf irgendeinem Acker gewonnen sind, über die örtlichen Verhältnisse hinaus auf andere Äcker zu übertragen, ja sie geben nicht einmal mit Sicherheit über den Düngerbedarf eines ganzen Ackerstücks Auskunft, da die Standortfaktoren bei manchen Bodenbildungen auf kleinem Raum horizontal und vertikal einem großen Wechsel unterworfen sind. Die unumstrittene Bedeutung des Feldversuchs liegt auf einem anderen Gebiet. Grundlegende Fragen der Pflanzenernährungslehre können zweifellos nur durch Felddüngungsversuche der Klärung entgegengeführt werden. Alle anderen Untersuchungsmethoden müssen daher, seien es nun Topfversuche oder chemische Untersuchungsmethoden, an den Feldversuchen geeicht werden. Den Anforderungen, die die praktische Landwirtschaft in bezug auf eine schnelle Beantwortung der Frage: „Wie soll ich meine Äcker düngen, um Erträge zu erzielen, die mir die höchste Rente abwerfen?“ stellt, kann der Feldversuch nicht völlig gerecht werden. Die quantitative Auswertung der Feldversuchsergebnisse, die Mitscherlich durch mathematische Formulierung seines Ertragsgesetzes durchzuführen versucht hat, um die zu einem beliebigen Mehrertrag nötigen Düngergaben zu berechnen, muß als gescheitert angesehen werden. Sie mußte scheitern, weil Mitscherlich von der oft widerlegten, physikalisch wie chemisch eine Unmöglichkeit bedeutenden Annahme ausging, die Wachstumswirkungsfaktoren seien Konstante. Ganz im Gegensatz zu der Annahme von der Konstanz der Wirkungsfaktoren wird es gerade eine der wichtigsten Aufgaben der Agrikulturchemie sein, die Schwankung der Wirkungsfaktoren unter dem Einfluß verschiedener Standortbedingungen zu erforschen. Umfangreiche aber sehr erfolgversprechende

Arbeit wird erst noch im Düngungsversuchswesen geleistet werden müssen, bis hier Klarheit herrscht. Besser als der Düngungsversuch auf dem Felde passen sich Topfversuche nach Mitscherlich oder das sogenannte Neubauer-Verfahren, das man vielleicht auch als einen abgekürzten Topfversuch auffassen kann, den Bedürfnissen der praktischen Landwirtschaft an. Schon die Tatsache, daß sie wesentlich kürzere Zeit zu ihrer Durchführung benötigen, was besonders für die Neubauer-Untersuchungen zutrifft, macht sie für diesen Zweck geeigneter. Es muß natürlich einem Landwirt, der seinen Boden an eine Versuchsstation zur Untersuchung einschickt, sehr viel daran gelegen sein, nun auch bald die gewünschte Auskunft über den Düngerbedarf seines Bodens zu bekommen. Diese Kurzverfahren sind außerdem wohlfeiler und bei sinnvoller Verwertung der Untersuchungsergebnisse und bei Berücksichtigung der sonst vorliegenden Standortsfaktoren, was die Sicherheit der Ergebnisse anbelangt, dem Feldversuch gar nicht einmal so sehr unterlegen. Dabei kann als besonderer Vorzug angesehen werden, daß sie eine öftere Wiederholung gestatten und dadurch eine fortlaufende Kontrolle des Nährstoffvorrats ermöglichen. Leider können uns aber auch die Topfversuche und das Neubauer-Verfahren nicht restlos befriedigen, da auch ihnen erhebliche Mängel anhaften. Zwar hat der Topfversuch vor dem Feldversuch den großen Vorteil voraus, daß man die Vegetationsfaktoren besser in der Hand hat, was bei Erforschung rein wissenschaftlicher Fragen ein Vorzug ist. Auf der andern Seite bedarf es aber des Hinweises, daß die Standortbedingungen im Topfversuch von denen auf dem freien Feld durchaus verschieden sind. Der für das Pflanzenleben sicher eine bedeutungsvolle und wichtige Rolle spielende Untergrund bleibt bei Topfversuchen meist unberücksichtigt. Vom rein bodenkundlichen Standpunkt aus müssen aber alle Untersuchungsverfahren, die nicht zugleich auch den Untergrund (mindestens bis zu zwei Meter Tiefe), also das ganze Bodenprofil, in Betracht ziehen, abgelehnt werden, denn es sind oft gerade die großen Unterschiede in der Zusammensetzung des Untergrunds, die bei gleichem oder ähnlichem Obergrund dem Standort als Ganzes genommen ihren Stempel aufdrücken. Eine Vernachlässigung der Untergrundverhältnisse kann leicht zu einer falschen Beurteilung des Standorts führen.

