

II
✓
61.266

Wahnschaffe und Schmitt

Wissenschaftliche Bodenuntersuchung

Vierte Auflage



Verlag von Paul Parey in Berlin

Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung

Von

Prof. Dr. Felix Wahnschaffe

weiland Geheimer Bergrat, Abteilungsdirigent a. d. Preuß.
Geolog. Landesanstalt, Dozent a. d. Bergakademie und
Privatdozent a. d. Friedrich-Wilhelms-Universität Berlin

Vierte Auflage

neubearbeitet und herausgegeben

von

Dr. Friedrich Schucht

ord. Professor und Direktor des Instituts für
Geologie, Mineralogie und Bodenkunde an
der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin



Mit 71 Textabbildungen

Biblioteca USAMV Iasi



Y153406

BERLIN

VERLAGSBUCHHANDLUNG PAUL PAREY

Verlag für Landwirtschaft, Gartenbau und Forstwesen

SW., Hedemannstr. 10 u. 11

1924

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.
Printed in Germany.

Biblioteca USV 1431

Vorwort.

Die vorliegende mannigfach umgestaltete und vermehrte vierte Auflage ist den neueren Forschungen auf dem Gebiete der wissenschaftlichen Bodenuntersuchung angepaßt, in dem Bestreben, dem Buche im großen und ganzen das Gepräge zu erhalten, das Felix Wahnschaffe ihm einst gegeben. Die Methoden, wie sie im Laboratorium für Bodenkunde der Preuß. Geologischen Landesanstalt üblich sind, und wie sie Verfasser in dem ihm unterstellten Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin anwendet, sind besonders ausführlich beschrieben worden; andere Methoden sind kurz angedeutet, um eine gewisse Übersicht über das Gesamtgebiet zu geben und zu weiteren Forschungen anzuregen. Aus diesem Grunde ist auch ein sehr umfassendes Literaturverzeichnis beigegeben.

Die Beiträge, die der Abteilungsdirektor an der Geologischen Landesanstalt, Herr Prof. Dr. Ganssen und Herr Kustos Dr. Wache zu den früheren Auflagen lieferten, sind auch in diese neue Auflage mit übernommen worden. Herrn Privatdozent Dr. Wießmann, welcher den Abschnitt über biologische Bodenuntersuchung verfaßte, sage ich auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank, nicht minder dem Technischen Institut des Herrn Dr. Rob. Muencke, G. m. b. H., das die Benutzung seiner im Katalog für 1922 enthaltenen Abbildungen gestattete, sowie der Firma F. u. M. Lautenschläger u. Co. in Berlin, welche mir einige Klischees zur Verfügung stellte.

Möge diese Neuauflage die gleiche freundliche Aufnahme finden, wie die früheren Auflagen.

Berlin, im November 1923.

F. Schucht.

Inhalt.

	Seite
Einleitung	1
1. Die Begriffsbestimmung des Bodens	1
2. Die Klassifikation des Bodens	4
3. Die Entstehung des Bodens	8
4. Der Zweck der Bodenuntersuchung	9
Der Gang der Bodenuntersuchung	13
Vorarbeiten zur Bodenuntersuchung	13
I. Die mechanische Bodenanalyse	17
A. Die Körnung mit dem Siebe	17
B. Die Schlämmanalyse	20
a) Schlämmethoden unter Benutzung des Fallens der Boden- teilchen im Wasser	21
a) Die Dekantiermethode im verschließbaren Glaszylinder durch Abheben des Schlämmwassers	21
β) Der Kühnsche Schlämmapparat	22
γ) Der Knopsche Schlämmzylinder	24
δ) Die v. Benningh'sche Schlämmflasche	24
ε) Der Clausensche Schlämmapparat	25
ζ) Der Atterbergsche Schlämmapparat	25
η) Die Methode nach Hissink	27
θ) Die Methode nach Mohr	28
ι) Die Methode nach Wiegner	28
ζ) Die Methode nach Zunker	29
λ) Die Methode nach Sven Odén	30
μ) Das Schlämmverfahren nach G. Krauß	30
ν) Die Methode nach Robinson	33
b) Schlämmethoden unter Benutzung eines senkrecht nach oben gerichteten Wasserstromes	33
a) Der Nöbelsche Schlämmapparat	34
β) Der Schönesche Schlämmtrichter	34
γ) Der Hilgardsche Schlämmapparat	46
δ) Der Kopeckýsche Schlämmapparat	48
II. Die Bestimmung der Bodenkonstituenten	50
A. Die Bestimmung des Gehaltes an Kalzium- bzw. Magnesiumkarbonat	50
a) Die volumetrische Messung der Kohlensäure mit dem Scheiblerschen Apparate	50
b) Die Bestimmung der Kohlensäure durch Wägung aus dem Verlust	53

	Seite
c) Die Bestimmung der Kohlensäure durch direkte Wägung	57
d) Die Bestimmung des Kalziumkarbonats durch Maßanalyse	60
e) Die Bestimmung der Karbonate von Kalzium u. Magnesium:	
a) durch Auskochen mit Ammoniumnitrat	61
β) durch Auskochen mit Essigsäure	63
γ) Nach der Methode Hutchinson-Mac Leman	65
δ) Die Methode Truog	65
B. Die Bestimmung der Humussubstanzen	65
a) Die Knopsche Methode der Humusbestimmung	66
b) Weitere Methoden der Humusbestimmung	70
c) Die Bestimmung des Kohlenstoffes der Humussubstanzen durch die Elementaranalyse.	70
d) Die Bestimmung des Glühverlustes	75
e) Die Humusbestimmung nach Dennstedt	76
f) Die Bestimmung der kolloidlöslichen Humusstoffe nach Grandeau	78
g) Kolorimetrische Humusbestimmung	78
C. Die Bestimmung des Tongehaltes	78
Die Aufschließung mit Schwefelsäure im zugeschmolzenen Rohre	79
Die Trennung des Eisenoxyds von der Tonerde	83
a) Die Bestimmung des Eisens als Eisenoxydul durch Titrieren mit einer Lösung von Kaliumpermanganat	83
b) Die Trennung der Tonerde vom Eisenoxyd und Wägung der ersteren	87
c) Die Berechnung des Tongehaltes im Gesamtboden	88
D. Die Bestimmung des Sandgehaltes	89
Die petrographische Untersuchung der größeren Gemeng- teile des Sandes	89
a) Die Trennung der Mineralien durch Auslesen	90
b) Die Trennung der Mineralien auf Grund ihres spezi- fischen Gewichtes	90
Die Bestimmung des Quarzgehaltes	94
E. Die Ermittlung der Elementarzusammensetzung des Bodens durch die Bauschanalyse	96
a) Die Aufschließung mit Natriumkarbonat	96
b) Die Aufschließung mit Flußsäure	97
III. Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe	99
A. Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe in Boden- auszügen	99
I. Der Auszug des Bodens mit kaltem destillierten Wasser	100
1. Die Bestimmung der Basen im Wasserauszuge	101
2. Die Bestimmung der Säuren im Wasserauszuge	102
Die Bestimmung des Chlors	102
Die Bestimmung der Schwefelsäure	103
Die Bestimmung der Salpetersäure	103
Die Tiemannsche Modifikation der Schlösing-Schulze- schen Methode	105
3. Besonderes Verfahren bei d. Untersuchung d. Moorböden	109

	Seite
II. Der Auszug des Bodens mit kohlensäurehaltigem Wasser	111
III. Der Auszug des Bodens mit Zitronen- oder Essigsäure zur Bestimmung der assimilierbaren Phosphorsäure	113
Pagnouls kolorimetrische Methode zur Bestimmung der Phosphorsäure	113
IV. Die Bestimmung des leicht löslichen Kalis	114
V. Der Auszug des Bodens mit kalter konzentrierter Salzsäure	115
VI. Der Auszug des Bodens mit kochender konzentrierter Salzsäure	115
Die Bestimmung der Phosphorsäure	128
a) Die Fällung der Phosphorsäure mit Ammoniummolybdat und Wägung als Magnesiumpyrophosphat	128
β) Die Bestimmung der Phosphorsäure nach R. Finkener als phosphormolybdänsaures Ammonium	130
γ) Die Bestimmung der Phosphorsäure nach E. A. Mitscherlich	131
B. Die Bestimmung einiger für die Pflanzenernährung wichtiger Stoffe, welche in den angegebenen Bodenauszügen nicht oder nur teilweise bestimmt werden können	132
1. Die Bestimmung des Gesamtstickstoffes im Boden	132
a) Die Kjeldahlsche Methode	132
b) Die N-Bestimmung durch Verbrennen mit Natronkalk	138
α) Bestimmung des Chlorammoniums als Platinsalmiak	140
β) Volumetrische Bestimmung des Stickstoffs im Chlorammonium durch das Knop-Wagnersche Azotometer	141
2. Die Bestimmung des im Boden enthaltenen Ammoniaks	144
Die modifizierte Schlösingsche Methode zur genauen Bestimmung des Ammoniaks im Boden	145
IV. Die Bestimmung der für das Wachstum der Pflanzen schädlichen Stoffe des Bodens	147
1. Der Nachweis der sogenannten „freien Humussäure“ im Boden	147
2. Die Bestimmung des Kochsalzgehaltes im Boden	148
3. Die Bestimmung des schwefelsauren Eisenoxyduls, der freien Schwefelsäure und des Schwefeleisens im Boden	148
a) Die Bestimmung des Schwefelgehaltes durch Glühen	149
b) Die Bestimmung des Schwefelgehaltes durch Aufschließung mit Brom	151
V. Die Ermittlung verschiedener Eigenschaften des Bodens, welche teils auf physikalischen, teils auf chemischen Ursachen beruhen	152
A. Das Gewicht des Bodens	152
1. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes	152
2. Die Bestimmung des Volumgewichtes und Porenvolumens	153
B. Das Verhalten des Bodens gegen Nährstofflösungen	156
1. Die Prüfung der Absorption des Bodens mit $\frac{1}{10}$ bzw. $\frac{1}{100}$ -Normallösungen	157
2. Die Knopsche Methode zur Bestimmung der Absorptionskoeffizienten	157

	Seite
C. Das Verhalten des Bodens gegen Wasser	160
1. Die Wasserkapazität	161
a) Die Bestimmung der Wasserkapazität durch Versuche im Laboratorium	161
b) Die Bestimmung der Wasserkapazität des Bodens in seiner natürlichen Lagerung auf freiem Felde	165
2. Die Verdunstungsfähigkeit des Bodens	167
3. Die Durchlässigkeit des Bodens	168
4. Das Aufsaugungsvermögen des Bodens	170
D. Das Verhalten des Bodens gegen Gase	171
1. Bestimmung des hyroskopischen Wassers	171
2. Die Absorptionsfähigkeit des Bodens für Wasserdampf	172
3. Bestimmung der Hygroskopizität des Bodens nach Rode- wald-Mitscherlich	172
4. Die Absorption des Bodens an atmosphärischem Sauerstoff	178
5. Die Luftkapazität des Bodens	179
6. Die Durchlüftungsfähigkeit des Bodens	180
E. Das Verhalten des Bodens gegen Wärme	181
1. Die Wärmeabsorption des Bodens bei direkter Sonnen- bestrahlung	181
2. Das Wärmeleitungsvermögen des Bodens	183
3. Die Benetzungswärme des Bodens	184
F. Die Bestimmung der Bodenkolloide	184
a) Die chemische Methode von Bemmelen	186
b) Die Kolloidbestimmung mittels Absorption von Farb- stoffen	187
c) Bestimmung des Kolloidgehaltes der Böden nach der Rodewald-Mitscherlichschen Hygroskopizitätsbestimmung	188
G. Die Bestimmung der Bodenreaktion	189
1. Die Bestimmung der Azidität und Alkalität der Böden	189
2. Die Bestimmung der Bodenreaktion mit Lackmus und anderen Indikatoren	190
3. Die elektrometrische Messung der Wasserstoffionenkon- zentration	191
4. Kolorimetrische Methoden	192
a) Die Methode nach Hasenbäumer	192
b) Die Methode nach Christensen	195
c) Die Methode nach Comber	196
5. Titrimethoden	198
a) Die Bestimmung der Gesamtazidität nach Daikuhara	198
b) Die Methode nach Tacke und Süchting (für Moorböden)	199
c) Methode nach Albert	200
d) Die Methode nach Baumann-Gully	201
e) Methode nach Odén	201
6. Die molekulare Berechnung des Salzsäureauszuges	202
Die Bestimmung der Azidität nach Ganssen	202
7. Weitere Methoden der Säurebestimmung	202
a) Die Methode nach Stutzer und Haupt	202

	Seite
b) Die Methode nach Truog	203
c) Die Methoden nach Loew u. a.	203
H. Die elektrische Messung der löslichen Bodensalze	203
J. Die Kohäsion und Adhäsion des Bodens	204
VI. Bodenbiologische Untersuchungsmethoden. (Von Dr. Wießmann)	209
1. Sterilisierung des Bodens	209
2. Keimgehalt des Bodens	209
3. Katalytische Kraft des Bodens	210
4. Abbau der Kohlenstoffsubstanzen im Boden	211
5. Stickstoffumsetzungen im Boden	211
6. Biologischer Nachweis des Kalkbedürfnisses des Bodens . .	211
Allgemeine Grundsätze für die Bodenanalyse	214
Anhang	217
I. Atomgewichte der häufiger vorkommenden Elemente.	217
II. Koeffizienten zur Berechnung der gesuchten Substanz	217
III. Gewichte einiger Gase	219
Literatur über wissenschaftliche Bodenuntersuchung . . .	220
A. Schriften allgemeinen Inhalts	220
B. Entnahme von Bodenproben	222
C. Chemische Bodenuntersuchung	222
D. Mechanisch-physikalische Bodenuntersuchung	232
E. Biologische Untersuchungsmethoden	238
Sachregister	240

Biblioteca USM

Einleitung.

Die wissenschaftliche Bodenuntersuchung, soweit bei ihr physikalische und chemische Untersuchungsverfahren in Anwendung kommen, wurde früher lediglich als ein Zweig der analytischen Chemie angesehen und daher in fast allen Lehrbüchern der quantitativen chemischen Analyse in einem besonderen Kapitel mehr oder weniger ausführlich behandelt. In Anbetracht der großen Fortschritte, welche die wissenschaftliche Bodenkunde seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts gemacht hat, ist eine in sich abgeschlossene und von dem umfassenden Gebiete der analytischen Chemie abgetrennte, durch mineralogische und biologische Methoden erweiterte Betrachtung der Bodenuntersuchung um so mehr gerechtfertigt, als in diesem Zweige der Wissenschaft sowohl durch das zu untersuchende Material, den Boden, als auch durch die mannigfachen Fragen, welche durch seine Untersuchung ihre Lösung finden sollen, zum Teil ganz besondere Methoden in Anwendung kommen müssen.

Um die Grundsätze zu gewinnen, welche uns bei der Bodenuntersuchung leiten sollen, ist es notwendig, daß wir uns zuerst über den Begriff „Boden“ und die Einteilung der verschiedenen Bodenarten verständigen, sodann die Entstehung des Bodens kurz betrachten und schließlich den Zweck der Bodenuntersuchung festzustellen suchen.

1. Die Begriffsbestimmung des Bodens.

Der Begriff „Boden“ ist oft auf sehr Verschiedenartiges angewandt worden. Von den zahlreichen Definitionen seien hier nur die wichtigsten der neueren Forscher genannt.

Ramann (39) definiert den Begriff „Boden“ vom geologischen Gesichtspunkte und bezeichnet den Boden (Erdboden)

als „die obere Verwitterungsschicht der festen Erdrinde“. Mitscherlich (32) hingegen betrachtet den Boden vom rein pflanzenphysiologischen Standpunkte aus und kommt der von uns vertretenen Auffassung sehr nahe, wenn er sagt: „Boden ist ein Gemenge von pulverförmigen, festen Teilchen, Wasser und Luft, welches, versehen mit den erforderlichen Pflanzennährstoffen, als Träger einer Vegetation dienen kann.“ Nach der Auffassung Wahnschaffes u. a. ist das Wort „Boden“ kein geologischer, sondern ein kulturtechnischer, vorwiegend land- und forstwirtschaftlicher Begriff, bei dessen Definition das Hauptgewicht auf seine Beziehungen zur Pflanzenwelt gelegt werden muß. Wenn wir vom Boden sprechen, so verbinden wir damit ganz unbewußt die Vorstellung, daß dieses Ding imstande sei, der Pflanzenwelt Standort und Nahrung zu gewähren. Wir verstehen demnach unter Boden die oberste lockere und zum Teil erdige Schicht unserer Erdrinde, soweit dieselbe imstande ist, eine Vegetation, mag dieselbe auch noch so kümmerlich sein, zu tragen. In dieser Definition ist demnach sowohl der durch Menschenhand für den Pflanzenwuchs geeignet gemachte Kulturboden, als auch der allein durch die Naturkräfte geschaffene Naturboden einbegriffen.

Im Anschluß hieran wollen wir noch einige ebenfalls sehr viel gebrauchte Bezeichnungen erläutern, die zum Boden in enger Beziehung stehen. Es sind dies die Begriffe: Ackerboden, Ackererde, Ackerkrume, Oberkrume, Untergrund, Oberboden und Unterboden.

Als Ackerboden bezeichnet man das von der Landwirtschaft zum Anbau von Kulturpflanzen benutzte Land; wir können diesen Begriff, der nur eine bestimmte Kategorie des Bodens umfassen will, daher nicht auf den Wiesen- und Waldboden anwenden. Die Ackererde oder Ackerkrume ist die vom Pfluge bewegte und durch Umwandlung der Pflanzenrückstände sowie durch Düngung mehr oder weniger humifizierte oberste Schicht des Ackerbodens, die sich durch ihre dunklere Farbe meist deutlich von der darunterliegenden Schicht, dem Untergrunde, abhebt. Von der flacheren oder tieferen Kultur des Bodens ist die Dicke oder Mächtigkeit der Ackerkrume abhängig. Die meisten praktischen und theoretischen Landwirte gebrauchen Oberkrume, eine bei Wiesen- und Waldboden anzuwendende Bezeichnung, die sich ebenfalls auf die oberste

durch Pflanzenwuchs humifizierte Bodenschicht bezieht, als einen der Ackerkrume völlig gleichwertigen Begriff und nennen das darunter Folgende den flacheren oder tieferen Untergrund. In betreff dieses Untergrundes, z. B. seiner mehr oder weniger großen Durchlässigkeit gegen Wasser, seiner Kapillarität, seines Grundwasserstandes usw., vermag die Geologie in Verbindung mit der Petrographie durch Untersuchung der petrographischen Eigenschaften der Schichten und durch Erforschung ihrer Lagerungsverhältnisse dem Landwirte wichtige Aufschlüsse zu geben. Der Untergrund ist für die Landwirte ein Teil des Ackerbodens, er kann aber nur, soweit er für die Pflanzen-

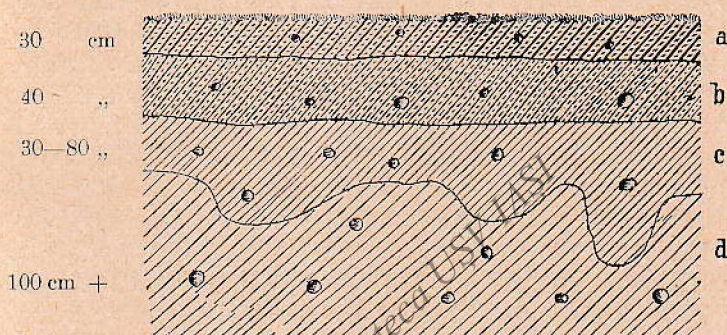


Abb. 1. Profil des Geschiebemergels im norddeutschen Flachlande.