Dem Kurzverfahren nach Neubauer wird im allgemeinen eine gute Übereinstimmung mit den praktischen Ergebnissen nachgesagt, in vielen Fällen konnten 80 und mehr Prozent der Analysen als mit den Feldversuchen gut im Einklang befindlich bezeichnet werden, wobei, wie

Neubauer nicht mit Unrecht betont, berücksichtigt werden muß, daß die Sicherheit der Feldversuchsergebnisse keineswegs so groß ist, daß dieselben eine feste, einwandfreie Beurteilungsgrundlage abgeben können. Grundsätzlich beruht das Neubauer-Verfahren darauf, daß durch eine verhältnismäßig große Anzahl Roggenpflanzen der Boden extrahiert wird. Nach etwa drei Wochen werden die Pflanzen geerntet, verascht und die Asche auf Phosphorsäure und Kali untersucht. Die so gefundenen Nährstoffe bezeichnet Neubauer als wurzellöslich. Gewisse, durch gleichzeitig angestellte Düngungsversuche empirisch gefundene Grenzzahlen ergeben einen Maßstab für die mehr oder weniger große Bedürftigkeit des Bodens für eine Phosphorsäure- und Kalidüngung.

Gegen das Neubauer-Verfahren sind von den verschiedensten Seiten Einwände erhoben worden; es würde zu weit führen, auf alle einzugehen. Das wichtigste vom Standpunkt der physikalischen Chemie geäußerte Bedenken ist, daß Neubauers Zahlen über die relative Löslichkeit der Nährstoffe nichts oder doch nur sehr wenig aussagen. Ist schon die Allgemeingültigkeit der von Neubauer angegebenen Grenzzahlen vielfach deshalb stark angezweifelt worden, weil unsere landwirtschaftlichen Kulturpflanzen ein sehr verschiedenes Nährstoffbedürfnis haben, so setzt sich neuerdings immer mehr die Meinung durch, Grenzzahlen überhaupt abzulehnen. Gegen sie hat sich besonders Bageler ausgesprochen; er hat darauf hingewiesen, daß bei gleichen Grenzzahlen die jeweilige „Momentanlieferung“ des Bodens an die Pflanze sehr verschieden sein kann. Diese Gedanken drücken ungefähr dasselbe aus, worauf vorher schon Röttgen und Diehl im Anschluß an eine experimentelle Arbeit hingewiesen hatten, in der gezeigt werden konnte, daß man unter Zuhilfenahme eines elektrischen Gleichstroms die Nährstoffe aus dem Boden herauslösen und ihre Löslichkeit in Abhängigkeit von der Zeit zum Ausdruck bringen kann. Auf das Verfahren selbst wird noch einzugehen sein. Was nun das Wesen der Neubauer-Analyse anbelangt, so bezeichnet sie Neubauer zwar als biologisches Verfahren, in Wirklichkeit ist sie aber nichts anderes, als eine chemische Auslaugung durch die Pflanzen, da die von den Pflanzen ausgeschiedenen schwachen Säuren genau so wie bei den chemischen Extraktionsmethoden durch H-Ionen die Nährstoffe aus dem Sorptionskomplex des Bodens verdrängen. Ein Unterschied besteht nur insofern, als die verdrängten Ionen von den Pflanzenwurzeln durch Osmose sofort aufgenommen werden. Es stellt sich also kein endgültiges Gleichgewicht ein, sondern das Gleichgewicht wird durch die Tätigkeit der Pflanzen dauernd ver-