- a) Schwach humoser lehmiger Sand = Acker- oder Oberkrume (A),
- b) Lehmiger Sand = flacher Untergrund (B_1),
- c) Sandiger Lehm = tieferer Untergrund (B_2),
- d) Sandiger Geschiebemergel = tiefster Untergrund (Ursprungsgestein (C)).

ernährung in Betracht kommt, zum Boden gerechnet werden. Man kann daher bei flachkrumigen Böden von dem Felsuntergrund eines Ackerbodens sprechen, ohne ersteren zum „Boden“ rechnen zu dürfen.

Die in jüngster Zeit in die Bodenkunde eingeführten Bezeichnungen Oberboden, Unterboden, Untergrund (Mutergestein) sind dahin zu definieren, daß Oberboden und Unterboden den verwitterten, der Untergrund den unverwitterten Boden darstellen; man bezeichnet diese verschiedenartigen Schichten auch mit Horizont A, B und C, deren jeder in sich eine weitere Gliederung erfahren kann, z. B. B_1 , B_2 usw. (12).

Der in der Praxis gebräuchlichen Bezeichnungsweise folgend, empfiehlt es sich, bei Ackerböden die vom Pfluge bewegte, stärker humifizierte Schicht als Acker- oder Oberkrume, alle

darunter liegenden verschiedenen Erdschichten als flacheren oder tieferen Untergrund zu bezeichnen. Das auf den Hochflächen des norddeutschen Flachlandes so weit verbreitete Profil des Geschiebemergels, der jüngsten Grundmoräne des ehemaligen Inlandeises (51), mit seinen Verwitterungsprodukten *a*, *b*, *c* möge dies näher veranschaulichen (Abb. 1).

2. Die Klassifikation des Bodens.

Bei der Einteilung der Bodenarten ist man von sehr verschiedenen Gesichtspunkten ausgegangen, die jedoch meist mehr oder weniger einseitig nur eine einzelne Beziehung berücksichtigen, nicht aber die charakteristische Zusammensetzung des Bodens selbst als Ausgangspunkt nehmen.

Vom rein praktischen Standpunkte aus hat man die Bodenarten hinsichtlich ihrer Ertragsfähigkeit in verschiedene Klassen eingeteilt und spricht von Boden erster, zweiter, dritter Klasse usw. Diese Einteilung hat dadurch eine Bedeutung erlangt, daß sie zur Ermittlung des Bodenreinertrags für die Grundsteuer angewandt worden ist. Andere Einteilungen berücksichtigen die von der Landwirtschaft gebauten Pflanzen und teilen die Bodenarten danach ein, ob diese Pflanzen mehr oder weniger gut darauf gedeihen. Ein System benutzt hierzu die Getreidearten und unterscheidet: Weizenboden, Gersteboden, Roggenboden und Haferboden. Erwähnt sei noch die Bodenklassifikation von Schönleuthner, der den Versuch gemacht hat, die Futterkräuter für eine Bodengliederung zu benutzen. Seine beiden Hauptklassen sind: 1. klee-fähige Bodenarten; 2. nicht klee-fähige, zugleich kalklose Bodenarten.

Die Forstwirtschaft bezeichnet ihre Bodenarten nach den Waldbäumen und unterscheidet z. B. Buchenboden, Eichenboden, Kiefernboden, Erlenboden usw.

Auch nach der wildwachsenden Flora hat man die Bodenarten einzuteilen versucht. Auf die Wichtigkeit, darauf bezügliche Beobachtungen für die Bodenkunde nutzbar zu machen, haben vor allen Dingen Unger, Trommer, Senft und Braungart hingewiesen.

Einige Forscher haben die chemischen Eigenschaften des Bodens als Ausgangspunkte für die Einteilung gewählt. Knop teilte die Böden in Silikat-, Karbonat- und Sulfatböden ein; er benutzte ferner die Absorptionsfähigkeit des Bodens gegen

Pflanzennährstoffe, indem er die verschiedenen Bodenarten auf ihr Verhalten gegen eine Salmiaklösung von bestimmtem Gehalt prüfte und sie nach ihrer mehr oder weniger großen Absorptionsfähigkeit in Klassen einteilte. Je geringer dieselbe, je niedriger im allgemeinen die Bodenklasse.

Fallou, Girard und Senft haben uns ein petrographisch-geognostisches System der Bodenklassifikation gegeben.

Fesca unterzieht die verschiedenen Systeme, sowohl die ökonomischen als auch die naturwissenschaftlichen, einer kritischen Betrachtung und hebt mit Recht hervor, daß auch Senft, welcher bei seiner Bodeneinteilung nicht wie Fallou und Girard das Ursprungsgestein, sondern den Boden selbst in den Vordergrund stellte, in zu einseitig petrographischer Richtung vorgegangen sei, während er die agronomischen Beziehungen des Bodens dabei vernachlässigte. Wir werden dem letzteren Umstande dadurch am besten gerecht, daß wir das Thaersche Ackerklassifikationsprinzip im wesentlichen beibehalten.

Für die Generalgliederung nimmt Fesca zwei große Hauptgruppen an, deren erste er wiederum in zwei Unterabteilungen trennt. Seine Einteilung ist folgende:

I. Verwitterungsböden, II. Schwemmböden,

A. der Primitivgesteine, B. der deuterogenen Gesteine.

Obwohl das geologische Einteilungsprinzip nach der Entstehung der Bodenarten für die Hauptgliederung sehr zweckmäßig ist und deshalb schon mehrfach Anwendung gefunden hat, so ist doch die bisher allgemein gebräuchliche Bezeichnung „Schwemmböden“ nach dem jetzigen Stande der geologischen Wissenschaft nicht umfassend genug, und man schließt sich heute vielfach — ohne die Mängel auch dieser Bezeichnungsweise zu verkennen — derjenigen an, welche Lorenz von Liburnau (29) gewählt hat, indem er die Bodenarten ebenfalls nach ihrer Entstehung in zwei große Hauptgruppen teilte, in die Primitiv- und Derivatböden. Als Primitivböden (Ur- oder ursprüngliche Böden) können wir diejenigen Bodenarten bezeichnen, welche direkt aus dem anstehenden festen Gestein, durch seine Verwitterung, oder wie der Torf an Ort und Stelle aus umgewandelten Pflanzenresten hervorgegangen sind. Nach dem Ursprungsgebilde sind Primitiv-

böden der kristallinen und der sedimentären Gesteine sowie der Torfbildungen zu unterscheiden. Die Derivatböden (abgeleitete oder umgelagerte Böden) sind die Bodenarten solcher meist lockeren Ablagerungen, die in jüngerer geologischer Zeit durch Wasser in fester (Gletschereis) oder flüssiger Form oder auch durch den Wind transportiert worden sind.

Zur weiteren Gliederung der verschiedenen Bodenarten innerhalb der beiden Hauptabteilungen benutzen wir am besten das sowohl den wissenschaftlichen als auch den praktischen Anforderungen in gleicher Weise gerecht werdende physikalische Ackerklassifikationssystem, welches Albrecht Thaer in Vorschlag gebracht hat. Thaer (44) unterscheidet die Bodenarten nach den darin hauptsächlich vorwaltenden Gemengteilen, welche wir als Hauptbodenkonstituenten bezeichnen können. Es ergeben sich danach folgende Bodengruppen: 1. Steinböden (Geröll-, Schotter-, Kies- und Grusböden). 2. Sandböden. 3. Lehm Böden. 4. Tonböden. 5. Mergelböden. 6. Kalkböden. 7. Humusböden.

Frosterus hat neuerdings die Bodenarten in drei Hauptklassen eingeteilt: A. Mineralbodenarten, B. Organogene Bodenarten und C. Übergänge zwischen mineralischen und organogenen Bodenarten (10). Innerhalb dieser Klassen können nun verschiedene Gruppen unterschieden werden, bei denen für jede ein anderer Einteilungsgrund gewählt werden kann. Obwohl diese Art der Einteilung ihre wissenschaftliche Berechtigung besitzt, empfiehlt es sich doch aus praktischen Gründen, die alte Thaersche Einteilung beizubehalten, um so mehr, als sie sich ebenfalls in die beiden Hauptklassen Mineralbodenarten und organogene Bodenarten einordnen läßt.

Die Erfahrung, welche man überall in der Natur machen kann, daß sich bei der Klassifikation sowohl lebender als lebloser Dinge scharfe Grenzen nicht immer ziehen lassen, zeigt sich auch bei der Einteilung der Bodenarten, da die oben aufgeführten Bodengruppen ganz allmähliche Übergänge ineinander zeigen, ja zum Teil schon selbst, wie die Lehm- und Mergelböden, Übergangsgebilde sind.

Ein einzelner Hauptkonstituent, sei es Sand, Ton, Kalk oder Humus, vermag für sich allein nicht, den Kulturpflanzen einen entsprechend fruchtbaren Boden zu gewähren; je gleichmäßiger der Anteil aller an der Zusammensetzung des Bodens ist, desto höher steigt sein Wert und Ertrag. Es ist daher eine wichtige Aufgabe der wissenschaftlichen Bodenuntersuchung, die Hauptkonstituenten eines Bodens quantitativ zu ermitteln, da sein Kulturwert wesentlich von ihrem Verhältnis zueinander

abhängt. Ein Sandboden gewinnt bekanntlich durch mehr oder weniger hohen Tongehalt sehr wesentlich an wasserhaltender Kraft und Absorptionsfähigkeit, aber auch ein Tonboden wird durch Sandgehalt in seinen physikalischen Eigenschaften verbessert, er wird mürber, durchlässiger und leichter bestellbar. In noch höherem Grade ist ein Kalkboden erst in Verbindung mit Sand und Ton, also je mehr er sich dem Mergelboden nähert, für die Landwirtschaft von Bedeutung, während der extreme Humusboden (Torf), um kulturfähig zu werden, besonderer Meliorationen bedarf.

Da die Natur die mannigfaltigsten Spielarten und Übergänge von Böden hervorzubringen vermag, so ist es natürlich oft sehr schwierig, einen derartigen Boden zu klassifizieren. Man hat dieser Schwierigkeit dadurch zu begegnen versucht, daß man Minimalzahlen der charakteristischen Bestandteile aufstellte, welche ein Boden enthalten soll, um noch dieser oder jener Gruppe zugerechnet werden zu können (vgl. S. 45). Hierbei ist zu beachten, daß die abschlämmbaren Teile nicht nur Ton, sondern auch staubfeinen Sand enthalten. Was den Humus anbelangt, so genügen oft schon 7–8% im Minimum, um wirkliche Humusböden zu bilden.

Die Benennung der Bodenarten nach den Konstituenten ist nicht derartig aufzufassen, daß immer der die höchste Prozentzahl erreichende Gemengteil den Namen hergibt, was nur bei den Sand- und Kalkböden der Fall ist. Man muß vielmehr den physikalisch wichtigsten Gemengteil als maßgebend ansehen, auch wenn er durch keine relativ hohe Prozentzahl in der Zusammensetzung des Bodens vertreten ist. So ist der Ton so lange der wichtigste Bodenkonstituent, als seine physikalischen Eigenschaften nicht durch einen anderen Gemengteil verdeckt oder aufgehoben werden. Geschieht dies z. B. durch Sand, so wird ein Boden, sobald er nicht mehr plastisch, sondern nur noch bindig ist, zu den Lehm Böden gestellt werden müssen. Wird der Sandgehalt noch größer, so verliert sich auch das Bindige, und wir haben je nachdem einen sandigen Lehm oder lehmigen Sand vor uns.

Was die Tonböden der Derivatgruppe von den Lehm Böden unterscheidet, ist außer ihren plastischen Eigenschaften ihre äußerst feinkörnige Beschaffenheit, welche eine Folge ihres Absatzes in ruhigem oder ganz schwach bewegtem Wasser ist. Es gibt allerdings auch sehr feinkörnige Lehme (Schlufflehme),

z. B. die aus dem äolischen kalkhaltigen Löß entstandenen Lößlehme, doch haben diese gleich dem Löß neben einem sehr hohen Quarz- nur einen geringen Tongehalt.

3. Die Entstehung des Bodens.

Die oberflächliche Bildung der Erdrinde, welche der Pflanzendecke als Träger und Ernährer dient, und die wir als Boden bezeichnet haben, entsteht durch Verwitterung, d. h. durch Zerfall und Zersetzung der an die Erdoberfläche tretenden festen oder lockeren Gesteinsschichten, zu welch letzteren wir auch die Moorbildungen zu zählen haben.

Die Kräfte, welche bei der Verwitterung in Wirksamkeit treten und gleichzeitig nebeneinander wirken, sind teils physikalischer, teils chemischer Natur; sie müssen etwas ausführlicher betrachtet werden. Zunächst ist es die Wärme, welche sowohl für sich allein als auch in Verbindung mit Wasser das Gestein für den weiteren Zersetzungsprozeß vorbereitet. Durch die ungleiche Ausdehnung der verschiedenen im Gestein auftretenden Mineralien bei starker Sonnenbestrahlung und nachheriger Abkühlung bilden sich nach und nach kleine Risse und Sprünge, so daß infolgedessen eine Lockerung des Gesteinsgefüges entsteht. Auf diesen Kapillarräumen dringt das Wasser in das Gestein ein und erweitert dieselben dadurch, daß es beim Gefrieren einen größeren Raum einnimmt als im flüssigen Zustande (Spaltenfrost). Auch das Dickenwachstum der Wurzeln, die Lebewesen im Boden, führen zum Zerfall der Gesteine. Diesen im kleinsten Raume wirkenden Kräften vermag selbst das festeste Gestein nicht Trotz zu bieten, so daß es schließlich oberflächlich in ein Haufwerk von Trümmern zerfällt. Im Verein mit dieser Lockerung vollzieht sich zugleich bei den Gesteinen, welche der Zersetzung fähige Mineralien enthalten, ein chemischer Umwandlungsprozeß, bei welchem vor allen Dingen der Sauerstoff der atmosphärischen Luft, das Wasser, sowie die in demselben gelöste Kohlensäure tätig sind. Auch Humusstoffe und Salzlösungen tragen zur Verwitterung der Böden bei; sehr oft wird letztere auch durch biologische Vorgänge vermittelt.

Der Sauerstoff verwandelt die in den Gesteinen vorhandenen Metalloxyde in Oxyde und, da fast immer Wasser zugegen ist, in Hydroxyde. Das mit der Kieselsäure verbundene Eisenoxydul wird auf diese Weise in Eisenhydroxyd verwandelt. Durch diesen Prozeß werden die Mineralien, welche kieselsaures Eisenoxydul enthalten, wie beispielsweise manche Feldspate, gewisse Glimmer, Hornblende und Augit, in ihrem Gefüge gelockert. Die Schwefelmetalle enthaltenden Gesteine, zu denen unter den sedimentären hauptsächlich die Tonschiefer, bituminösen Mergel und Letten zu rechnen sind, erleiden eine Zersetzung dadurch, daß ihre Schwefelmetalle unter Berührung mit feuchter Luft in schwefelsaure Salze oder Vitriole umgewandelt werden. Das Wasser laugt die letzteren aus, das Gestein wird infolgedessen löcherig und zellig und zerfällt schließlich in einzelne Scherben und Brocken.

Wie aus den Untersuchungen von Cushman (95) u. a. hervorgeht, ist es in erster Linie die hydrolysierende Kraft des Wassers, welche die chemische Verwitterung der Silikate einleitet. Die Wasserstoff- und Hydro-

xyllionen des dissoziierten Wassers führen die ersten Umsetzungen herbei, erst dann setzt die chemische Tätigkeit der Kohlensäure, der Humusstoffe usw. ein.

Auf der Einwirkung insbesondere der Hydrolyse und des kohlensäurehaltigen Wassers auf die an Alkalien (Kali und Natron) und alkalische Erden (Kalkerde, Magnesia) reichen Silikatgesteine beruht der Tonbildungsprozeß. Die Alkalien und alkalischen Erden gehen dabei in Lösung und tragen als Pflanzennährstoffe zur Fruchtbarkeit der Böden bei. Über die Vorgänge der Tonbildung finden sich in den Schriften von Ramann (38, 39), Ehrenberg (4), Ganßen (121), Lang (25) u. a. eingehende Darlegungen, auf die hier verwiesen sei.

Das durch den eben beschriebenen Verwitterungsprozeß in lockere Massen aufgelöste und zersetzte Gestein unterliegt nun der weiteren mechanischen Bearbeitung des Wassers, welches durch Regengüsse und Schneeschmelzen, durch Bäche und Flüsse immerfort bestrebt ist, dieses Material von den Höhen herabzuführen und in tiefer gelegenen Gebieten wieder abzusetzen.

Es muß an dieser Stelle davon abgesehen werden, auf die Einzelheiten der Bodenbildung näher einzugehen. Es lag uns nur daran, die allgemeinen Gesetze, nach denen sich dieselbe vollzieht, anzudeuten.

4. Der Zweck der Bodenuntersuchung.

Bei der Untersuchung des Bodens können uns geologische, agronomische oder hygienische Rücksichten leiten.

Vom rein geologischen Standpunkte aus wird uns hauptsächlich die Ermittlung der petrographischen Zusammensetzung des Bodens, sowie die Feststellung seiner Beziehungen zum Muttergestein, der Verwitterungsgang, interessieren. In hygienischer Beziehung ist, abgesehen von biologischen Untersuchungen, vor allen Dingen die Feststellung der physikalischen Eigenschaften des Bodens von Wichtigkeit, namentlich der Korngröße, des Porenvolumens, der Wasserkapazität, sowie überhaupt der Beziehungen zu Wasser, Luft und Wärme (9). Da jedoch der Boden nach unserer Definition ein vorwiegend landwirtschaftlicher Begriff ist, so haben auch die meisten Untersuchungen, die man mit demselben anstellt, den Zweck, wissenschaftliche und praktische Fragen der Land- und Forstwirtschaft sowie der wissenschaftlichen Bodenkunde zu lösen.

Jene Zeiten sind längst vorüber, in denen man den Boden nur als Träger und nicht als Ernährer der Pflanzen ansah und glaubte, daß allein seine physikalischen Eigenschaften auf die Vegetation von Einfluß seien. Heute weiß man, daß die Pflanzenproduktion von diesen physikalischen Eigenschaften zwar wesentlich beeinflußt, aber durch sie nicht ausschließlich bedingt wird.

Einen ihrer Hauptbestandteile, den Kohlenstoff, entnimmt die Pflanze direkt aus der atmosphärischen Luft, die übrigen zu ihrer Ernährung und Entwicklung erforderlichen Stoffe erhält sie dagegen sämtlich, teils mittelbar, teils unmittelbar, durch den Boden, mit Ausnahme desjenigen Stickstoffs, den die sogenannten Stickstoffsammler auch dem in den Wurzelknöllchen festgelegten Luftstickstoff entnehmen. Da die Bodenuntersuchung die Nährsubstanzen der Pflanze ermitteln soll, so wollen wir kurz auf die Elementarstoffe der letzteren eingehen.