schoben. Im ganzen werden während der achtzehn Tage dauernden Neubauer-Analyse im Durchschnitt, wie eine einfache Berechnung zeigt, etwa 200 Milliäquivalente H-Ionen auf den Boden einwirken. Das bedeutet, wenn man die Verhältnisse im freien Feld dagegenhält, einen großen Überschuss an verdrängender Säure. Bei einer erschöpfenden Behandlung des Bodens durch wiederholte Neubauer-Ansätze werden denn auch an Kali ungefähr dieselben Mengen aus dem Boden herausgeholt, wie bei der Behandlung mit schwachen Säuren. Da nun aber die Kosten von Neubauers Verfahren sehr viel höher sind, als die der einfachen chemischen Extraktionsmethoden mit schwachen Säuren, letztere auch in sehr viel kürzerer Zeit in serienmäßiger Arbeitsorganisation durchgeführt werden können, so kann man den Vorschlag von Arrhenius verstehen, der Neubauers Verfahren durch chemische Kurzverfahren ersetzen will. Nach Arrhenius kostet die Ermittlung der Phosphorsäure durch schwache Zitronensäure bei Ansatz großer Serien nur einige Pfennige; eine Neubauer-Analyse dagegen 10 bis 20 RM.¹⁾

Das oben erwähnte, von Niklas, Poschenrieder und Trischler eingeführte bakteriologische Verfahren ist ebenso wie die Neubauer-Analyse kein rein biologisches, da der Boden vor der Bakterienimpfung mit 1prozentiger Zitronensäure aufgeschlossen wird; sie sei hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt, größere Verbreitung hat sie bisher nicht gefunden.

Im allgemeinen läßt sich sagen, daß die sogenannten pflanzenphysiologischen Kurzverfahren noch keineswegs restlos befriedigen können. Als biologische Verfahren haben sie zunächst zwar etwas Bestechendes, doch dürfte dies bei nüchterner Betrachtung keineswegs ausreichen, sie den chemischen Methoden irgendwie vorzuziehen. Das eine haben alle Kurzverfahren, seien sie nun biologisch oder chemisch, gemeinsam: über den Düngerbedarf des Bodens können sie unmittelbar nichts Positives aussagen, bevor sie nicht an den Ergebnissen von Düngungsversuchen geeicht worden sind. Denn die Frage der Düngebedürftigkeit eines Bodens kann nur dann gelöst werden, wenn man die Ansprüche genau kennt, die die verschiedenen Gewächse an den Boden stellen. Diese Frage kann aber nur durch Feldversuche oder Vegetationsversuche beantwortet werden.

Aufgabe der chemischen und physikalisch-chemischen Verfahren ist es, den dynamischen Vorgang der Lieferung von Nährstoff an die Pflanze

¹⁾ Um dem praktischen Landwirt diese kostspielige Untersuchung zu ermöglichen, leistet der Staat für jede Neubauer-Analyse erhebliche Zuschüsse.

in seinem ganzen Verlauf zu umschreiben. Es kommen daher nur solche Verfahren in Frage, die die Aufnahme von Nährstofflösungskurven für einen gegebenen Zeitraum, z. B. einer Wachstumszeit, gestatten. Was nützt es uns zu wissen, daß ein Basaltboden sehr viel Kalk und Kali enthält, wenn wir nicht wissen, wie er diese Nährstoffe der Pflanze zur Verfügung stellt? Die Art, wie der Boden die Nährstoffe der Pflanze darzubieten vermag, ist von Fall zu Fall verschieden. Es ist eine Materialeigenschaft, die zwar auf kleinem Raum, besonders was den leichter löslichen Teil der Nährstoffe anbelangt, einem gewissen Wechsel unterworfen ist, die jedoch für jeden Bodentyp und jede Bodenart durchaus kennzeichnend ist. Wie Bageler zeigen konnte, gilt dies nicht allein für die Nährstoffe, sondern gleichermaßen für den so wichtigen Produktionsfaktor Wasser. Am besten werden physiko-chemische Verfahren diesen vom pflanzenphysiologischen Standpunkt aus an die Analyse zu stellenden Anforderungen gerecht. Die von Bageler angegebene Methode der Verdrängung der Basen aus dem Sorptionskomplex mit Chlorammonium ist ein solches physiko-chemisches Verfahren; es sei daher auf die von ihm gemachten Vorschläge näher eingegangen. Als vordrängendes Ion benutzt Bageler das NH_4 -Ion in großem Überschuß. Es eignet sich hierzu gut, da es, ebenso wie das H -Ion, eine große Verdrängungsenergie besitzt. Nur wenn sehr viel NH_4 -Ionen im Sorptionskomplex vorhanden sind, muß mit einem anderen Ion verdrängt werden. Der Boden wird nach Bagelers Vorschlag mit einer bestimmten Menge Chlorammoniumlösung ausgeschüttelt und die verdrängten Basen insgesamt und einzeln bestimmt. Durch eine zweite Ausschüttelung mit der Hälfte der vorher angewandten Menge findet Bageler den sogenannten Halbwert. Durch diese beiden Werte läßt sich bereits durch graphische Extrapolation die Gesamtmenge einer im Komplex gebundenen Ionenart ermitteln, denn Bageler fand, daß der gesamte Lösungsvorgang irgendeines Nährstoffes durch eine Hyperbel zweiten Grads wiedergegeben werden kann, die in ihrer reziproken Form eine gerade Linie ergibt. Die Nährstoffanionen und auch der Ammoniakstickstoff können nach diesem Verfahren allerdings nicht bestimmt werden. Die sehr einfache Formel lautet:

$$y = \frac{x \cdot S}{x + q \cdot S},$$

wobei y das ausgetauschte Ion, x das austauschende Ion, S den im Unendlichen erreichten Grenzwert des Umtauschvorgangs und q das

sogenannte Sorptionsmodul bedeutet. Man kann sich leicht davon überzeugen, daß irgendein Punkt dieser Asymptotengleichung bei sehr verschiedenen q -Werten erreicht werden kann. Die Art, wie der Boden den Pflanzen den Nährstoff zur Verfügung stellt, ist durch q gegeben. Das spezifische Verhalten eines Bodens der Düngung gegenüber läßt sich ohne weiteres aus diesem Austauschmodul q erkennen. Haben wir z. B. zwei Böden mit gleichen Gesamtnährstoffmengen (S) aber sehr verschiedenen q , so können folgende Fälle vorliegen: der eine Boden hat große Mengen leichtlöslicher Nährstoffe, aber nur geringe Reserven; der andere dagegen nur wenig leichtlösliche Nährstoffe, aber die fester liegenden Reserven sind groß; es liegen somit zwei ganz verschiedene Böden vor, und es leuchtet sofort ein, daß sie düngertechnisch auch verschieden behandelt werden müssen. Der erste Boden ist seinem q nach düngeraktiv, während der zweite düngerinaktiv genannt werden kann. Unter diesen düngerinaktiven Böden gibt es Typen, die große Mengen Nährstoffe „verschlucken“, bis die leichtlöslichen Nährstoffe genügend angereichert sind.

Das Verfahren von Bageler muß als ein wesentlicher Fortschritt bezeichnet werden; es ist einfach und für Serienbetrieb durchaus zugänglich. Ein Nachteil ist, daß damit weder die Nährstoffanionen noch der Stickstoff bestimmt werden können. Während Bageler als verdrängendes Ion das NH_4 -Ion benutzt, wird bei einem Verfahren, das im bodenkundlichen Laboratorium des Gießener Forstinstituts ausgearbeitet worden ist, zur Verdrängung das H -Ion angewandt, und zwar nicht durch Anwendung einer schwachen Säure, sondern durch Benutzung des elektrischen Gleichstroms. Da die Nährstoff-Ionen durch magnetische und elektrische Kraftfelder innerhalb der Korpusteln (Massefenteilchen) festgehalten werden, so muß vom physikalisch-chemischen Standpunkt aus betrachtet die Benutzung eines elektrischen Potentials als das Gegebene angesehen werden. Die Menge der herausgelösten Ionen läßt sich bei diesem Verfahren in Abhängigkeit von der Zeit verfolgen; man gelangt also zu Lösungskurven, die ebenso wie die Bageler'sche Asymptotengleichung überwiegend hyperbolische Form haben. Das Sorptionsmodul q läßt sich auch auf diesem Wege finden; es brauchen an Stelle des x der Bageler'schen Gleichung nur die Ampere-Minuten in die Gleichung einzugehen. Als Apparatur wurde zuerst das bekannte Elektro-Ultrafiltrationsgerät von Bechold-König benutzt, doch wurde es im Lauf der Zeit wesentlich umgeändert, da es in seiner ursprünglichen Form nicht zu reproduzierbaren Werten führte. Der Apparat