Alle lebenden Pflanzenteile besitzen eine große Menge Wasser, welches sowohl einen Hauptbestandteil des Zellsaftes bildet, als auch alle Membranen und das Protoplasma durchtränkt. Der Substanz aller organisierten pflanzlichen Gebilde sind kleine Wasserteilchen eingelagert. Dieses zur Vegetation unbedingt erforderliche Wasser entweicht, wenn man Pflanzenteile längere Zeit bei 100–110° C erhitzt. Der aus der Gewichtsabnahme zu berechnende Wassergehalt ist bei den verschiedenen Pflanzenteilen sehr verschieden; er beträgt beispielsweise in trockenen Samen 12–15%, in saftigen Kräutern 60–80% und in Wasserpflanzen und Pilzen bis zu 95%. Diesen Hauptpflanzen-nährstoff, das Wasser, erhält die Pflanze mittelbar durch den Boden, da derselbe infolge seiner kapillaren Struktur, ähnlich wie ein Schwamm, die Fähigkeit besitzt, in mehr oder weniger hohem Grade das sich ihm darbietende Wasser aufzusaugen und festzuhalten.

In den bei 110° C getrockneten Pflanzenteilen findet man bei näherer Untersuchung eine große Anzahl chemischer Verbindungen, von denen man diejenigen, welche chemische Vereinigungen des Kohlenstoffs mit anderen Elementen darstellen und welche bei der Verbrennung zerstört werden, als organische Verbindungen bezeichnet. Dagegen bleiben die anorganischen Verbindungen der Pflanzensubstanz als Asche bei der Verbrennung zurück. Hierbei sei bemerkt, daß der Schwefel, welcher einen Bestandteil der organischen Verbindungen in den Pflanzen ausmacht, durch chemische Prozesse während der Verbrennung teilweise mit in die Asche hineingelangt und als Sulfat darin zu finden ist. Ebenfalls darf man die bei der Verbrennung gebildete Kohlensäure, welche sich zum Teil mit den anorganischen Stoffen des Verbrennungsrückstandes verbindet, bei Aschenanalysen nicht berücksichtigen. Die in größeren Mengen in den Pflanzen vorkommenden organischen Verbindungen bestehen aus Kohlenstoff und Wasserstoff oder aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff oder auch aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Schwefel.

Durch Vegetationsversuche hat man festgestellt, daß gewisse anorganische Stoffe keine zufälligen Gemengteile der Pflanze bilden, sondern daß sie unbedingt zu ihrem Leben und Wachstum, mithin zur Bildung der genannten organischen Verbindungen, erforderlich sind.

Diejenigen Elemente, welche zur Pflanzenernährung notwendig sind, lassen sich nach ihrer Verwendung einteilen in:

Elemente zur Bildung der organischen Verbindungen: C, H, O, N, S, und

Elemente zur Bildung der anorganischen Verbindungen: P, Cl, K, Ca, Mg, Fe.

Außerdem finden sich in Pflanzenaschen zuweilen noch andere Elemente, die aber für die Ernährung keine ausschlaggebende Bedeutung haben, es sind dies: Na, Li, Mn, Si, J, Br und sehr selten Al, Cu, Zn, Ni, Sr, Ba.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich, daß wir bei der Untersuchung des Bodens auf seinen Gehalt an Pflanzennährstoffen, abgesehen vom Wasserstoff und Sauerstoff, auf folgende acht Elemente Rücksicht nehmen müssen: Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Chlor, Kalium, Kalzium, Magnesium und Eisen.

Da nun, wie wir bereits andeuteten, das Gedeihen der Pflanze nicht nur von der chemischen Zusammensetzung des Bodens, sondern auch von seiner mechanischen Mengung und seinen physikalischen Eigenschaften, dabei namentlich auch von seinem Gehalte an kolloiden Stoffen in hohem Grade abhängig ist, so muß eine Bodenanalyse, welche allen Anforderungen der Landwirtschaft gerecht werden soll, folgendermaßen ausgeführt werden:

1. muß die mechanische Mengung des Bodens quantitativ festgestellt werden. Wir bezeichnen diese Untersuchung als mechanische Bodenanalyse;
2. müssen die Bodenkonstituenten Sand, Ton, Humus, Kalk quantitativ ermittelt werden. Wir bewirken dies zum Teil durch die mechanische Analyse, zum Teil durch chemische Untersuchungsmethoden, die wir einerseits unabhängig von der mechanischen Analyse, anderseits in Verbindung mit ihr anstellen;
3. müssen wir den Gehalt des Bodens an Pflanzennährstoffen durch chemische Analysen ermitteln;
4. müssen wir auf die der Pflanzenwelt schädlichen Stoffe Rücksicht nehmen;
5. müssen wir Versuche anstellen, welche uns direkten Aufschluß geben über gewisse Eigenschaften des Bodens, die zum Teil auf physikalischen, zum Teil auf chemischen Ursachen beruhen.

Derartige vollständige Bodenuntersuchungen, zu denen oft noch solche bakteriologischer Art hinzutreten, sind für die Beurteilung des Bodens von großer Wichtigkeit;

jedoch müssen wir dabei berücksichtigen, daß sich sein Wert nicht allein auf Grund dieser Untersuchungen bestimmen läßt. Die größere oder geringere Fruchtbarkeit des Bodens ist nicht nur von seiner mechanischen und chemischen Zusammensetzung, sondern noch von verschiedenen anderen außerhalb derselben liegenden Bedingungen abhängig, zu denen beispielsweise die mehr oder weniger geneigte sowie die höhere oder tiefere Lage des Bodens, seine Untergrundverhältnisse, der Grundwasserstand, das Klima und anderes gehören.

Biblioteca UȘV IASI

Der Gang der Bodenuntersuchung.

Vorarbeiten zur Bodenuntersuchung.

Ehe wir auf den in der Einleitung vorgezeichneten Gang der Bodenuntersuchung näher eingehen, wollen wir die Arbeiten besprechen, welche ihr vorausgehen müssen. Sie beziehen sich auf die Probeentnahme, die Aufbewahrung und die Zubereitung des Bodens zur Analyse.

Bei der Entnahme des Bodens wird es sich nur in Ausnahmefällen, bei völlig gleichartiger Bodenbeschaffenheit, empfehlen, gemischte Durchschnittsproben der Oberkrumen einer Ackerfläche zu entnehmen; in der Regel soll man charakteristische Einzelproben auswählen. Für die profilistische Probeentnahme, bei welcher es darauf ankommt, möglichst typische Bodenprofile auszusuchen, ist die zweite Methode ganz unerlässlich. Hat man mittels Handbohrzeug (siehe Abb. 2 u. 3) die Bodenverhältnisse des zu untersuchenden Geländes und damit die typischen Bodenprofile festgestellt, so richtet man zur Entnahme eine viereckige Probegrube her, deren Wände man senkrecht mit einem Spaten absticht. Zunächst wird die Ackerkrume genau bis zu ihrer unteren Grenze aus der Grube mittels Spaten oder des Görbingschen Löffels (Abb. 4) ausgehoben, auf ein untergelegtes Laken geschüttet und gleich-



Abb. 2.



Abb. 3.

mäßig mit dem Spaten gemischt. Hiervon entnimmt man dann unter möglichster Auslesung der Wurzelrückstände und größeren Steine eine geeignete Probe. In gleicher Weise verfährt man



Abb. 4.
Görbingscher Löffel.

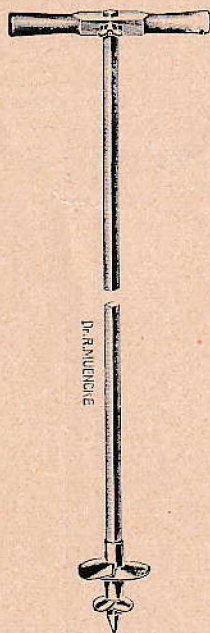


Abb. 5. Amerikanischer
Tellerbohrer.

bei der Entnahme des flacheren und tieferen Untergrundes. Zuerst wird man die unmittelbar unter der Ackerkrume befindliche Erdschicht zu berücksichtigen haben, indem man 2 bis 3 dem derselben aushebt. Die Anzahl und Tiefe der ferner dem Untergrund zu entnehmenden Proben richtet sich ganz nach der Beschaffenheit des Bodenprofils. In vielen Fällen wird es z. B. von Vorteil sein, auch dem unverwitterten Gestein des tieferen Untergrundes Proben zu entnehmen, um die Vorgänge physikalischer und chemischer Verwitterung verfolgen zu können. Will man Proben einer ganzen Schichtenfolge bis zu 2 m Tiefe entnehmen, so empfiehlt es sich, da das Auswerfen einer so tiefen Grube in vielen Fällen unbequem und zeitraubend sein würde und ein brauchbarer natürlicher oder künstlicher Aufschluß, besonders dort, wo es sich um die Untersuchung eng begrenzter Gebiete handelt, nur selten vorhanden sein dürfte, dazu einen 2 m langen amerikanischen Tellerbohrer (Abb. 5) zu verwenden. Dieser hat unten ein korkzieherartiges, nach oben zu einen Teller bildendes Gewinde. Dadurch, daß man den Bohrer vorsichtig in den Boden hineinschraubt und mehrmals heraushebt, kann man, besonders wenn der Boden feucht ist, mit Leichtigkeit gute Proben aus allen gewünschten Tiefen erhalten.

Bei Wiesenböden wird man zuerst die Grasnarbe entfernen, um aus der von ihr bedeckten durchwurzelten Oberkrume die Probe zu entnehmen. Für forstliche Bodenuntersuchungen empfiehlt Burger (298) Proben in folgenden Tiefen zu nehmen: 1. 0—10 cm, 2. 20—30 cm, 3. 50—60 cm, 4. 90—100 cm. Im Walde geht die Hauptwurzel ausbreitung selten tiefer als 60 cm,

so daß es in den meisten Fällen genügt, die ersten drei Stufen zu untersuchen.

Über die Entnahme von Proben aus Moorböden existieren besondere Vorschriften; siehe Abschnitt über Moorböden.

Bei Gebirgsböden wird man sich oft darauf beschränken können, nur von der Verwitterungsrinde (Oberkrume) und dem anstehenden Gesteine Proben zu entnehmen.

Gleich bei der Probeentnahme muß eine Untersuchung der allgemeinen Beschaffenheit des Bodens stattfinden. Es sind hauptsächlich in betreff folgender Punkte genaue Ermittlungen anzustellen:

1. über den geologischen Ursprung und die petrographische Beschaffenheit des Bodens;
2. über die Untergrundverhältnisse, wenn möglich bis zu 2 m Tiefe;
3. über die Mächtigkeit der Ackerkrume;
4. über die Lage des Bodens über dem Meeresspiegel;
5. über die Neigung des Bodens;
6. über den Grundwasserstand;
7. über die klimatischen Verhältnisse der Gegend;
8. über die Klasse, in welche der Boden eingeschätzt worden ist;
9. über die Beurteilung von seiten des praktischen Landwirtes;
10. über die in den letzten Jahren stattgehabte Düngung;
11. über vorgenommene größere Meliorationen (Mergelung, Rigolen, Drainage, Berieselung);
12. über Ernteerträge und Fruchtfolge.

Über den geologischen Ursprung, die sich daraus ergebende petrographische Beschaffenheit und über die Untergrundverhältnisse, ferner über die Lage des Bodens über dem Meeresspiegel, die Neigung und Oberflächengestaltung des Bodens sowie über den Grundwasserstand vermögen die geologischen und vor allem die geologisch-agronomischen Karten oft sehr wertvolle Aufschlüsse zu geben. Wo solche vorhanden sind, sollten sie daher stets zu Rate gezogen werden. Es würde zu weit führen, hier näher auf dieses Thema einzugehen, deshalb sei auf einige neuere Schriften verwiesen, die in das Verständnis der geologisch-agronomischen Karten einführen wollen (18, 21, 52).

Es muß noch besonders darauf aufmerksam gemacht werden, daß man bei der Bodenentnahme nicht zu kleine Proben

auswählen darf, da es sich oft erst während der Analyse ergibt, welchen weiteren Untersuchungen der Boden noch zu unterziehen ist. Zuweilen kommt es auch vor, daß Versuche mißlingen oder eine Wiederholung erfordern. Ein Mangel an Untersuchungsmaterial ist dann oft sehr unangenehm. In den meisten Fällen dürften 2—3 kg für die Bodenuntersuchung hinreichend sein.

Was die Aufbewahrung und Zubereitung des Bodens anlangt, so wird man bei Bodenarten, die große Geschiebe und Gerölle führen, letztere etwa bis zur Größe einer Walnuß, gleich auf dem Felde auslesen, sich jedoch ihre ungefähre Menge, ihre Größe, Anzahl und petrographische Beschaffenheit notieren. Darauf füllt man den Boden in Säckchen aus starker Leinwand und versieht jede Probe sofort mit einer Beschriftung, zu welcher am zweckmäßigsten, um das Verlöschen zu verhüten, ein Ölkreidestift benutzt wird.

Den Boden läßt man im Sommer an der Luft, im Winter im mäßig geheizten Zimmer langsam austrocknen, bis er ein ziemlich gleichmäßiges und konstantes Gewicht besitzt. In diesem Zustande bezeichnet man ihn als lufttrocknen Boden. Es ist ratsam, wenn man den Boden längere Zeit aufbewahren muß, ihn in luftdicht verschließbare Glasflaschen mit weitem Halse einzufüllen, da er in einem Laboratorium, wo Ammoniak- und Säuredämpfe nicht zu vermeiden sind, sonst leicht Veränderungen erleidet. Tonige und humose Bodenarten besitzen die Eigenschaft, Ammoniakdämpfe zu absorbieren, und man würde daher bei Bestimmung des Stickstoffgehaltes diesen zu hoch finden, wenn der Boden lange Zeit offen im Laboratorium gelegen hat.

Für einige Untersuchungsmethoden ist es erforderlich, den bergfeuchten Boden sogleich nach der Probeentnahme zu untersuchen. Um ein Austrocknen des Bodens zu verhindern, füllt man die Proben in luftdicht verschließbare Gläser, bedeckt die Proben mit Papier und gießt den Kork, den man bis unter den Rand des Flaschenhalses herabdrückt, mit Paraffin zu.

I. Die mechanische Bodenanalyse.

Die mechanische Bodenanalyse soll uns Aufschluß über das quantitative Mengenverhältnis der den Boden zusammensetzenden gröberen und feineren Bestandteile geben. Um diese mechanische Trennung des Bodens zu erreichen, bedient man sich zweier Mittel, der Körnung mit dem Siebe und der Schlämmung mit Wasser.

A. Die Körnung mit dem Siebe.

Die gröbere Körnung des Bodens mit dem Siebe muß der Schlämmanalyse stets vorausgehen, wenn Bodenarten mit gröberen Bestandteilen zu untersuchen sind, da letztere sich nicht gut in die Schlämmapparate hineinbringen lassen oder, selbst wenn dies möglich wäre, diese verstopfen würden. Für die Absiebung sind Rundlochsiebe mit kreisrund ausgebohrten Löchern den früher und auch noch jetzt in manchen landwirtschaftlichen Laboratorien angewandten Drahtnetzsieben mit quadratischen Maschenöffnungen entschieden vorzuziehen, da die ersteren genauere Messungen gestatten. Sehr zu empfehlen ist das von Dr. R. Muencke angegebene und in Abb. 6 dargestellte Sieb von 12 cm Durchmesser, welches aus einer Messingfassung und einem durch Bajonettverschluß daran zu befestigenden Messingringe besteht, um drei lose Siebscheiben aus gelochtem Zinkblech mit 0,5, 1 und 2 mm weiten Öffnungen darin einlegen zu können. Das Sieb wird zweckmäßig mit einem Deckel und unten mit einem Aufnahmegefäß versehen. Auch sog. Siebsätze (Abb. 7) sind vielfach im Gebrauch. Das Schütteln kann auch mittels Schüttelmaschine erfolgen. Man ist über-

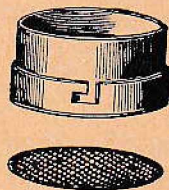


Abb. 6. Rundlochsieb.

eingekommen, für die Zerlegung des Bodens in verschiedene Korngrößen das Metermaß zugrunde zu legen. Man wählt daher die Durchmesser der Löcher des Siebbodens so, daß sie ganze Millimeter und Teile eines Millimeters betragen. Bei größeren Gebirgsschotterböden wird man außer den feineren Sieben noch Siebsätze von 10, 5, 4, 3 mm Lochweite anwenden müssen, während man bei feineren Bodenarten meist mit einem Siebsatz auskommt, der mit 2 mm Lochweite beginnt und zwei weitere Siebböden von 1 und 0,5 mm Lochweite besitzt.

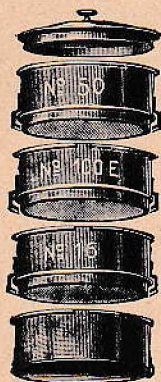


Abb. 7.

Um die mechanische Zusammensetzung des Bodens hinreichend zu charakterisieren und mit anderen Bodenarten vergleichen zu können, zerlegt man den Boden nach den bisher in den meisten wissenschaftlichen Instituten üblichen Methoden (vgl. Seite 25, Methode Atterberg) in folgende Produkte:

- | | | | |
|----|-------------------|-----------|----------------|
| 1. | Körner größer als | 2 | mm Durchmesser |
| 2. | „ von | 2—1 | „ „ |
| 3. | „ „ | 1—0,5 | „ „ |
| 4. | „ „ | 0,5—0,2 | „ „ |
| 5. | „ „ | 0,2—0,1 | „ „ |
| 6. | „ „ | 0,1—0,05 | „ „ |
| 7. | „ „ | 0,05—0,01 | „ „ |
| 8. | „ kleiner als | 0,01 | „ „ |

Die Korngrößen Nr. 1—3, also bis zu 0,5 mm, erfahren wir durch Absieben durch die Siebe von 2, 1 und 0,5 mm Lochweite; alle übrigen Körnungsprodukte werden durch die Schlämmanalyse abgeschieden, wie weiter unten ausgeführt werden soll. Wenn auch, wie neuere Untersuchungen darlegen, die Gestalt und das spezifische Gewicht der Bodenkörner bei der Sieb- bzw. Schlämmethode eine mathematisch genaue Trennung nicht ermöglichen, so sind doch die vorliegenden Fehlerquellen so unbedeutend, daß sie für die überwiegende Mehrzahl unserer Böden belanglos sind.

Bei Ausführung der mechanischen Analyse geht man gewöhnlich von dem lufttrockenen Gesamtboden aus. Man breitet den Boden auf einem Bogen Papier oder in einer flachen

Schale aus und entnimmt eine gute Durchschnittsprobe von 500—1000 g, welche man in einer Porzellanschale abwägt. Zur Wägung sämtlicher durch Absieben und Abschlämmen erhaltenen Körnungsprodukte des Bodens sowie auch für die physikalischen Versuche benutzt man zweckmäßig eine genauere Tariervage¹⁾. Die abgewogene, für die Körnung bestimmte Menge gibt man in trockenem Zustande durch das 2 mm-Sieb und zerdrückt mit dem Finger die zusammengeballten Teilchen des feineren Bodenmaterials.

Wenn sich der Gesamtboden als sehr fest zusammenhängend erweist, muß man ihn in einer großen Porzellanreibschale zuvor durch vorsichtiges Drücken mit einem Kautschukpistill zerkleinern, ohne jedoch die darin befindlichen Steinchen zu zertrümmern.

Da man den Gesamtboden gewogen hat, so ist es nur nötig, den auf dem 2 mm-Sieb verbleibenden Rückstand zu wägen; die Menge des hindurchgegangenen Bodens erfährt man dann aus der Differenz, wenn man das Körnungsprodukt über 2 mm vom Gesamtboden abzieht. Bei lehmigen Bodenarten ist das Körnungsprodukt über 2 mm stets vor der Wägung mit destilliertem Wasser abzuspülen und vom anhaftenden Sand und Lehm zu befreien, dann bei 100° C auf dem Sandbade zu trocknen und erst nach dem völligen Erkalten zu wägen.

Den durch das 2 mm-Sieb hindurchgegangenen Boden wollen wir nach dem Vorschlage von Laufer und Wahnschaffe als Feinboden bezeichnen. Er bildet das zu verwendende Ausgangsmaterial sowohl bei der Schlämmanalyse als auch bei allen chemischen Untersuchungen, die nicht mit den Schlammprodukten auszuführen sind. Diesem Vorschlage ist auch J. Kühn beigetreten.

Emil Wolff (55) und Schöne (375) bezeichnen den durch das 3 mm-Sieb hindurchgegangenen Boden als „Feinerde“, Grandeau dagegen den durch das 1 mm-Sieb abgesiebten Boden. Noch anders ist die Auffassung Knops (14). Er nennt „Feinerde“ den durch das $\frac{1}{4}$ mm-Sieb gegebenen Boden, „Feinboden“ dagegen den Glührückstand der Feinerde. M. Fesca (6) wendet die Bezeichnung „Feinboden“ auf den Boden unter 4 mm Durchmesser an.

¹⁾ Eine derartige Wage für 5 kg Maximalbelastung mit Arretierung, welche bei 10 mg Belastung 1 mm Ausschlag gibt, ist für die mechanische Bodenuntersuchung vollkommen ausreichend.

Es ist hieraus ersichtlich, wie sehr die früheren Ansichten der Agrikulturchemiker hinsichtlich der Auffassung der Begriffe „Feinboden“ und „Feinerde“ auseinandergingen, und doch ist es dringend notwendig, einen ganz bestimmten Grenzwert dafür festzusetzen, denn wenn jeder Analytiker eine andere Ausgangssubstanz für seine Bodenuntersuchungen wählt, so hört natürlich jegliche Vergleichbarkeit der analytischen Resultate auf. Nur dadurch, daß wir einzelne Bodenanalysen mit anderen genau vergleichen können, gewinnen wir den Maßstab für die Beurteilung der erhaltenen analytischen Ergebnisse. Wir wollen nach wie vor daran festhalten, stets den Boden unter 2 mm Durchmesser als Feinboden zu bezeichnen und als Ausgangsmaterial für die Analysen anzunehmen. Der Verband der Landwirtschaftlichen Versuchsstationen im Deutschen Reiche geht gleichfalls von dem Boden unter 2 mm Durchmesser aus, bezeichnet diesen Boden aber leider als „Feinerde“, was leicht zu Verwechslungen Anlaß geben kann.

Dieser durch das 2 mm-Sieb abgesiebte Feinboden wird nun gut durcheinandergemengt, um je nachdem 30–100 g zur Schlämmanalyse davon zu entnehmen.

Der nach beendeter Schlämmanalyse bei 25 mm Schlämgeschwindigkeit verbleibende Rückstand wird nach dem Trocknen und Wägen durch die Siebe mit 1 und 0,5 mm Lochweite weiter gekörnt.

B. Die Schlämmanalyse.

Die Schlämmanalyse hat den Zweck, den durch Körnung mit dem Siebe nicht weiter zerlegbaren Boden in noch feinere Körnungsprodukte zu sondern.

Von großer Bedeutung ist die Vorbereitung der Bodenprobe zur Schlämmanalyse, die bezweckt, die aneinander haftenden Bodenteilchen vollständig voneinander zu lösen. Diese Vorbereitung wird sehr verschieden gehandhabt. Hissink (318) unterscheidet drei Arten der Behandlung: 1. die mechanischen Methoden (Reiben, Bürsten, Schütteln, Kochen mit Wasser); 2. die chemische Behandlung mit kalter verdünnter Salzsäure; 3. die kolloidchemische Vorbereitung. Die mechanische Methode wird in ihren Resultaten von dem Versuchsansteller mehr oder weniger beeinflusst; immerhin werden die Fehlerquellen bei genauer Befolgung der Vorschriften in erträglichen Grenzen liegen. Der Gebrauch kalter, starkverdünnter Salzsäure (0,2 Norm-HCl) ist nach Hissink unbedenklich, da nur äußerst geringe Mengen in Lösung gehen (bei karbonatfreien Böden). Die kolloidchemische Vorbereitung ist eine solche mit verdünntem NH_3 (0,1 N), welches in erster Linie die nach der Behandlung mit HCl freigewordenen Humussäuren löst, aber ferner die Ton-

partikelchen und Humusgelee peptisiert. Hissink hat mit seiner abgeänderten sog. englischen Methode gute Erfahrungen gemacht, seine Methode wird auch von Richter (363) u. a. empfohlen. Bei den nachstehend beschriebenen Methoden sind die Vorschriften der betr. Verfasser beibehalten worden.

Robinson (364) hat neuerdings gezeigt, daß die Oxydation humushaltiger Böden mit H_2O_2 eine Zerteilung der humusverklitteten Tonteilchen herbeiführt und bei der Schlämmanalyse zu erhöhten Werten an tonhaltigen Teilen führt.

Als Prinzip sollte aufgestellt werden, daß man den Boden bei der Schlämmanalyse in möglichst unveränderter Form verwendet, da sie uns ja Aufschluß über die mechanische Mengung geben soll. Beseitigung des Kalks und des Humus verändern zweifellos die mechanische Mengung.

a) Schlämmethoden unter Benutzung des Fallens der Bodenteilchen im Wasser.

Die einfachsten Schlämmethoden benutzen die Schwerkraft der Erde, indem sie die verschieden großen und verschieden schweren Bodenteilchen durch Wasser fallen lassen und infolge des dadurch geschaffenen Widerstandes ihre Fallgeschwindigkeit verlangsamen.

a) Die Dekantiermethode im verschließbaren Glaszylinder durch Abheben des Schlämmwassers.

Das Wesen des Abschlämmens kann man sich am besten veranschaulichen, wenn man von dem einfachsten Schlämmverfahren, der Dekantiermethode im Zylinder, ausgeht. Eine abgewogene Menge (20–30 g) Feinboden unter 2 mm wird in einer Porzellanschale mit Wasser übergossen und unter fortwährendem Umrühren mit einem Glasstabe so lange gekocht, bis die Masse vollständig zu einem feinen Brei zergangen ist. Nach dem Erkalten füllt man das Material in einen Glaszylinder von 40 cm Höhe und 6 cm lichte Durchmesser, welcher oben entweder einen Hals zur Aufnahme eines Glasstopfens besitzt, wie dies Abb. 8 A zeigt, oder mit einem breiten abgeschliffenen Rande versehen ist, so daß man ihn mit einer aufgelegten mattgeschliffenen Glasplatte luftdicht abschließen kann. Man füllt nun den Zylinder ganz mit Wasser an, so daß zwischen dem Glasstopfen bzw. der Glasplatte und der Flüssigkeit nur eine ganz kleine Luftblase übrig bleibt. Genau 200 mm unterhalb der Wasseroberfläche klebt man einen Papierstreifen bei a an der Außenseite des Zylinders an. Wenn man nun das Gefäß umkehrt und gleich darauf wieder senkrecht aufstellt, so sind die im Wasser suspendierten Bodenteilchen durch die Schwerkraft gezwungen, sich allmählich wieder zu Boden zu setzen. Die Fallgeschwindigkeit der im Wasser

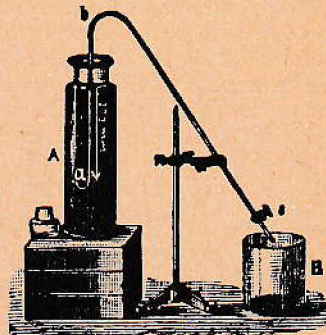


Abb. 8. Schlämmapparat für das Dekantierverfahren.

sich herabsenkenden Körnchen, d. h. den von ihnen zurückgelegten linearen Weg in einer Sekunde, bezeichnen wir bei diesem Abschlammverfahren als Schlammgeschwindigkeit. Wenn wir beispielsweise sogleich nach dem Umschütteln und Umkehren die Zeit nach einer Sekundenuhr notieren und nach Ablauf von 100 Sekunden die Flüssigkeit mittels eines schon vorher bis zur unteren Marke eingesenkten und mit Wasser gefüllten Hebers (*a b c*) durch den am unteren Ende daran befindlichen Glashahn *c* aus dem Schlammgefäß in ein untergestelltes Becherglas *B* ablaufen lassen, so haben die in dem abgehobenen Wasser befindlichen Bodenteilchen über der Marke *a* in 100 Sekunden 200 mm noch nicht ganz oder gerade zurückgelegt, d. h. in einer Sekunde noch nicht ganz oder gerade 2 mm. Die abgeschlammte Substanz stellt demnach ein Schlammprodukt bis zur Grenze von 2 mm Schlammgeschwindigkeit in der Sekunde dar. Würde man erst nach dem Ablauf von 1000 Sekunden abheben, so wäre die Schlammgeschwindigkeit bei 200 mm Fallhöhe 0,2 mm in einer Sekunde.

Da nun bei dem soeben besprochenen Versuche die Bodenteilchen, welche sich gleich nach dem Umkehren des Zylinders beispielsweise in seinem mittleren Raume befanden, beim Abheben des Wassers bereits zu Boden gesunken sein werden, so muß nach jedem Abheben das Gefäß wieder bis obenhin mit Wasser gefüllt und von neuem umgeschüttelt werden, worauf man nach Ablauf von 100 bzw. 1000 Sekunden das Wasser abermals abhebt und diese Operation so lange fortsetzt, bis das abgehobene Wasser völlig klar ist. Um den Zeitpunkt des Abhebens möglichst genau zu treffen, tut man gut, den mit Wasser gefüllten Heber schon zuvor in die Flüssigkeit einzusenken, so daß man nach Ablauf der Zeit nur den Glashahn zu öffnen braucht. Der Heber muß am unteren Ende des kürzeren Schenkels kurz nach oben umgebogen und so in die Flüssigkeit eingesenkt sein, daß das Ende des aufwärts gebogenen Glasrohrs sich mit der aufgeklebten Marke in gleicher Horizontalebene befindet. Auf diese Weise kann nur das oberhalb der Marke befindliche Wasser in den Heber hineingelangen.

Wie vergleichende Untersuchungen mit dem Schöneschen Schlammapparat gezeigt haben, kann man mittels der soeben beschriebenen Dekantiermethode sehr genaue Resultate erhalten (27). Das Verfahren ist jedoch deshalb nicht zu empfehlen, weil man zur Abscheidung der größeren Schlammprodukte außerordentlich lange Zylinder anschaffen müßte und weil auch die Gewinnung der feineren Schlammprodukte sehr mühsam und zeitraubend ist. Man hat immerwährend mit dem Apparat zu tun und muß sehr häufig umschütteln und abheben, ehe man eine Klärung des Wassers im Schlammraume erzielt.

β) Der Kühnsche Schlammapparat.

Für praktische, beispielsweise Bonitierungszwecke empfiehlt sich das Schlammverfahren von Julius Kühn (406), das in vielen Laboratorien Anwendung gefunden hat. Der Kühnsche Schlammapparat (Abb. 9) besteht aus einem 30 cm hohen, überall gleichweiten zylindrischen Glasgefäße von 8,5 cm lichte Durchmesser. 5 cm über dem Boden befindet sich ein mit einem Kautschukstopfen zu verschließender Tubus von 1,5 cm lichte Durchmesser. 2 cm vom oberen Rande entfernt ist äußerlich ein horizontaler Strich eingeritzt. Das Gefäß faßt von dieser

Marke ab bis zum Boden etwas über 1,5 l Wasser, bis zum unteren Rande der Tubusöffnung 283,7 ccm.

50 g des durch das 2 mm-Sieb gegebenen Bodens werden in einer Porzellanschale zerkocht und nach dem Erkalten mit Hilfe des in Abb. 9 rechts abgebildeten Blechtrichters in den Schlammzylinder eingefüllt. Dieser wird sodann bis zur Marke mit Wasser angefüllt und der Boden mit einem glatten Stabe aus hartem Holz gründlich und gleichmäßig eine Minute lang umgerührt. Damit kein Sand in den Tubus hineinkommt, muß der Kautschukstopfen genau mit dem Innenrande desselben abschneiden. Bei dem ersten Abschlämmen läßt man nun den Zylinder 10 Minuten lang ruhig stehen, zieht dann den Tubus aus dem Stopfen und läßt die trübe Flüssigkeit abfließen. Nach jedesmaligem Auffüllen bis zur Marke und Umrühren des Bodens wiederholt man diesen Prozeß in Abständen von je 5 Minuten, bis die Flüssigkeit klar bleibt.

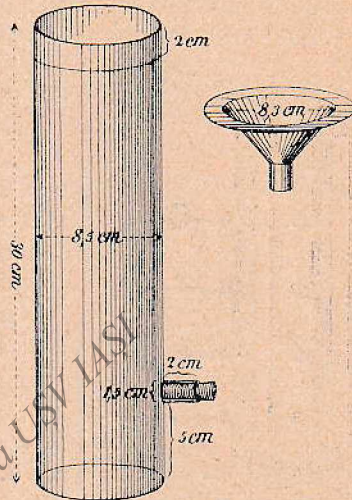


Abb. 9. Kühnscher Schlammapparat.

Bei jedesmaligem Ablassen des trüben Schlammwassers wird eine Probe im Reagenzglas aufgefangen und zur mikroskopischen Untersuchung verwandt. Der im Schlammzylinder zurückgebliebene Sand wird mit Hilfe einer Spritzflasche in eine Porzellanschale gebracht, vom Wasser durch Abheben befreit, getrocknet, nach 24 Stunden gewogen und durch Siebe in verschiedene Korngrößen getrennt.

Für die Zusammenstellung der Resultate der Körnung und Schlammung empfiehlt Steinriede im Anschluß an J. Kühn folgendes Schema:

In Prozenten d. Gesamtbodens:		In Prozenten des steinfreien Bodens					
Steine > 5 mm	Stein- freier Boden < 5 mm	Kies		Sand			Ab- schlamm- bare Teile
		Grobkies 5—3 mm	Feinkies 2—3 mm	Perlsand 2—1 mm	Grobsand 1—0,5 mm	Feinsand < 0,5 mm	

J. Kühn hat vorgeschlagen, die Bodenteile von 5–2 mm bei Schwemmlandböden als Kies, bei Verwitterungsböden als Grus, die Korngröße 2–1 mm als sehr groben Sand (Grand) zu bezeichnen und die Korngröße $< 0,5$ mm zu trennen in: feinen Sand von 0,5–0,25 mm und sehr feinen Sand $< 0,25$ mm.

Jewin hat einen Schlammapparat konstruiert, der aus zwei Glasstücken mit Trichteransatz und Hahn besteht; die Glasstücke sind miteinander durch Gummischlauch verbunden und stellen so ein gerades Rohr her. Einen Fortschritt in der Methode des Schlammverfahrens bringt dieser Apparat nicht.

γ) Der Knopsche Schlammzylinder.

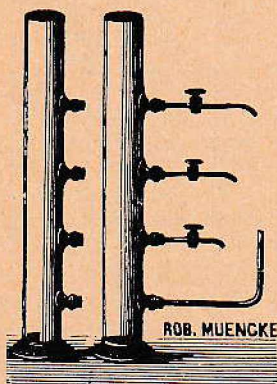


Abb. 10. Der Knopsche Schlammzylinder.

Dieser Apparat stellt einen Zylinder dar, an welchem vier Tubulaturen in einem Abstände von je 1 dem übereinander angebracht sind. In die Tuben werden mittels Kautschukstopfen Glasröhren eingesetzt, die nach unten gebogen und mit einem Kautschukschlauch versehen sind, so daß sie durch einen Quetschhahn verschlossen werden können (Abb. 10). Das genaue Verfahren beim Abschlammern, auf welches wir hier nicht näher eingehen wollen, ist von Knop näher beschrieben worden (22).

δ) Die v. Bennigsensche Schlammflasche.

Die v. Bennigsensche Schlammflasche (Abb. 11) besteht aus einem Glaskolben mit sehr langem zylindrischen Halse, dessen oberster Teil *a* in Zentimeter eingeteilt ist. 10 g Boden werde mit Wasser hineingebracht, darauf wird die Flasche umgeschüttelt und umgekehrt aufgehängt, während man 10 Minuten lang durch Hin- und Herbewegung des Halses *a* das Sedimentieren unterstützt. Nach einer Stunde liest man den Gehalt des Bodens an grobem und feinem Sande in Kubikzentimeter ab und rechnet sie auf Gewichtsprozente um. Diese für die praktische Beurteilung des Bodens ganz brauchbare Methode kann keinen Anspruch auf wissenschaftliche Genauigkeit machen.

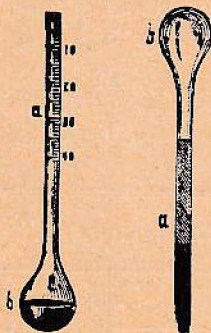


Abb. 11. v. Bennigsens Schlammflasche.

e) Der Clausensche Schlämmapparat.

Auf demselben Prinzip wie die v. Bennigsensche Schlammflasche beruht der Clausensche Schlämmapparat, doch liefert dieser genauere Resultate. Er besteht aus zwei Teilen, einem langhalsigen Kolben und einer langen sich unten verjüngenden Glasröhre, deren unterer Teil mit einer Skala versehen ist (Abb. 12). Bezüglich des Schlammverfahrens sei auf die Originalarbeit verwiesen (299).

Vergleichende Schlämmanalysen nach dieser und der Kühnschen Methode gaben gut übereinstimmende Resultate.

§) Der Atterbergsche Schlämmapparat.

A. Atterberg (290) scheidet nach der Siebmethode nur die Korngrößen > 2 mm und $2,0-0,6$ mm aus. Der durch das $0,6$ mm-Sieb hindurchgegangene Boden dient zur Bereitung der Analysenprobe für das Schlammverfahren. Die abgewogene Probe wird nach Beams Vorschrift in der Weise präpariert, daß sie in einer Porzellanschale mit Wasser zu einem dicken Brei angerührt, mit einem steifhaarigen Pinsel — also unter Vermeidung eines Pistills — sorgfältig aufbereitet und dabei mit Wasser allmählich verdünnt wird; sodann wird der Brei in den Schlämmapparat gespült. Dies Abschlämmverfahren wird zwei- bis dreimal wiederholt, dann erst wird die eigentliche Schlämmanalyse ausgeführt, indem man zunächst die Absatzzeiten und die Wasserhöhe, die zur Abscheidung der Teilchen $< 0,002$ mm nötig sind, benutzt (8 bzw. 1 Stunde bei 10 cm Wasserhöhe) und dann bei $7\frac{1}{2}$ Minuten Absatzzeit und 10 cm Wasserhöhe, endlich bei 15 Sekunden Ruhezeit und 30 cm Wasserhöhe weiter schlämmt. Die Schlammprodukte werden — abgesehen vom Feinsten, das als Rest bestimmt werden kann — gesammelt, eingedampft, getrocknet und gewogen.

Atterberg hat den Appianischen Apparat u. a. so verändert, daß der Heber nach außen verlegt ist. Der Apparat besitzt zwei Teilungen, von denen die eine mit 5, 10, 15, 20 cm die Wasserhöhe bezeichnet, die andere, 16teilige, für das Ab-



Abb. 12.
Clausenscher
Schlamm-
apparat.

schlämmen der Teilchen $< 0,002$ mm zu benutzen ist, wenn man die Zeit des Absiphonierens verkürzen oder verlängern will. (Abb. 13.) C. Marquis (341) hat eine weitere Verbesserung des Apparates in der Weise erreicht, daß er den Heber durch den Boden des Zylinders in das Innere verlegte.