besteht jetzt aus drei Glasteilen, einem Mittelraum und zwei Seitenteilen, und zwar in horizontaler Anordnung; der Mittelteil wird von den Seitenteilen durch Ultrafeinfilter getrennt, die durch Zenaer Glasfritten gestützt werden. Um den elektro-osmotischen Effekt auszuschalten, der sich hauptsächlich an der Kathodenseite auswirkt, wird mit verschieden dichten Membranen gearbeitet. Die Membran an der Anode ist durchlässiger und ergibt daher eine größere Filtratmenge. Die Elektroden (Netzelektroden) liegen unmittelbar hinter den Glasfritten an. Kontakt entsteht, sobald Flüssigkeit durch Membran und Glasfritten hindurchgesaugt wird. Die in dem System befindlichen Ionen werden durch den Strom transportiert, die Anionen wandern nach der Anode, die Kationen nach der Kathode, während alle Teilchen, die die molekulare Größenordnung überschreiten, durch die sehr dichten Filter zurückgehalten werden. Die Filtrate werden je nach Bedarf aller fünfzehn oder dreißig Minuten mit dem Apparat verbundenen Sammelgefäßen entnommen und kolorimetrisch untersucht. Nach diesem Verfahren können alle Kationen und Anionen bestimmt werden, soweit sie an den Elektroden chemisch streng definierte Sekundärprodukte bilden, also auch Phosphorsäure und Stickstoff sowohl in Ammoniak- als auch in Salpeterform. Die Analyse selbst dauert höchstens acht Stunden; sie ist bei den meisten Böden aber schon nach etwa drei Stunden beendet; der Boden kann also auf diese Weise sehr schnell entsalzt werden. Je nachdem man den Elektrodenabstand wählt, ist die Menge der herausgelösten Nährstoffe in der Zeiteinheit verschieden, man hat es demnach völlig in der Hand, den Strom so einwirken zu lassen, wie es die besonderen Verhältnisse erfordern.

Die Nachprüfung der Bagelerschen Verdrängungsgleichung, die wir mit dieser Apparatur bereits in größerem Umfang durchgeführt haben, hat zu dem Ergebnis geführt, daß der Entsalzungsvorgang, d. h. die Verdrängung der Ionen aus dem Sorptionskomplex, nicht in allen Fällen durch eine einzige Hyperbel umschrieben werden kann. Sehr oft setzt sich die erhaltene Kurve aus mehreren Hyperbeln mit verschiedenen q -Werten zusammen. Dieser Wechsel in den q -Werten ist zwar nicht allzu groß, immerhin ist er vorhanden und bedarf einer Nachprüfung, denn es wäre immerhin möglich, daß gerade diesem Wechsel der q -Werte für die Klärung mancher bodenkundlich wichtigen Frage eine gewisse Bedeutung zukäme. Ihrem Wesen nach gehört die Methode der Elektro-Ultrafiltration zu den Auslaugungsverfahren. Sie unterscheidet sich grundsätzlich von dem Bagelerschen Verdrän-