Atterberg schlägt die Einteilung der Bodenkörner in folgender Form vor:

Korngröße $> 2,0$	mm	= Kies	
"	$2,0-0,2$	"	= Sand $< 2,0-0,6$ = kiesiger Sand, $0,6-0,2$ = gewöhnlicher Sand,
"	$0,2-0,02$	"	= Mo (früher wasserhaltender Sand) $< 0,2-0,06$ = Feinsand, $0,06-0,02$ = Mehlsand,
"	$0,02-0,002$	"	= Schluff (Staub) $< 0,02-0,006$ = grober Schluff, $0,006-0,002$ = feiner Schluff,
"	$< 2 \mu$		= Schlamm oder Ton (Kolloidton).

Atterberg weist darauf hin, daß den von ihm aufgestellten Korngrößen große landwirtschaftliche Bedeutung zukommt. So ist z. B. die Wasserkapazität und Kapillarität der Böden bei Korngrößen $> 0,2$ mm gering; die Böden sind also trocken. Mit abnehmender Korngröße wächst die Wasserkapazität und sinkt die Bewegungsgeschwindigkeit des Wassers im Boden. Bei Böden in Einzelkonstruktur ist bei Korngrößen $> 0,02$ mm die Lagerung so dicht, daß Wurzeln mancher Pflanzen den Boden nicht durchdringen können, sie gibt den Böden infolge der Staubfeinheit der Sandteilchen den Charakter der Lehme. In den Korngrößen $< 0,002$ mm ist der „Kolloidton“ enthalten, in welchem eine Bewegung von Bakterien nicht mehr stattfindet. Das Int. Bodenkundl. Komitee hat denn auch die Einführung der Atterbergschen Korngrößen beschlossen, sobald die Methode der Vorbereitung der Proben genügend geklärt ist.



Abb. 13. Atterbergs Schlämmapparat.

Bei stark humosen Böden werden die Humusstoffe vor dem Schlämmen mit Bromlauge zerstört, bei diatomeenhaltigen Böden mit Salpetersäure (1,4) auf siedendem Wasserbade, da Bromlauge die Diatomeenschalen löst. Für humose, karbonatfreie Sand- und Lehm Böden glazialen Ursprungs hält Atterberg auch die Salzsäuremethode (einstündige Behandlung mit Salzsäure von 1,12 spezifischem Gewicht im Glasbecher auf dem Wasserbade) für gut verwendbar, da die Teilchen $> 0,002$ mm nicht viel Mineralsubstanz an die Salzsäure abgeben, die Humusverbindungen bei 100°C aber so verändert

werden, daß sie bei der nachfolgenden Behandlung mit Natronlauge vollständig in Lösung gehen. Beim Schlämmen bekommt man dann vollständig humusfreie Mineralteilchen. Da bei der Behandlung mit scharfen Säuren die physikalischen Verhältnisse des Bodens stark verändert werden, auch Aufschließungen der Silikate erfolgen, so hat für derartig stark humose und silikatreiche Böden die Atterbergsche Methode nach unserer Ansicht nicht den Wert wie für humus- und silikatfreie Gesteine.

Beam (292) schließt sich den Korngrößen Atterbergs an. Die Zerkleinerung des Bodens führt er durch Schütteln mit einer Rotationsmaschine, sowie mittels Rüttelmaschine aus, welches letzteres Verfahren besonders in den Vereinigten Staaten vielfach gebräuchlich ist.

König und Hasenbäumer (167) haben ebenfalls mit dem Atterbergschen Verfahren vor allen übrigen mechanischen Verfahren die genauesten Ergebnisse erzielt, schlagen jedoch eine vereinfachte Ausführung vor, bei welcher auf eine Trennung der Korngrößen $< 0,01$ mm verzichtet wird. Auch van Zyl (396) empfiehlt die Atterbergsche Methode, die trotz einiger Mängel die entscheidenden Vorzüge der Einfachheit, Bequemlichkeit und Sicherheit habe. Man beachte auch die Erfahrungen, die Kappen (159) mit der Atterbergschen Methode machte.

So wie Atterberg, so haben auch andere Forscher die Grenzwerte der einzelnen Körnungsprodukte nach anderen Normen festgelegt. So unterscheidet z. B. G. N. Coffey (3) bei der Untersuchung amerikanischer Böden sieben Körnungsgrade, und zwar 1. fine gravel: 2—1 mm; 2. coarse sand: 1 bis 0,5 mm; 3. medium sand: 0,5—0,25 mm; 4. fine sand: 0,25 bis 0,1 mm; 5. very fine sand: 0,1—0,05 mm; 6. silt: 0,05—0,005 mm; 7. clay: 0,005—0,0 mm. Coffey veranschaulicht die Ergebnisse der mechanischen Analyse sehr übersichtlich in Diagrammen, die Korngröße und Prozentgehalt angeben.

η) Die Methode nach Hissink.

Hissink (318) empfiehlt die von ihm modifizierte englische Methode, der er ebenfalls den Atterbergschen Schlämmzylinder zugrunde legt. Seine Methode ist folgende:

10 g lufttrockner Boden werden in eine Literflasche gebracht, mit soviel Salzsäure übergossen, daß der kohlensaure Kalk eben gelöst wird, sodann mit Wasser bis 100 ccm auf-

gefüllt und über Nacht stehen gelassen. Am folgenden Morgen werden 100 ccm 0,2 norm. HCl hinzugefügt und in einem Rotierapparat während 2 Stunden ganz langsam rotiert. Am dritten Tag wird nochmals während einer Stunde rotiert, worauf Boden und Salzsäure mit Wasser in die Atterbergschen Schlammzylinder gespült werden. Nun wird — jedesmal nach 8 und 16 Stunden (Fraktion I nach Atterberg) — erst so lange mit Wasser abgeschlämmt, bis die saure Reaktion verschwunden ist, und dann weiter mit 0,1 norm. Ammoniak abgeschlämmt. Nach Entfernung der Fraktion I werden die Fraktionen II und III (nach $7\frac{1}{2}$ Minuten und 30 Sekunden) mit Wasser abgeschlämmt. Im Zylinder bleibt Fraktion IV zurück. Die Fraktionen II, III und IV werden bei 105° C getrocknet und gewogen. Aus der Differenz mit 100 wird Fraktion I berechnet.

Das verdünnte Ammoniak ist bei humusarmen Böden imstande, den Humus zu lösen. Bei humusreicheren Böden enthalten die Fraktionen II und III immer noch etwas Humus und müssen also geglüht werden. Der Humusgehalt muß einzeln bestimmt werden. Beim Untersuchen von sehr humusreichen Böden empfiehlt es sich, den Humus vorher zu entfernen. Es muß noch näher untersucht werden, inwiefern der Vorschlag Atterbergs, die Humusstoffe mittels Behandlung mit Bromlauge zu zerstören, empfehlenswert ist.

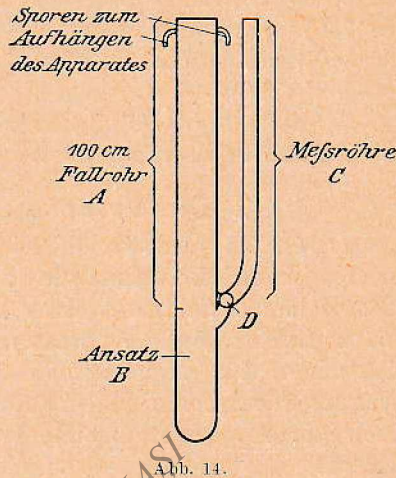
9) Die Methode nach Mohr.

J. Mohr (347) hat bei der Untersuchung der Eruptivböden Javas die Böden nach Zusatz von Ammoniak in Korngrößen bis zu 0,002 mm geschlämmt. Die Korngrößen reduziert er auf drei, die er in die Fläche einer gleichseitigen Dreiecksfigur in der Weise einträgt, daß in den Ecken die Bodenarten verzeichnet werden, die 100 % des betreffenden Kornsortiments ($> 50 \mu$, $5-50 \mu$, $< 5 \mu$) enthalten. Je weniger Prozente nun ein Boden aufweist an dieser Korngröße, um so weiter entfernt von der betreffenden Ecke werden sie eingetragen. Mohr will durch diese seine Methode gute Vergleichswerte erzielt haben. Wir verweisen auf die einschlägigen Arbeiten des Verfassers.

1) Die Methode nach Wiegner.

Wiegner (391) hat eine neue Methode der Schlämmanalyse erdacht, die darin besteht, die Änderung des spez. Gew.

während des Falls der dispersen Teile mittels eines von ihm zusammengestellten Apparates kontinuierlich abzulesen. Das spez. Gewicht der Bodenmischung läßt sich zu jeder beliebigen Zeit an einer Meßröhre ablesen und die noch im Fallrohr vorhandene Bodenmenge leicht berechnen. (Abb. 14.) Die Fallkurven erweisen sich für ein und dieselbe Bodenprobe als gut reproduzierbar. Es sei auf die Originalarbeit verwiesen. Die Methode Wiegner ist durch Geßner noch dahin vervollkommenet, daß die Fallkurven auf einem Photogramm dargestellt werden.



z) Die Methode nach Zunker.

Zunker (395) hat zur Bestimmung der spez. Oberfläche einen Apparat beschrieben, der der Wiegnerschen Fallröhre ähnelt, aber die Genauigkeit der Ablesung um das Zehnfache steigern soll. Der Begriff der spez. Oberfläche eines Bodens wird dahin definiert, daß sie gleich dem umgekehrten wirksamen Korndurchmesser ist bzw. gleich der Zahl, die angibt, wievielmals so groß die Oberfläche dieses Bodens ist wie jene der gleichen Gewichtsmenge Boden von 1 mm Korndurchmesser.

Zunker leitet aus der graphisch aufgetragenen Druckhöhenlinie zunächst die Korngrößen und daraus die spez. Oberfläche ab, ferner berechnet er unmittelbar aus den Druckhöhendifferenzen und der Wurzel aus der Standdauer des Sedimentierapparates, also aus der graphisch aufgetragenen $\sqrt{t}$ -Linie, die spez. Oberfläche.

Die Standdauer des Sedimentsapparates wird gewöhnlich auf sieben Tage bemessen, wodurch die Korngrößen bis 0,001 mm Durchmesser bestimmbar sind. Zur Feststellung der feineren Korngrößen bzw. zur Festlegung der $\sqrt{t}$ -Linie in ihrem unteren Verlauf dient das ergänzende Verfahren, wobei am letzten Tage der Standdauer die Dichte der Aufschwemmung in verschiedenen Tiefen der Fallröhre bestimmt und daraus weitere

Punkte der Druckhöhenlinie bzw. der $\sqrt{T}$ -Linie abgeleitet werden. Die Böden werden nach ihrer spez. Oberfläche (U) eingeteilt in strenge Tone (> 1000), gewöhnliche Tone (1000 bis 730), schwere Lehme (730—510), gewöhnliche Lehme (510 bis 340), sandige Lehme (340—130), lehmige Sande (130—30), Sande (< 30).

Es sei auf die Originalarbeit verwiesen, in welcher auch die Apparatur dargestellt ist.

λ) Die Methode nach Sven Odén.

Odén (353) hat in sinnreicher Weise eine Apparatur zur mechanischen Bodenanalyse zusammengestellt, welche das niederfallende Sediment einer Bodensuspension kontinuierlich wägt. Später ist der Apparat mit automatisch wirkenden Einrichtungen für registrierende Zeitbestimmungen, sowie für Wägungen versehen. Es sei auf die Originalarbeiten, in welchen auch die Apparate abgebildet und beschrieben sind, hingewiesen.

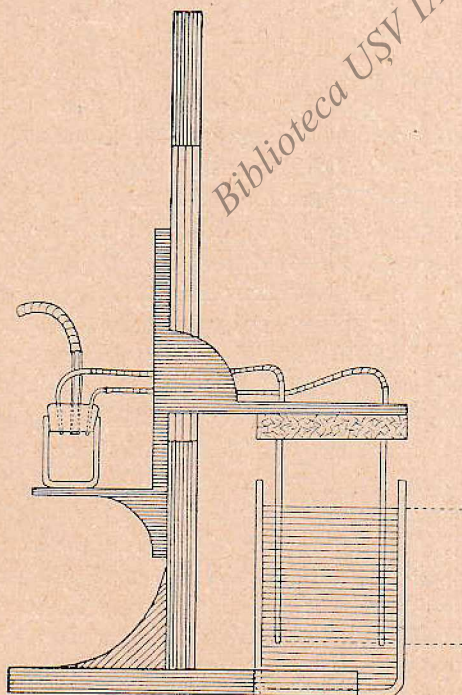


Abb. 15. Kraußscher Apparat.

μ) Schlammverfahren nach G. Krauß.

Auf der Internationalen Bodenkundlichen Konferenz in Prag hat G. Krauß eine Methode vorgebracht, die geeignet erscheint, im Serienbetrieb die Korngruppenanteile feiner als Staub bis herab an die Grenze normaler Sedimentation einfach und zuverlässig zu bestimmen. Voraussetzung für die Anwendung dieser Methode ist das Vorhandensein einer guten Wage, die wenigstens Milligramm noch sicher angibt.

Alle bisherigen Sedimentationsmethoden betrachten eine Suspensionschicht bestimmter Tiefe von der Oberfläche an und erfassen dadurch im Augenblick der Abheberung bzw. Ablesung nicht nur das Ausfallen der gröberen Korngrößen, als der gewählten Fallzeit bei bestimmter Fallhöhe entspricht, sondern auch die gleichzeitig mitausfallenden kleineren Teilchen, soweit sie eben schon bei Beginn der Sedimentation so tief gestanden sind, daß sie trotz langsameren Falles die kritische Tiefe in der gegebenen Zeit erreichen. Dieser Umstand zwingt bekanntlich bei den älteren Abschlämverfahren (z. B. Atterberg) zu oftmaliger Wiederholung der Abheberung, bei den neueren Sedimentationsmethoden (Sven Odén, Wiegner, Zunker usw.) verursacht er mühsame Umrechnung oder graphische Transformation der sogenannten „Fallkurven“ („Druckhöhenlinien“) in „Verteilungskurven“ („Kornanteillinien“).

Die Kraußsche Methode erhält direkt die wahren Anteile der einzelnen Korngruppen, weil sie nur eine wenige Millimeter hohe Suspensionschicht in einer der Fallhöhe entsprechenden Tiefe zur Messung heranzieht. Das anderweitig mitregistrierte gleichzeitige Ausfallen kleinerer Teilchen wird

hier nur über, aber nicht in der jeweils zur Probenahme herangezogenen Schicht wirksam. Der Vorgang ist folgender:

Wenn eine Bestimmung der gröberen und mittleren Korngruppen mit Sieben und Spülapparat (z. B. Kopecký; Krauß benutzt einen modifizierten Spülapparat) vorangegangen ist, wobei also der Gesamtanteil an sogenannten „abschlämbaren“ Teilchen sich als Differenz errechnet hat, so kann man die Bodenprobe ungewogen, erdfeucht nach der üblichen Vorbehandlung in Suspension bringen, andernfalls wird eine trocken abgewogene Menge benutzt. Auf 1 l aufgefüllt und gut durchgeschüttelt

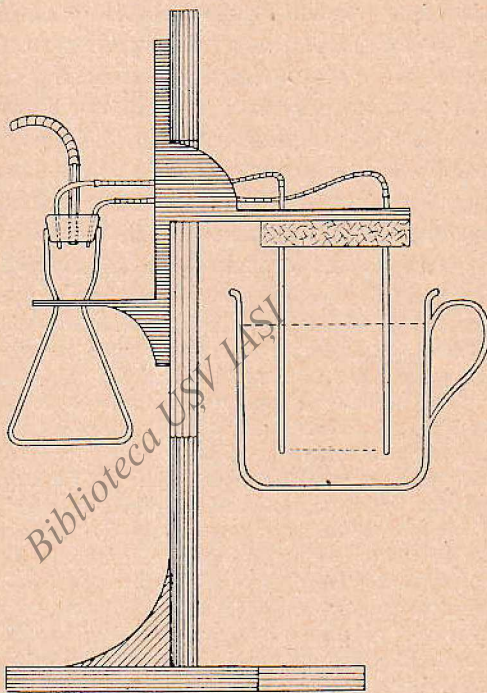


Abb. 16. Kraußscher Apparat.

wird jede Bodenprobe in ein einfaches zylindrisches Glasgefäß gegossen und bei möglichst gleichbleibender Temperatur der Sedimentation überlassen. (Vgl. Abb. 15 u. 16.)

Nach Ablauf bestimmter Zeiten, erstmalig z. B. nach $7\frac{1}{2}$ Minuten — diese Fallzeit möge auf 10 cm Fallhöhe (bei bestimmter Temperatur und bestimmtem spezifischen Gewicht) dem Korndurchmesser $0,02\text{ mm} = 20\text{ }\mu$ entsprechen — werden mit einer speziell dafür konstruierten Absaugevorrichtung aus gegebener Tiefe Suspensionsproben von etwa 10 cm entnommen. Die erste Suspensionsprobe enthält dabei z. B. kein gröberes Korn als $20\text{ }\mu$, von allen feineren Korngrößen dagegen noch den vollen Anteil. Das Gleiche gilt entsprechend für die spätere Probenahme. Diese kleinen Suspensionsproben werden eingedampft. Die Differenzen der Trockenrückstände pro Suspensionsvolumeneinheit (in Prozenten ausgedrückt) sind die Anteile der einzelnen Korngruppen (Fraktionen).

Daß die Probenahme mit horizontalem Einzug und ohne Aufwirbelung in ganz bestimmter Tiefe erfolgt, gewährleistet die bereits erwähnte Absaugevorrichtung, die der Zuverlässigkeit und Bequemlichkeit halber für den Massenbetrieb weitgehend automatisiert ist. Die gesamte Einrichtung für Serienbetrieb im Anschluß an Spüllapparate wird voraussichtlich die Firma F. u. M. Lautenschläger, Filiale München, in Bälde liefern können. Eine einzige Absaugevorrichtung reicht für eine größere Anzahl gleichzeitig laufender Analysen aus und wird jeweils zur Probenentnahme an die Standzylinder angeschoben. Die Absaugevorrichtung besteht aus einem Ständer mit Fuß, der sich hufeisenförmig an das Standglas anschmiegt, einer daran senkrecht auf- und abgleitenden Schubvorrichtung, die durch Radantrieb langsam und gleichmäßig auf- und abwärts bewegt werden kann.

Diese Schubvorrichtung trägt auf der einen Seite — über dem Standglas — sechs oder acht enge Saugröhrchen, durch Korkführung genau senkrecht gehalten. Die Saugröhrchen sind so beschaffen, daß sie beim langsamen Eintauchen und Zurückziehen infolge ihres sehr geringen Querschnittes die Suspension nicht aufwirbeln und anderseits streng horizontalen Einzug beim Absaugen (mit gleichbleibender Geschwindigkeit) sicherstellen. Sie sind durch gleich enge Gummischläuchchen auf kürzestem Wege mit einem Meßgefäß (neuerdings auch verbunden direkt mit dem Abdampftiegel, wie die schematische Skizze zeigt; und zwar werden gleichbleibend genau 10 cm Suspension eingesaugt) verbunden, das auf der gegenüberliegenden Seite der Schubvorrichtung festgehalten ist. Dieses Gefäß ist durch einen Gummistopfen verschlossen, der außer den sechs bis acht Zuführungsröhrn eine größere Bohrung für den Anschluß an ein gewöhnliches Wasserstrahlgesäuge hat.

Beim Gebrauch werden die Saugröhrchen mit dem Radantrieb langsam gleitend in die Suspension eingesenkt bis zu der an einer Skala ablesbaren gewünschten Tiefe. Alsdann wird durch Öffnen einer Klemme kurz abgesaugt. Zum Ausspülen mit Wasser wird an den Gummistopfen ein Erlenmeyerkölbchen angeschlossen. Das Trocknen erfolgt durch Nachsaugen von Luft rasch und zuverlässig. (Vgl. auch Apparatur in Int. Mitt. Bdk. 1923.)

Da die Suspensionskonzentration mit fortschreitender Tiefe bei entsprechendem Zeitfortschritt gleichbleibt und die Apparatur variable Fallhöhe gestattet, so braucht man die für einen bestimmten Korndurchmesser festgesetzten Fallzeiten nicht streng einzuhalten, sondern kann bei Wahl der entsprechenden Fallhöhe je nach der verfügbaren Zeit früher oder später absaugen. Dies ermöglicht eine ökonomische Zeiteinteilung bei einer größeren Anzahl gleichzeitig laufender Analysen.

Da die Sedimentationsdauer verhältnismäßig kurz ist, weil die Fallhöhe schon von Anfang an nicht mehr als 10 cm beträgt und auch während des Sedimentationsvorganges zu kleineren Fallhöhen übergegangen werden kann, so gestattet die Methode, die Analysen bis zu sehr kleinen Korndurchmessern — soweit eben gesetzmäßige Sedimentation reicht — in erträglicher Zeit durchzuführen. Außerdem ist es dadurch, daß für jede Analyse nur ein einfaches zylindrisches Glasgefäß erfordert wird, möglich, je nach Bodenart (bei schweren Tonen z. B.) die Sedimentationsdauer beliebig lange auszudehnen, ohne im Serienbetrieb behindert zu sein. Endlich gibt die Methode genügende Ausschläge auch noch bei geringen Suspensionskonzentrationen.

v) Methode nach Robinson.

Robinson (364) stellt die Korngrößen $< 0,2$ mm — welche bei sehr dispersen Böden die charakteristischen sind — graphisch dar, welche Darstellung dadurch sehr übersichtlich wird, daß er die Logarithmen der Korngrößen verwendet. Eine Summationskurve zeigt die Beziehungen zwischen den Partialkonzentrationen des Materials und den Logarithmen der Sedimentationsgeschwindigkeiten. Bezüglich der hierauf begründeten Untersuchungsmethode sei auf die Originalarbeit verwiesen.

b) Schlämmethoden unter Benutzung eines senkrecht nach oben gerichteten Wasserstromes.

Von den selbsttätigen Schlämmapparaten, welche zum Abschlämmen des Bodens einen von unten nach oben gerichteten Stoß des Wassers anwenden, wollen wir die Apparate von Nöbel, Schöne, Hilgard und Kopecký ausführlicher betrachten. Der Schönesche und Kopeckýsche, sowie der namentlich in Nordamerika vielfach benutzte Hil-

gardsche Schlämmapparat entsprechen allen an eine genaue mechanische Bodenanalyse zu stellenden Anforderungen und können daher zu wissenschaftlichen Bodenuntersuchungen in erster Linie empfohlen werden.

α) Der Nöbelsche Schlämmapparat.

Der Nöbelsche Schlämmapparat besteht aus vier hintereinander folgenden birnenförmigen Gefäßen (Abb. 17), deren Volumina sich wie $1^3 : 2^3 : 3^3 : 4^3 = 1 : 8 : 27 : 64$ verhalten und im ganzen etwa 4 l Wasser fassen sollen. Der vorderste, größte

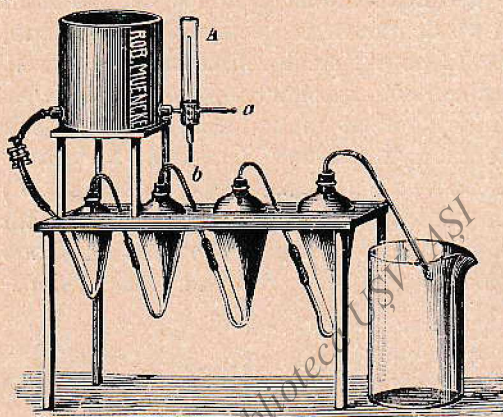


Abb. 17. Nöbelscher Schlämmapparat.

Trichter Nr. IV besitzt oben eine Ausflußröhre, deren Spitze so ausgezogen wird, daß bei nur mit Wasser gefülltem Apparat genau 9 l Wasser in 40 Minuten ausfließen können. Um dies zu bewirken, setzt man die vier Schlammgefäße mit einem Wasserreservoir von 10 l Inhalt

durch einen zwischengeschalteten Schlauch mit Quetschhahn in Verbindung. Das Abschlämmen geschieht unter konstantem Druck.

Näheres über die Nöbelsche Schlammethode, die verschiedener Mängel wegen immer mehr aus den Laboratorien verschwindet, ist in der Originalarbeit einzusehen (392).

β) Der Schönesche Schlammtrichter.

Auch der Schönesche (375) Schlammtrichter ist ein Spülapparat. Wir benutzen hier ebenfalls einen aus einem größeren, hochgelegenen Wasserreservoir herabkommenden, durch einen Hahn regulierbaren und im Schlammraume senkrecht aufsteigenden Wasserstrom. Während man bei dem Schlammverfahren mittels der Dekantiermethode die durch den Fall im Wasser verlangsamte Schwerkraft benutzt, wendet man im Schöneschen sowohl, als auch in dem bereits beschriebenen

Nöbelschen Apparate einen der Schwerkraft entgegenwirkenden Stoß des Wassers nach oben zu an. Unter Schlämmsgeschwindigkeit im zylindrischen Teile des Schöneschen Apparates versteht man demnach die senkrechte Hubhöhe eines Bodenteilchens in einer Sekunde. Die Länge dieses Raumes ist von dem Querschnitt und spezifischen Gewicht des Bodenteilchens sowie von der Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstromes abhängig.

Der Schönesche zylindrisch-konische Schlämmtrichter (Abb. 18) besteht aus einem Glasgefäß, dessen oberer Teil *B* vollkommen zylindrisch und mindestens 10 cm lang sein muß, damit wenigstens im oberen Teil eine völlig gleichmäßige Stromgeschwindigkeit während des Abschlämmens herrscht. Sein lichter Durchmesser soll nach Schöne möglichst genau 5 cm betragen. Um noch geringere Geschwindigkeiten genau einstellen zu können, darf dieser Durchmesser nicht kleiner sein als 4,5 cm. An den zylindrischen schließt sich nach unten zu ein ganz allmählich sich verjüngender Teil *B—C* von 50 cm Länge. Dieser geht unten in ein Rohr *D—E* über, dessen lichter Durchmesser in keinem Falle größer als 5 mm, aber auch nicht kleiner als 4 mm sein darf. Es ist halbkreisförmig gebogen und nach oben zu in senkrechter Richtung verlängert. Über dem zylindrischen Raume ist der Apparat eingezogen und geht in einen Hals *A* über, der zur Aufnahme eines einmal durchbohrten Gummistopfens dient. Der 2 cm lange zylindrische Hals soll einen Durchmesser von 1,5 bis 2 cm haben.

Durch den Kautschukstopfen wird das Piezometerrohr hindurchgesteckt, welches als Indikator der Schlämmsgeschwindigkeit dient. Dieses hat 3 mm lichten Durchmesser, ist 8 cm über seinem unteren Ende knieförmig im Winkel von 45° abwärts und dann in gleicher Höhe mit dem unteren Ende wieder im Winkel von 45° aufwärts gebogen. In dem Scheitelpunkte des letzteren Knies befindet sich die etwa 1,5 mm weite kreisrunde Ausflußöffnung, deren Ränder

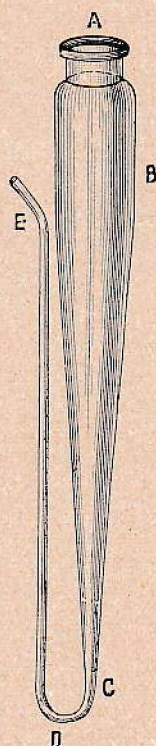


Abb. 18. Schönescher Schlämmtrichter.

möglichst glatt abgeschmolzen sein müssen. Das Piézometer (Druckmesser) ist von 1—10 cm in Millimeter, von 16—50 in halbe Zentimeter und darüber in ganze Zentimeter eingeteilt.

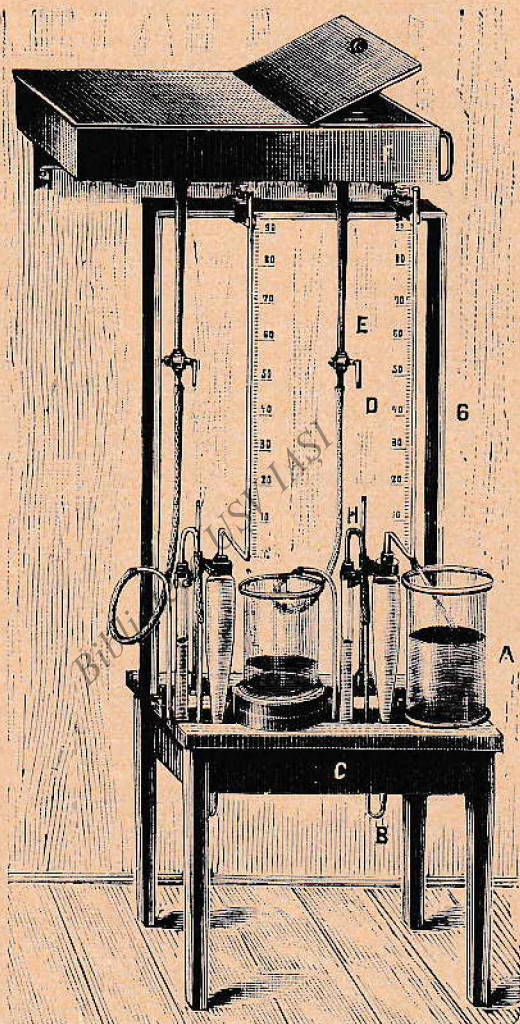


Abb. 19. Einrichtung zum Schöneschen Schlammapparat.

Damit der durch den Hahn zu regulierende Wasserstrom möglichst konstant bleibt, ist es nötig, als Behälter einen geräumigen flachen Kasten aus Weißblech zu benutzen, der 50 l

Wasser fassen kann, und in welchem sich der Wasserspiegel während des Schlämmens nur wenig ändert. Sehr zweckmäßig ist die in Abb. 19 dargestellte Einrichtung zum Schlämmen.

Der zur Befestigung der Schlammtrichter dienende Lattentisch *C* ist 71 cm hoch, 50 cm breit und 85 cm lang. Die Schlammtrichter werden zwischen die Latten eingesenkt und in die Muffen eines mit schwerer Gußeisenplatte versehenen Stativs (die Abbildung gibt fälschlich Stative mit drei Füßen an) eingeschraubt. Die Platte des Stativs ist der Sicherheit halber durch eine eiserne Winkelklemmschraube an dem Lattentische befestigt. Außerdem befindet sich an letzterem ein 140 cm hoher Holzrahmen *G*, der oben zwei verstellbare, zur Unterstützung der Piëzometerrohre dienende Muffen trägt. Der rechts mit Wasserstandsrohr versehene Wasserbehälter *F* steht auf einem durch Bankeisen befestigten Brette. Die in den Boden des Reservoirs eingeschraubten und mit Messinghähnen *D* versehenen Zuleitungsröhren *E* werden durch Kautschukschlauch mit den Schlammtrichtern verbunden.

Die Geschwindigkeit des senkrecht aufsteigenden Wasserstromes in dem zylindrischen Raume des Schöneschen Schlammtrichters (Abb. 18 *B*) ist bei gleichbleibendem Wasserzufluß aus dem Behälter von dem Querschnitte des Zylinders und von der Größe der Ausströmungsöffnung am Piëzometer abhängig. Es ist daher zuerst nötig, den Durchmesser des zylindrischen Schlammraumes genau zu bestimmen. Man teilt zu diesem Zwecke den Zylinder durch äußerlich aufgeklebte Papierstreifen ein. Eine durch den oberen Rand der beiden Papierstreifen gelegte Ebene muß möglichst senkrecht gegen die Achse des Zylinders stehen; der Abstand der beiden Papierstreifen betrage 10 cm. Man füllt nun den ganzen Zylinder mit Wasser, verschließt das Ende der Röhre *E* derartig mit einem Kork, daß keine Luftblase darin bleibt, und läßt den unteren Meniskus des Wassers im zylindrischen Raume auf dem oberen Rande des oberen Papierstreifens aufsitzen; die Achse des Zylinders muß dabei möglichst senkrecht stehen. Nun hebt man mit einer Pipette das Wasser aus dem Zylinder bis zum oberen Rande des unteren Papierstreifens ab und bringt es in ein in Kubikmillimeter geteiltes Meßgefäß.

Der Inhalt eines Zylinders (*J*) ist bekanntlich gleich dem Produkt von Grundfläche ($r^2 \pi$) und Höhe (*h*).

$$J = r^2 \pi \cdot h$$

$$r = \sqrt{\frac{J}{\pi h}}$$

Nachdem nun der Querschnitt des zylindrischen Teiles im Schlammtrichter bekannt ist, stellt man das Wasser auf eine bestimmte Höhe im Piëzometer ein und läßt eine Maßflasche, beispielsweise ein Liter, vollaufen, indem man von dem Momente des Unterstellens bis zum Momente der Füllung nach einer Sekundenuhr die Anzahl der Sekunden *t* notiert. Das ausgeflossene Quantum (*Q*) in einer Sekunde ist dann:

$$Q = \frac{x \text{ cbmm.}}{t}$$

Die Geschwindigkeit erhält man, wenn man das Ausflußquantum in einer Sekunde in Kubikmillimeter (Q) durch den Querschnitt des Zylinders in Quadratmillimeter (K) dividiert:

$$\frac{x}{t} : r^2 \pi = Q : K.$$

Will man eine ganz bestimmte Geschwindigkeit haben, so stellt man zuerst bei einem höheren Punkte des Piézometers ein, berechnet aus dem Ausflußquantum in einer Sekunde die Geschwindigkeit und sieht nun, ob sich diese bereits der gewünschten Geschwindigkeit nähert oder nicht. Je nachdem stellt man bei dem darauffolgenden Versuche bei einer höheren oder niedrigeren Marke des Piézometers ein. Bei Anwendung ganz geringer Geschwindigkeiten stellt sich, da an der Ausflußöffnung des Piézometers nur ein Abtropfen der Flüssigkeit stattfindet, der Wasserfaden bei keiner festen Marke ein. Man wählt in diesem Falle den Punkt, bis zu welchem der Meniskus des Wasserfadens im Piézometer beim Abtropfen herabsinkt, als Marke und zählt außerdem die Anzahl der in einer Minute ausfließenden Tropfen. Zur Berechnung des Ausflußquantums in einer Sekunde genügt es, eine Maßflasche von 100 ccm Inhalt volllaufen zu lassen. Durch einige Versuche, bei welchen man den Wasserstand im Piézometer so reguliert, daß immer die Mitte zwischen den beiden zuletzt bestimmten Grenzen genommen wird, erreicht man leicht den Wasserstand, welcher der gesuchten Geschwindigkeit entspricht.

Statt dieser empirischen Aufsuchung einer bestimmten Geschwindigkeit kann man letztere auch unter Zugrundelegung des in Zentimeter eingeteilten Piézometers berechnen.

Nach dem theoretischen Ausflußgesetze verhalten sich bei ein und demselben Piézometer, demnach für ein und dieselbe Ausflußöffnung, die Ausflußquantitäten wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen im Piézometer. Werden die Druckhöhen mit h_I und h_{II} bezeichnet, die Ausflußquantitäten in einer Sekunde mit Q_I und Q_{II} , so ergibt sich die Gleichung:

$$\frac{h_I}{h_{II}} = \frac{Q_I^2}{Q_{II}^2} \quad (\text{Nr. 1.})$$

Das Ausflußgesetz ist in vorliegendem Falle etwas zu modifizieren, da die Kapillarattraktion in dem engen Piézometerrohr, sowie auch der Widerstand, welchen das Wasser beim Ausströmen aus der engen Ausflußöffnung erleidet, den Wasserstand im Piézometer beeinflussen. Nach Schönes Untersuchungen muß man daher, um jene Einflüsse zu eliminieren, von der beobachteten Druckhöhe h eine für alle Druckhöhen desselben Piézometers empirisch festzustellende konstante Größe C abziehen.

Dadurch modifiziert sich die Gleichung Nr. 1 folgendermaßen:

$$\frac{h_I - C}{h_{II} - C} = \frac{Q_I^2}{Q_{II}^2} \quad (\text{Nr. 2.})$$

Um die konstante Größe C zu ermitteln, genügt es, zwei Versuche auszuführen, indem man einmal bei möglichst niedriger Druckhöhe (2–3 cm) und sodann bei möglichst hoher Druckhöhe (80–90 cm) ein Liter volllaufen läßt, die Anzahl der Sekunden notiert und die Ausflußquantitäten in einer Sekunde berechnet. Setzt man die erhaltenen Daten in die Formel Nr. 2 ein, so ergibt sich folgende Formel:

$$C = \frac{Q_I^2 \cdot h_{II} - Q_{II}^2 \cdot h_I}{Q_I^2 - Q_{II}^2} \text{ Zentimeter.} \quad (\text{Nr. 3.})$$

Hat man auf diese Weise die konstante Größe C gefunden, so kann man für alle beliebigen Druckhöhen h_n die entsprechenden Ausflußquantitäten Q_n oder auch für alle beliebigen Ausflußquantitäten die entsprechenden Druckhöhen berechnen.

Aus Formel Nr. 3 ergeben sich:

$$Q = \sqrt{h_n - C} \cdot \frac{Q}{\sqrt{h - C}} \text{ Kubikzentimeter.} \quad (\text{Nr. 4.})$$

$$h_n = Q_n^2 \cdot \frac{h - C}{Q^2} + C \text{ Zentimeter.} \quad (\text{Nr. 5.})$$

Da die Ausflußmengen in einer Sekunde Q auch in derselben Zeit einen beliebigen Querschnitt des Schlämmeraumes durchströmen, dessen Durchmesser D ist, folgt daraus, wenn v die Geschwindigkeit in einer Sekunde bedeutet:

$$Q = v \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \text{ Zentimeter.} \quad (\text{Nr. 6.})$$

$$v = Q \cdot \frac{4}{\pi D^2} \text{ Zentimeter.} \quad (\text{Nr. 7.})$$

Man kann demnach, wenn die konstante Größe C durch Versuche festgestellt worden ist und man die Geschwindigkeit v im Schlämmeraum bei einer bestimmten Druckhöhe h kennt, leicht berechnen, welche Druckhöhe h_n man anwenden muß, um eine gesuchte Geschwindigkeit v_n zu erhalten. Man braucht in diesem Falle nur den Wert für Q aus Formel Nr. 6 und den entsprechenden Wert für $Q_n = v_n \cdot \frac{\pi}{4} D^2$ in die Formel Nr. 5 einzusetzen. Dadurch erhält man:

$$h_n = \left(v_n \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \right)^2 \cdot \frac{h - C}{\left(v \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \right)^2} + C = v_n^2 \cdot \frac{h - C}{v^2} + C. \quad (\text{Nr. 8.})$$

Bestimmten Schlämmschwindigkeiten entsprechen ganz bestimmte Korngrößen bei annähernd gleichem spezifischen Gewicht und kugelförmiger Form des Materials. Schöne hat durch Versuche festgestellt, daß innerhalb der Schlämmschwindigkeiten von 0,1–12 mm in der Sekunde bei Quarzsand in Kugelform folgende Beziehungen zwischen dem Durchmesser der Körner d und der Geschwindigkeit des senkrecht nach oben gerichteten Wasserstromes v bestehen:

$$d = 0,0314 \sqrt[11]{v^7} \text{ mm.}$$

Aus seinen durch mikroskopische Messungen kontrollierten Berechnungen geht hervor, daß, wenn man von Quarz in Kugelform ausgeht, die nebenstehenden Körnungsprodukte folgenden Schlämmschwindigkeiten entsprechen:

0,2 mm	Schlämmschwindigkeit	= unter	0,01 mm	Korngröße
2,0	„	= von	0,05–0,01	„
7,0	„	= „	0,1–0,05	„

Da bei der Enge der Ausflußöffnung im Piézometer die Geschwindigkeit 7 mm nur erreicht werden könnte, wenn man ein

zweites Piézometer mit weiterer Ausflußöffnung einführt, so hat Orth den Vorschlag gemacht, einen kleinen Hilfszylinder vom halben Durchmesser des größeren (2,5 cm) vor letzterem einzuschalten. Wir halten es für zweckmäßig, wenn der zylindrische Teil desselben 50 cm lang ist, um ihn auch für die Geschwindigkeit von 25 mm benutzen zu können.