gungsverfahren dadurch, daß die abdissoziierten Ionen sofort weggeschafft werden. Rein theoretisch erscheint diese Auslaugung richtiger, denn auch in der Natur wird ja das Gelöste entweder von der Pflanze verbraucht oder durch Sickerwasser hinweggeführt. Der Entsalzungsvorgang bei der Elektro-Ultrafiltration ist demnach im Grund weiter nichts, als eine Zusammendrängung des natürlichen Lösungsvorganges auf kleinsten Raum. Da der Strom nur transportieren kann, was abdissoziiert ist, so sind die erhaltenen Lösungskurven gewissermaßen Spiegelbilder der gesamten Bindungs- und Löslichkeitsverhältnisse der in den Kraftfeldern, besonders an den Messpunkten vorhandenen Ionen oder (nach den älteren Anschauungen von Quinke, Helmholtz, Perrin und Smoluchowsky) der in der elektrischen Doppelschicht durch Oberflächenkräfte gebundenen Ionen. Da jeder Boden als polydisperses System eine ausgesprochene elektrische Polarität besitzt und damit die Fähigkeit zur polaren Ionensorption — neben der apolaren, durch Dipolmomente bedingten Sorption ganzer Moleküle — und da ferner die Menge der sorbierten Ionen abhängig ist von der Menge und spezifischen Eigenart der in einem Boden vorhandenen Gitterreste, so ist es selbstverständlich, daß die durch Elektro-Ultrafiltration gefundenen Löslichkeitskurven für jeden Boden durchaus kennzeichnend sind. Die für jedes Ion feststellbare Kurve zeigt, allerdings nur soweit sie den Lösungsvorgang der sorptiv gebundenen Ionen umschreibt, diese einmalige und typische Form; der Kurventeil, der die leichtlöslichen in der Bodenlösung vorhandenen Ionen wiedergibt, ist dagegen der Form nach weniger stabil und unterliegt großen jahreszeitlichen Schwankungen. Wie unsere Löslichkeitskurven zeigen, ist der ganze Lösungsvorgang bei den meisten Bodenstoffen als ein abgewandelter chemischer Vorgang anzusehen; er unterliegt dem Gesetz der Masse. Durch Elektro-Ultrafiltration erhält man die Löslichkeitskurven sämtlicher uns bodenwirtschaftlich interessierender Kationen einschließlich des Ammonium-Ions. Die Analyse selbst ist wohlfeil und kann meistens schon in wenigen Stunden durchgeführt werden; etwas zeitraubender ist nur die kolorimetrische Bestimmung des Kalis und des Kalks in den einzelnen Filtraten. Insgesamt werden für eine Vollanalyse zwei Tage benötigt gegen etwa drei Wochen bei Neubauer; eine wesentliche Vereinfachung kann noch insofern eintreten, als sich die Einzelbestimmungen für Kali, Kalk usw. im Serienbetrieb durchführen lassen. Die Aufnahme der Phosphorsäure-, Nitrat- und Ammoniakkurven kann bereits fertig sein, wenn die Entsalzung des Bodens beendet ist, was durch ein eingeschal-

tetes Amperemeter angezeigt wird. Es wurden bisher aufgenommen die Lösungskurven von Ca, Mg, K, NH₄, ferner von P₂O₅, SO₄ und NO₃.

Außerdem wurden stets die Gesamtbasenkurven und die Gesamtsäurekurven durch Titrationen festgelegt. Gerade die q-Werte der Gesamtbasen und -säuren sind für den Boden bestimmend und genügen, wenn es sich nur darum handelt, den Bodentyp als solchen kennenzulernen. Werden diese Säure- und Basenkurven z. B. profilmäßig durchgeführt, so läßt sich aus ihnen die Typenzugehörigkeit des Bodens ohne weiteres ablesen. Sie sind ferner, wie Bageler überzeugend nachgewiesen hat, zugleich ein Ausdruck für den Wasserhaushalt des Bodens, da auch für diesen die Menge und das spezifische Verhalten der Teilchen kolloidaler Größenordnung maßgebend ist.

Die leichte und billige Durchführbarkeit der Analyse gestattet eine fortlaufende Kontrolle des Nährstoffumsatzes im Boden und eine öfter wiederkehrende „Nährstoffinventur“, eine Inventur, die sich eigentlich jeder rationell arbeitende Landwirt zum notwendigen wirtschaftlichen Rüstzeug machen sollte, und die allein die richtige, mit wirtschaftlich optimalen Leistungen verbundene Anwendung der Handelsdüngemittel gewährleistet, wobei hervorgehoben zu werden verdient, daß trotz aller Not der Zeit das in den Handelsdüngern festgelegte Betriebskapital auch heute noch am besten rentiert. Welcher ernsthafte Kaufmann würde es verantworten können, nicht jederzeit über seine Lagerbestände im Bild zu sein?