Da die Herstellung eines genauen Siebes von 0,2 mm sehr schwierig und teuer ist und das Absieben des Bodens durch ein derartiges Sieb keine guten Resultate liefert, weil sich die Löcher zu leicht verstopfen, so empfiehlt es sich nach Laufers Vorschläge die Korngröße 0,2—0,1 mm (vgl. S. 18) ebenfalls durch Abschlämmen zu gewinnen. Man benutzt hierzu den Orthschen Hilfszylinder, indem man ein Piézometer von etwa 5 mm lichtem Durchmesser und einer Ausflußöffnung von 3 bis 3,5 mm darauf setzt. Den Querschnitt des Zylinders bestimmt man in der angegebenen Weise und mißt die Ausflußmengen bei verschiedenem Piézometerstande, um die Geschwindigkeit 25 mm zu ermitteln, denn diese entspricht der Korngröße von 0,2—0,1 mm Durchmesser. Hat man die gewünschten Geschwindigkeiten in den verschiedenen Schlämmtrichtern festgestellt, so fertigt man sich eine Tabelle nach folgendem Schema an, die man dann für alle mit dem Apparate auszuführenden Schlämmanalysen benutzt.

Großer Trichter		Kleiner Trichter	
Durchmesser: Querschnitt:	mm mm ²	Durchmesser: Querschnitt:	mm mm ²
Druckhöhe im engen Piézometer cm	Geschwindigkeit in 1 Sekunde	Druckhöhe im engen Piézometer cm	Geschwindigkeit in 1 Sekunde
	0,2 mm		
	2,0 mm		
			7,0 mm
		Druckhöhe im engen Piézometer cm	25,0 mm

Bei Ausführung einer Schlämmanalyse wendet man den durch das 2 mm-Sieb gegebenen lufttrockenen Feinboden an. Man breitet ihn gleichmäßig auf einem Bogen Papier aus und

entnimmt eine Durchschnittsprobe von genau 100 g, die man in einer tarierten Schale auf einer Trierwage (vgl. S. 19) abwägt. Bei sehr gleichmäßig fein zerteilten Bodenarten, bei welchen ein Absieben der gröberen Gemengteile zuweilen gar nicht vorgenommen zu werden braucht, genügen dagegen schon 30—40 g zur Schlämmanalyse.

Die in einer Porzellan- oder emaillierten Eisenschale abgewogene Bodenmenge übergießt man mit destilliertem Wasser und kocht sie unter fortwährendem Umrühren mit einem Glasstabe so lange, bis die tonigen Bestandteile vollständig zergangen sind. Bei zähen Tonböden bleiben häufig Tonknötchen zurück, die selbst bei anhaltendem Kochen nicht zergehen, und man tut daher gut, diese mit dem Zeigefinger, den man zweckmäßig mit einem dicken Kautschuküberzuge (Kautschukfinger) versieht, zu zerdrücken. Das so zum Schlämmen vorbereitete Material läßt man völlig erkalten und gießt die überstehende trübe Flüssigkeit, ohne den Bodensatz aufzurühren, in den großen Trichter ab. Nun füllt man den kleinen Trichter, welcher noch nicht mit dem großen in Verbindung gebracht ist, durch Öffnen des Hahnes bis über die halbkreisförmige untere Biegung mit Wasser an. Dies geschieht deshalb, damit der Apparat beim Einfüllen des Bodens durch Aufsteigen des letzteren in dem engen Rohre nicht verstopft wird, und zweitens, damit beim Beginn des Schlämmprozesses durch aufsteigende Luftblasen keine Fehler entstehen können. Um den Boden in den kleinen Schlämmapparat einzufüllen, setzt man am besten einen Trichter mit weitem Halse darauf und spritzt mit Hilfe einer Spritzflasche die Substanz aus der Schale heraus. Etwa anhaftende Teile werden mittels eines Glasstabes, über dessen unteres Ende man ein Stück Kautschukschlauch gezogen hat, abgelöst.

Beabsichtigt man, mit den Schlämmprodukten bei 0,2 und 2,0 mm G. weitere chemische Untersuchungen vorzunehmen, so muß man den Boden mit destilliertem Wasser abschlämmen. Es geschieht dies deshalb, weil man bei Gewinnung des Schlämmproduktes bei 0,02 mm G. das Schlämmwasser eindampfen muß. Dagegen würde man bei Anwendung von gewöhnlichem Wasserleitungswasser zuviel Verunreinigungen in das Untersuchungsmaterial hineinbringen. Das Schlämmprodukt von 0,2 mm G. kann man nur in dem Falle mit gewöhnlichem Wasser abschlämmen, wenn man es nicht wägen, sondern aus dem Verlust berechnen will.

Beim Abschlämmen mit destilliertem Wasser bedient man sich am besten des in nebenstehender Abb. 20 abgebildeten Apparates¹⁾. Eine Glasröhre *d*, welche bis zum Boden eines mit destilliertem Wasser gefüllten, an der Erde stehenden Glasballons *A* hinabreicht, ist mit einer hochstehenden, etwa 10 l fassenden Glasflasche *B* in Verbindung gesetzt. An der Röhre *d* ist oben ein Glasrohr eingeschaltet, welches einen rechtwinklig abgehenden und mit Glashahn *a* versehenen Rohransatz besitzt. Der Kautschukstopfen der Flasche *B* hat noch zwei andere Durchbohrungen; durch die eine ist ein mit der Unterseite des

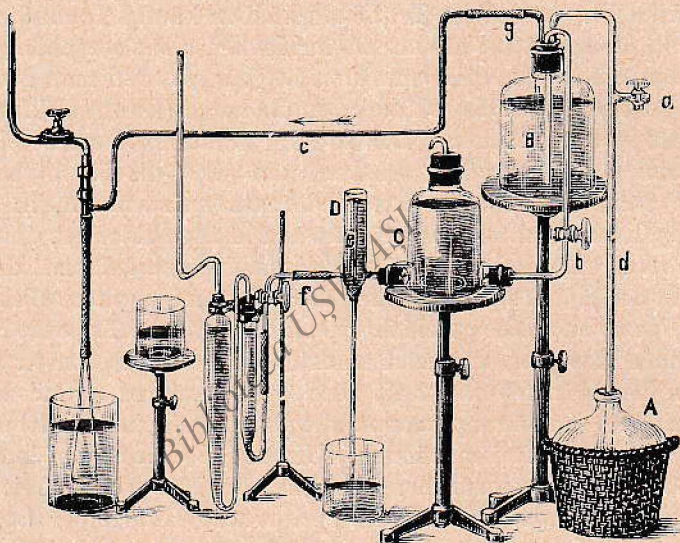


Abb. 20. Apparat zum Schlämmen mit destilliertem Wasser bei konstantem Druck.

Stopfens abschneidendes knieförmiges Glasrohr *g* hindurchgesteckt, welches mittels Kautschukschlauchverbindung mit dem Bleirohre *c* in Zusammenhang steht. Letzteres wird mit einer kleinen Wasserluftpumpe, die in Fig. 13 besonders dargestellt ist, in Verbindung gesetzt, so daß auf diese Weise ein luftverdünnter Raum in *B* geschaffen werden kann. Durch die

¹⁾ In dem Holzschnitte sind, um alles auf kleinstem Raume zur Darstellung zu bringen, die verschiedenen miteinander in Verbindung stehenden Apparate sehr zusammengedrängt worden; auch sind die Größenverhältnisse der Apparate untereinander der größeren Deutlichkeit wegen nicht immer richtig innegehalten. Die Kautschukverbindungen oberhalb und unterhalb des Glashahnes *a* sind fortgelassen.

dritte Durchbohrung des Kautschukstopfens geht ein zum Boden der Flasche hinabreichendes Heberrohr *h* hindurch, an dessen langem Schenkel sich unten ein Glashahn *b* befindet. Dieses Heberrohr *h* mündet in den einen Tubus einer tiefer stehenden Glasflasche *C*, während der andere Tubus zur Aufnahme des Wasserstandsrohres *D* dient, durch dessen Boden die den konstanten Niveaustand des Wassers vermittelnde Röhre *e* hindurchgeht. Das Wasserstandsrohr *D* hat zwei seitliche Rohransätze. Der eine dient zur Verbindung mit der Flasche *C*, der andere steht durch Kautschukschlauch unter Einschaltung eines mit Glashahn *f* versehenen Rohres mit den beiden Schlämmtrichtern in Verbindung. Will man die Flasche *B* füllen, so schließt man die Hähne *a* und *b*, setzt die Wasserluftpumpe in Tätigkeit und verbindet sie mit dem Rohre *c*. Es entsteht infolgedessen in *B* ein luftverdünnter Raum; das Wasser wird aus dem Ballon im Rohre *d* aufsteigen und *B* füllen. Um nun beim Schlämmen ein konstantes Niveau zu haben, füllt man die Flasche *B*, öffnet die Hähne *a* und *b* und läßt während des Schlämmens durch *b* annähernd so viel Wasser in *C* einfließen, als beim Schlämmen aus diesem Gefäß ausfließt. Das aus der Niveauröhre *e* ausfließende Wasser kann aufgefangen und wieder in den Ballon zurückgegossen werden. Es ist zweckmäßig, diese Röhre unmittelbar in den Ballon zurückzuleiten.

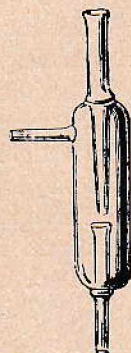


Abb. 21.
Wasserstrahlpumpe aus
starkem Glase.

Nachdem man den Boden, wie auf S. 41 angegeben, in den kleinen Trichter gefüllt hat, öffnet man den zur Regulierung des Wasserstromes bestimmten Hahn (Abb. 20, f) ein wenig und stellt zuerst bei dem Stande im Piëzometerrohre ein, welcher der niedrigsten Schlämmgeschwindigkeit von 0,2 mm entspricht. Nun läßt man zunächst 2–3 l auslaufen und dampft diese, falls man das Schlämmprodukt gewinnen will, in einer großen Porzellanschale auf dem Wasserbade ein. Auf diese Weise kann man sicher sein, alle im Wasser löslichen Bestandteile des Bodens mit zu erhalten. Hat sich das Wasser im Schlämmraume des großen Trichters nach Ablauf von 2–3 l noch nicht geklärt, so schlämmt man, ohne die Operation zu unterbrechen, bei derselben Geschwindigkeit weiter, bis fast vollständige Klärung im oberen Teile des Schlämmraumes

erfolgt. Das so erhaltene Schlammwasser bringt man in eine große Porzellanschale und erhitzt es bis zum Kochen. Durch längeres Kochen ballen sich die suspendierten Tonteilchen zusammen und setzen sich zu Boden, so daß man nach dem Erkalten und längeren Stehenlassen das überstehende fast klare Wasser abhebern und fortgießen kann. Den Bodensatz fügt man zu dem zuerst erhaltenen Schlammprodukt hinzu.

Den weiteren Schlammprozeß kann man in vielen Fällen mit gewöhnlichem Leitungswasser fortsetzen, da die übrigen Schlammprodukte sich leicht absetzen, so daß man das überstehende Wasser fast völlig abhebern kann. Man wäscht dann das Schlammprodukt noch einigemal mit destilliertem Wasser aus, läßt absitzen und hebert das Wasser ab.

Es hängt von dem Verhältnis der Querschnitte der beiden Schlammzylinder ab, welche Geschwindigkeit man zunächst anzuwenden hat. Tritt die Geschwindigkeit 7,0 mm im kleinen Trichter bei einem höheren Piëzometerstande auf, als die Geschwindigkeit 2,0 mm im großen, so stellt man zuerst bei dem Piëzometerstande ein, bei welchem im großen Trichter eine Geschwindigkeit von 2,0 mm herrscht, im umgekehrten Falle jedoch schlämmt man zuerst bei 7,0 mm im kleinen und stellt dann erst nach Ausschaltung desselben höher ein, um 2,0 mm im großen Trichter zu erreichen.

Die Schlammprodukte fängt man stets in großen zylindrischen Glasgefäßen (Abb. 19 A) auf, die 10—15 l zu fassen vermögen. Nachdem bei 7,0 mm G. Klärung im kleinen Trichter eingetreten ist, setzt man das weite Piëzometer (vgl. S. 40) auf den kleinen Trichter auf und schlämmt bei 25 mm G. bis zur völligen Klärung.

Durch den Schlammprozeß hat man also folgende Produkte erhalten (vgl. die Nummern in der Zusammenstellung S. 18):

- | | | |
|----|------------------------------|---|
| 8. | Schlammprodukt bei 0,2 mm G. | Ausfluß, |
| 7. | „ „ 2,0 „ „ | desgl., |
| 6. | „ „ 7,0 „ „ | Rückstand im großen Trichter evtl. auch z. T. Ausfluß), |
| 5. | „ „ 25,0 „ „ | Ausfluß, |
| 4. | Schlammrückstand „ 25,0 „ „ | Rückstand im kleinen Trichter. |

Die beiden Schlammrückstände 6 und 4 bringt man am besten aus den Schlammtrichtern heraus, indem man letztere

mit dem Wasserreservoir in Verbindung setzt, sie in eine große Schale umstürzt und durch Öffnen des Hahnes ihren Inhalt völlig herausspült.

Die Schlämmprodukte werden, nachdem das überstehende klare Wasser abgehebert worden ist, in kleine, zuvor gewogene Porzellanschälchen mit flachem Boden (Abb. 22) gebracht und auf einem bis auf etwa 100° C geheizten Sandbade anhaltend getrocknet. Nach dem Erkalten läßt man die Schälchen mindestens einen oder zwei Tage lang stehen, ehe man sie wägt, damit die Schlämmprodukte wieder den Feuchtigkeitsgehalt der Zimmerluft annehmen.



Abb. 22. Flache Porzellanschale.

Die durch Körnung und Schlämmung erhaltenen Produkte berechnet man prozentisch auf den Gesamtboden und trägt die Zahlen in folgendes Schema ein:

Kies(od. Grand) über 2 mm D.	S a n d :					Tonhaltige Teile		Summa
	sehr grob	grob	mittel- körnig	fein	sehr fein	Staub	Feinstes (Ton)	
	2 bis 1 mm	1 bis 0,5 mm	0,5 bis 0,2 mm	0,2 bis 0,1 mm	0,01 bis 0,05 mm			
D.	2 bis 1 mm	1 bis 0,5 mm	0,5 bis 0,2 mm	0,2 bis 0,1 mm	0,01 bis 0,05 mm	0,05 bis 0,01 mm	unter 0,01 mm	
2,4	71,0					26,7		100,1
	2,0	3,6	16,0	32,3	17,1	12,4	14,3	

Die Schönesche Schlämmethode hat sich bei den im Laboratorium für Bodenkunde der Preußischen Geologischen Landesanstalt ausgeführten Untersuchungen seit bald 50 Jahren vortrefflich bewährt und ist für eingehende wissenschaftliche Bodenanalysen durchaus zu empfehlen. Etwaige Fehler beim Schlämmen mit dem Schöneschen Apparate werden nach unseren Erfahrungen vermieden, wenn man den Schlämmprozeß möglichst ununterbrochen und gleichmäßig ausführt. Verschiedene Kontrollversuche haben ergeben (6, 27), daß die Methode hinreichend genaue Resultate liefert.

Bei der Schöneschen Korngrößenordnung ist zu merken, daß die „tonhaltigen Teile“ allerfeinsten Gesteinsstaub und in

den Korngrößen $< 0,01$ mm auch die kolloidalen Teilchen, den sog. Kolloidton, führen. Aber auch die staubfeinen Sandteilchen $< 0,05$ zeigen bereits kolloidale Eigenschaften.

Ganßen (119) weist darauf hin, daß die Korngrößen 0,05 bis 0,01 mm deshalb ihre besondere Bedeutung haben, weil sie eine zu dichte Lagerung der Tonteilchen verhindern, und daß z. B. der Löß seine mechanisch günstige Zusammensetzung dem höheren Gehalt an Korngrößen von 0,01—0,05 mm gegenüber denen von $< 0,01$ mm verdankt, während bei den gewöhnlichen lehmigen und tonigen Böden fast stets die letzten Korngrößen überwiegen.

Die Menge der kolloidalen Teilchen ($< 0,01$ mm) gibt dem Boden eine Reihe sehr wichtiger Eigenschaften in chemischer und physiologischer Beziehung (Absorption, Kohärenz, Hygroskopizität, Wasserkapazität, Ausflockung), auf die hier nur kurz hingewiesen sei. Der Einteilung der Böden nach dem Gehalte an tonhaltigen Teilen ($< 0,05$ mm) legt man am besten folgende Zahlen zugrunde:

Sandböden	=	$< 10\%$ tonh. Teile,
lehmige oder tonige Sandböden oder		
sandige Lehm- und Tonböden .	=	10—30 % „ „
Lehm- oder Tonböden	=	30—50 % „ „
schwere Lehm- oder Tonböden . .	=	$> 50\%$ „ „

Mit dem Grade der Feinheit der Schlämmpunkte nimmt der Gehalt an SiO_2 ab, der an Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O und P_2O_5 zu, während CaO , MgO und Na_2O sich ungefähr in gleichen Grenzen halten (380).

γ) Der Hilgardsche Schlämmapparat.