Der Fall, daß vorsorglich arbeitende und fortgeschrittene Landwirte schon heute in regelmäßiger Wiederkehr ihre Ackerschläge untersuchen lassen, ist verhältnismäßig selten. Der Grund, weshalb es so wenig geschieht, ist keineswegs darin zu erblicken, daß kein Bedürfnis vorläge, vielmehr darin, daß die bisher erprobten Verfahren den an sie zu stellenden Anforderungen nicht genügen. Der Hauptgrund, der von landwirtschaftlicher Seite immer geltend gemacht wird, ist, die Antwort auf die gestellten Fragen erfolge nicht schnell genug. Nur schnell und sicher arbeitende Methoden haben Aussicht, sich praktisch durchzusetzen.

Zu den Arbeiten, die durch die neue physikalisch-chemische Bodenuntersuchung mit Nutzen durchgeführt werden können, gehört eine mehr als bisher ins einzelne gehende Bodentartierung, d. h. die kartographisch-planimetrische Festlegung besonders wichtiger physikalischer und chemischer Bodeneigenschaften in einem genügend großen Maßstab. Es ist klar, daß eine derartige Kartierung nur dann Sinn hat, wenn die im Bild wiedergegebenen Eintragungen sich auf Eigenschaften be-

ziehen, die verhältnismäßig unveränderliche Größen darstellen. In bezug auf die physikalischen Bodeneigenschaften war man bisher nicht in Verlegenheit. Man hat sich deshalb darauf beschränkt, nur diese in die Kartenbilder aufzunehmen; bei den wandelbaren chemischen Bodeneigenschaften war dagegen eine kartographische Aufnahme nicht gut durchführbar. Die Ergebnisse von Bauschanalysen in die Karten einzutragen, war zwecklos, da sie pflanzenphysiologisch nur von geringer Bedeutung sind; die Ergebnisse aller Verfahren, die mit Grenzzahlen arbeiten, erschienen zu wenig fest. Der Erfas der bisherigen mehr statischen Betrachtungsweise durch die dynamisch-quantitative, die die Einzeldaten funktionell miteinander verknüpft, gibt nun auch die Möglichkeit, das individuelle Bedürfnis des Bodens für die wichtigsten Pflanzennährstoffe mit in das Kartenbild aufzunehmen, wenigstens so weit das spezifische Verhalten des Bodens durch das Sorptionsmodul q zum Ausdruck kommt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß damit einem ausgesprochenen Bedürfnis Rechnung getragen wird, denn das Verhalten des Bodens düngertechnischen Maßnahmen gegenüber ist eine Frage, die den praktischen Landwirt unmittelbar angeht, eine Größe, mit der er mehr anfangen kann, als mit noch so sorgfältig aufgenommenen Kartenbildern, die in zahlreichen Signaturen, die ihn meistens nur verwirren, die physikalischen Wertkonstanten oder die geognostischen Merkmale wiedergeben. Damit sich derartige Karten voll auswirken können, ist noch eines notwendig: eine entsprechende Schulung landwirtschaftlicher Kreise mit dem Ziel, die sich aus den Karten ergebenden praktischen Nuzanwendungen möglichst vollständig zur Wirkung bringen zu können. Hierzu muß gesagt werden, daß die nach dem Krieg in bezug auf das landwirtschaftliche Unterrichtswesen, Versuchsringe usw. außerordentlich rege Tätigkeit leider aus Mangel an Mitteln unter dem furchtbaren Zwang der Zeit wieder im Abflauen begriffen ist, eine Abwärtsbewegung, der unter allen Umständen durch tatkräftiges Eingreifen der Behörden gesteuert werden muß, soll nicht die Fülle von wissenschaftlicher Arbeit und Mühe, die unsere Landwirtschaftlichen Institute aufwenden, einfach verpuffen. Der Boden ist die wichtigste Lagerstätte der Erde, wie einmal von geologischer Seite sehr treffend gesagt worden ist. Es hat sich noch immer in Zeiten der Not als die sicherste und nachhaltigste, sich stets im guten Sinn auswirkende Maßnahme zur Ankurbelung der Wirtschaft erwiesen, wenn daran gegangen wurde, aus dem Boden herauszuholen, was aus ihm herausgeholt werden kann.