Ein anderer, dem Schöneschen verwandter Schlämmapparat, welcher aber die durch das flockige Zusammenballen der feinsten Bodenteilchen entstehenden Fehler vermeiden soll, ist von Hilgard (142) in Vorschlag gebracht worden (Abb. 23). Er wendet eine zylindrische Schlämmröhre (T) von 34,8 mm Durchmesser und 290 mm Höhe an, die auf einen Porzellanbecher (P) aufgekittet worden ist. Durch den letzteren geht eine horizontale Achse (A) hindurch, die durch Stopfbüchsen wasserdicht verschlossen ist und von außen her durch ein Uhrwerk derartig in Bewegung gesetzt wird, daß sie 500—600 Umdrehungen in der Minute macht. In der Mitte des Porzellan-

beckers trägt die Achse zwei kreisförmige, senkrecht aufeinander stehende Metallplatten, die bei ihrer schnellen Umdrehung den Boden gehörig aufschlämmen. Zwischen der Schlämnröhre und dem Porzellanboden ist ein Sieb von 0,8 mm Maschenweite eingeschaltet. Der zum Abschlämmen erforderliche Wasserstrom wird aus einer Mariotteschen Flasche (in Abb. 23 durch

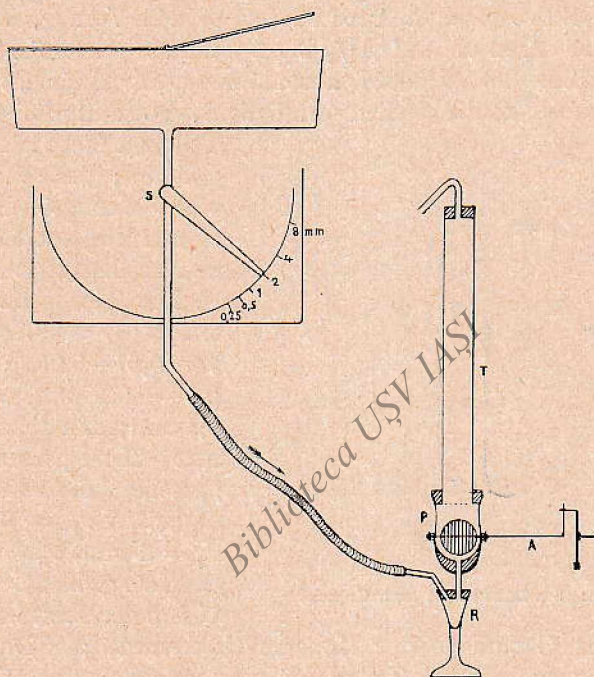


Abb. 23. Hilgardscher Schlämmapparat.

einen Kasten aus Weißblech ersetzt) durch ein als Behälter dienendes Gefäß von unten her in den Porzellanbecher (*R*) hineingeleitet und ebenso wie bei dem Schöneschen Apparate durch einen Hahn reguliert. An dem Griffe dieses Hahnes befindet sich ein langer Zeigerarm (*S*), dessen Spitze auf einem Teilkreise die durch Versuche ermittelten Schlämmsgeschwindigkeiten von 0,25—0,5—1—2—4—8 mm anzeigt. Hilgard schlägt vor, den Feinboden 24—30 Stunden lang mit Wasser zu kochen, da nur durch länger anhaltendes, lebhaftes Kochen die Verkittung der Bodenteilchen durch kohlensauren Kalk und

die Verklebung der Tonteilchen unter sich aufgehoben werden soll.

δ) Der Kopeckýsche Schlämmapparat.

J. Kopecký (332, 333) hat einen Apparat konstruiert, der eine Kombination des Nöbelschen und Schöneschen Apparates darstellt (Abb. 24.) Der Kopeckýsche Apparat führt nach den vorliegenden Vergleichszahlen zu guten Ergebnissen; vor dem Schöneschen Apparat hat er den Vorzug, daß die Dauer der Analyse auf $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden abgekürzt wird. Der Ausfluß der feinsten abschlämmbaren Teile ist, statt tropfenweise, kontinuierlich ermöglicht, so daß die tonigen

Teilchen nicht leicht koagulieren; ferner werden vier Korngrößen auf einmal abgesondert, und zwar selbsttätig.

Die Korngrößen betragen: I. $< 0,01$ mm, II. von $0,01 - 0,05$, III. von $0,05 - 0,1$ mm, IV. $> 0,1$ mm; den verschiedenen Korngrößen entsprechen die Geschwindigkeiten $v_1 = 0,2$ mm, $v_2 = 2$ mm, $v_3 = 7$ mm; die Korngrößen $> 0,1$ mm bilden den Rest im Appa-

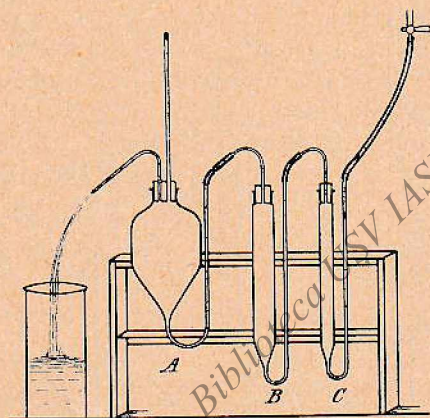


Abb. 24. Schlammapparat nach Kopecký.

rate. Als Grundlage der Konstruktion wurde der Durchfluß des Wassers durch Zylinderröhren angenommen. Jeder einzeln angeführten Geschwindigkeit bzw. Korngröße entspricht ein Zylinder von verschieden großem Durchmesser bei gleicher Durchflußmenge des Wassers. Das Verhältnis der Zylinderdurchmesser für die angegebenen Geschwindigkeiten läßt sich daher berechnen. Kopecký gibt in seiner erwähnten Schrift über die Konstruktion seines Apparates und die Ausführung der Analyse eine eingehende Beschreibung, auf die hier verwiesen sei. Er bezeichnet das durch das 2-mm-Sieb Hindurchgesiebte als „Feinerde“, von der 50 g aufgekocht werden. Die Erdlösung wird vorsichtig in den Zylinder B abgegossen, der Rest der Schale durch Reiben an den Schalenwänden mit Fingern, welche einen Kautschuküberzug tragen, verrieben

und ausgewaschen so lange, bis reiner Sand zurückbleibt. Die ausgewaschenen Teile gießt man ebenfalls in den Zylinder *B*, den zurückbleibenden Sand in die Zylinder *C*, worauf dann der Schlammprozeß eingeleitet wird.

Vergleichende Versuche ergaben:

	I	II	III	IV
nach Schöne	42,97	16,29	5,70	35,04 %
„ Kopecký	43,87	14,26	5,94	35,63 %.

Kopecký fand also meist etwas höhere Werte als Schöne, was er dadurch erklärt, daß bei seinem Verfahren infolge des größeren Wasserdurchflusses keine Koagulation der tonigen Teile eintritt.

Biblioteca UȘV IASI

II. Die Bestimmung der Bodenkonstituenten.

A. Die Bestimmung des Gehaltes an Kalzium- bzw. Magnesiumkarbonat.

Bei Bodenarten, die nur geringe Mengen von Magnesiumkarbonat enthalten, kann man sich damit begnügen, die Menge der durch stärkere Säuren ausgetriebenen Kohlensäure zu ermitteln und diese auf die äquivalente Menge Kalziumkarbonat zu berechnen.

Der Gehalt eines Bodens an Kalzium- oder Magnesiumkarbonat hat eine doppelte Bedeutung, denn einmal können diese in so großer Menge im Boden vorhanden sein, daß sie einen wichtigen Konstituenten bilden, anderseits aber auch spielen sie bei der Pflanzenernährung selbst dann noch eine bedeutsame Rolle, wenn ihr Betrag sich so sehr verringert, daß wir sie nicht mehr zu den Konstituenten rechnen können.

Zur Ermittlung der Kohlensäure kann man je nach dem Grade der Genauigkeit, den man bei den Untersuchungen beabsichtigt, drei verschiedene Methoden anwenden. Man bestimmt die Kohlensäure entweder durch volumetrische Messung oder durch Wägung aus dem Verlust oder durch direkte Wägung.

a) Die volumetrische Messung der Kohlensäure mit dem Scheiblerschen Apparate.

Die volumetrische Messung der Kohlensäure wendet man bei stark kalkhaltigen Bodenarten an, z. B. bei Diluvialmergeln, Wiesenkalken, Tonmergeln, bei denen es nur darauf ankommt, den ungefähren Gehalt an Kalziumkarbonat schnell bis zu einer Genauigkeit in ganzen Prozentzahlen zu erfahren. Die Kohlen-

säurebestimmung nach Scheibler fällt bei Böden, die Magnesia- karbonat enthalten, zu niedrig aus, da letzteres durch kalte verdünnte Salzsäure nicht oder nur zum geringen Teile zersetzt wird. Man verwendet als Ausgangsmaterial den bei 105°C getrockneten Feinboden oder, falls keine Körner über 2 mm Durchmesser vorhanden sind, direkt den Gesamtboden. Die Substanz ist in einem Gußstahlmörser ziemlich fein zu pulvern.

Der Scheiblersche Apparat (Abbildung 25) besitzt folgende Einrichtung: Zwei Glasrohre von 28 mm lichtem Durchmesser sind an einem Holzstativ in senkrechter Stellung befestigt. Das Rohr, welches der Beschauer zur Rechten hat, besitzt eine Teilung in ganze und halbe Kubikzentimeter. Es ist gut, wenn diese bis zu 300 ccm durchgeführt ist. Unten sind die beiden Rohre mittels eingefügter Gummistopfen durch eine halbkreisförmig gebogene Glasröhre miteinander in Verbindung gesetzt. Das Rohr links ist oben offen, wird aber, damit kein Staub hineinfällt, mit einem Wattepfropfen verschlossen. Von diesem Rohre geht unten eine Glasröhre ab, welche nach aufwärts gebogen ist und durch einen mit Quetschhahn versehenen Kautschukschlauch mit einer offenen Flasche, die unten mit Tubus versehen ist, in Verbindung steht. Der Schlauch muß so lang sein, daß man die Flasche bequem auf das über dem Stativ befindliche Brettchen setzen kann. Das graduierte Glasrohr rechts ist oben in eine Röhre ausgezogen und durch eine Kautschukverbindung mit einem nach unten zu umgebogenen Glasrohr verbunden. Letzteres hat rechts seitwärts ein Ansatzrohr mit Glashahn, und an seinen unteren Teil schließt sich ein spindelförmig erweitertes Rohr an, welches dazu dient, die entwickelte Kohlensäure aufzunehmen, damit diese nicht in das graduierte Rohr hineinsteigen und von dem darin befindlichen Wasser absorbiert werden kann. Mit dem unteren Ende der Glasspindel wird durch einen Kautschukschlauch das Entwicklungsgefäß verbunden, eine einfache Glasflasche mit weitem

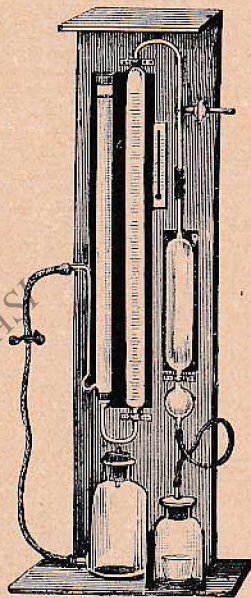


Abb. 25. Kohlensäurebestimmungsapparat nach Scheibler.

Halse, in welchen ein mit Rohr versehener Kautschukstopfen genau hineinpaßt.

Bei dem Gebrauch des Apparates stellt man die mit Wasser gefüllte Glasflasche oben auf das Brett über dem Holzstativ und läßt, während der Glashahn rechts geöffnet ist, die beiden Rohre bis über die Teilung hinaus voll laufen. Darauf setzt man die Flasche herunter und läßt durch behutsames Öffnen des Quetschhahnes allmählich so viel Wasser ablaufen, bis der untere Meniskus des Wasserspiegels im graduierten Rohre genau auf dem Nullstriche aufsitzt. In den beiden kommunizierenden Rohren wird sich das Wasser im gleichen Niveau einstellen. Um immer annähernd die gleiche Tension des Wasserdampfes zu haben, schwenkt man die Entwicklungsflasche kurz vor dem Gebrauch

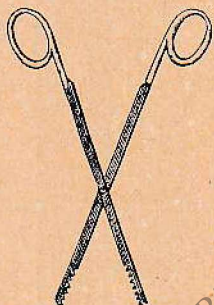


Abb. 26. Tiegelfange zum Scheiblerschen Apparat.

mit einer konzentrierten Kochsalzlösung aus. Darauf bringt man in die Entwicklungsflasche mittels einer Pipette 20 ccm Chlorwasserstoffsäure hinein, die auf einen Teil konzentrierte Säure drei Teile Wasser enthält. Mit Hilfe einer geraden Tiegelfange (Abb. 26) setzt man nun ein kleines Porzellantiegelchen, in welchem sich etwa 4—8 g der zu untersuchenden Substanz befinden, vorsichtig in die Salzsäure hinein und drückt den Kautschukstopfen fest in den Hals der Flasche, ohne jedoch den Entwicklungsraum mit der warmen Hand zu berühren.

Nun schließt man den Glashahn und läßt etwa 20 ccm Wasser durch Öffnen des Quetschhahnes abfließen. Dies geschieht deshalb, weil beim Umstürzen des Tiegelchens im Entwicklungsgefäß sogleich eine so starke Kohlensäureentwicklung stattfinden kann, daß das Wasser aus dem Rohre links ausgeschleudert werden würde. Nach dem Ablassen der 20 ccm Wasser wird das Niveau im Rohre rechts etwas sinken, sich jedoch bei einem Punkte ganz konstant einstellen. Sollte dies nicht der Fall sein, so würde der Apparat an irgendeiner Stelle undicht sein. Nun ergreift man mit der linken Hand den Quetschhahn und faßt mit der rechten Hand die Entwicklungsflasche derartig, daß man den Daumen gegen den Hals links, den Zeigefinger oben auf den Kautschukstopfen und den Mittelfinger gegen den Hals rechts legt. Auf diese Weise kann man

das Gefäß sehr fest halten und vermeidet eine Erwärmung durch die Hand. Man neigt die Flasche, bis der Porzellantiegel umfällt, und setzt sie darauf in eine kreisförmige schüttelnde Bewegung. Während der Kohlensäureentwicklung läßt man durch Öffnen des Quetschhahnes immer so viel Wasser abfließen, als das Niveau im Rohre rechts sinkt. Das Entwicklungsgefäß wird so lange geschüttelt, bis das Niveau im Rohre rechts konstant bleibt. Darauf läßt man den Apparat zehn Minuten lang ruhig stehen, schüttelt nochmals, stellt das Wasser in den Rohren in gleichem Niveau ein und liest dann die Anzahl der entwickelten Kubikzentimeter Kohlensäure (Kohlensäure + Luft) ab. Unter Berücksichtigung der Temperatur und des jeweiligen Barometerstandes berechnet man das Gewicht der Kohlensäure oder des ihr entsprechenden Kalziumkarbonats nach den von R. Finkener berechneten Tabellen (S. 54 und 55), in welchen das Gewicht eines Kubikzentimeters Kohlensäure bei den verschiedenen Temperaturen und Barometerständen in Tausendstelmilligrammen angegeben ist. In diese Zahl ist zugleich der Fehler eingerechnet, welcher dadurch entsteht, daß das Gas in feuchtem Zustande gemessen ist, und daß ein Quantum Kohlensäure von der Salzsäure des Entwicklungsgefäßes absorbiert wird.

Der Passonsche Apparat (Abb. 27) beruht auf dem gleichen Prinzip, liefert aber nur annähernde Resultate (214). Doerell (105) empfiehlt den dem Passonschen ähnlichen, aber besser zu handhabenden Apparat von Pichl.

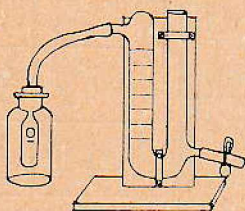


Abb. 27. Passonscher Apparat.

b) Die Bestimmung der Kohlensäure durch Wägung aus dem Verlust.

Das Verfahren beruht darauf, daß man in einem gewogenen Apparate die Kohlensäure durch verdünnte Säuren austreibt, den Apparat wieder wägt und den Kohlensäuregehalt der Substanz aus dem Gewichtsverlust berechnet. Auf diesem Prinzip beruhen eine ganze Anzahl von Kohlensäure-Bestimmungsapparaten, von denen wir als besonders zweckmäßig für die Bodenanalyse den von Laufer und Wahnschaffe verbesserten Mohrschen Apparat empfehlen möchten. Er besteht aus einem kleinen Glaskölbchen mit dünnem Boden und kurzem weiten

I. Tabelle zur Berechnung der Kohlensäure für den Scheiblersehen Apparat.

Die Zahlen geben das Gewicht von 1 cem Kohlensäure in Tausendstelmilligramm an.

Barometer	mm	742	744,5	747	749	751	753,5	756	758	760	762,5	765	767	769	771	774
	Pariser Zoll u. Linien	5'''	6'''	7'''	8'''	9'''	10'''	11'''	28'''	1'''	2'''	3'''	4'''	5'''	6'''	7'''
Thermometer Celsius.	28°	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1823	1828	1833	1837	1842	1847	1852	1856
	27°	1784	1790	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1834	1839	1843	1848	1853	1858	1863
	26°	1791	1797	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1840	1845	1849	1854	1859	1864	1869
	25°	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1836	1842	1847	1852	1856	1861	1866	1871	1876
	24°	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1842	1848	1853	1858	1862	1867	1872	1877	1882
	23°	1809	1815	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1859	1864	1868	1873	1878	1883	1888
	22°	1815	1821	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890	1895
	21°	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1861	1867	1872	1877	1882	1887	1892	1897	1902
	20°	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1867	1873	1878	1883	1888	1893	1898	1903	1908
	19°	1834	1840	1847	1853	1860	1866	1873	1879	1884	1889	1894	1899	1904	1909	1914
	18°	1840	1846	1853	1859	1866	1872	1879	1885	1890	1895	1900	1905	1910	1915	1920
	17°	1846	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1897	1902	1907	1912	1917	1922	1927
	16°	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1898	1903	1908	1913	1918	1923	1928	1933
	15°	1859	1866	1872	1879	1886	1892	1899	1905	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940
	14°	1865	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1917	1922	1927	1932	1937	1942	1947
	13°	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1924	1929	1934	1939	1944	1949	1954
	12°	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1919	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960
	11°	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1932	1937	1942	1947	1952	1957	1962	1967
	10°	1892	1899	1906	1913	1926	1926	1933	1939	1944	1949	1954	1959	1964	1969	1974

II. Tabelle zur Berechnung der mit dem Scheiblerschen Apparate gefundenen cem Kohlensäure auf kohlen-sauren Kalk.
Die Zahlen drücken Tausendstelmilligramm aus.

Barometer	mm	742	744,5	747	749	751	753,5	756	768	760	762,5	765	767	769	771	774
	Pariser Zoll u. Linien	5'''	6'''	7'''	8'''	9'''	10'''	11'''	28''	1''	2''	3''	4''	5''	6''	7''
Thermometer Celsius.	28°	4041	4056	4070	4085	4099	4114	4128	4143	4155	4166	4177	4187	4197	4208	4218
	27°	4055	4070	4085	4099	4114	4129	4143	4158	4169	4179	4190	4200	4211	4222	4232
	26°	4069	4084	4099	4114	4129	4144	4158	4172	4183	4193	4204	4214	4225	4236	4247
	25°	4083	4098	4113	4128	4143	4158	4172	4186	4197	4208	4219	4230	4241	4252	4262
	24°	4097	4112	4127	4142	4157	4172	4186	4200	4211	4222	4233	4244	4255	4266	4277
	23°	4111	4126	4141	4156	4171	4186	4200	4214	4226	4237	4248	4259	4270	4281	4292
	22°	4125	4140	4155	4170	4185	4200	4214	4228	4240	4252	4263	4274	4285	4296	4307
	21°	4139	4154	4169	4184	4199	4214	4229	4243	4255	4267	4279	4290	4301	4312	4322
	20°	4153	4169	4184	4199	4214	4229	4243	4257	4269	4281	4292	4303	4314	4325	4336
	19°	4168	4183	4198	4213	4228	4243	4258	4272	4284	4296	4307	4318	4329	4340	4351
	18°	4182	4198	4213	4228	4243	4258	4272	4286	4298	4310	4321	4332	4343	4354	4365
	17°	4197	4212	4227	4242	4257	4272	4286	4300	4312	4324	4335	4346	4357	4368	4379
	16°	4211	4226	4241	4256	4271	4286	4300	4314	4326	4338	4349	4360	4371	4382	4393
	15°	4225	4241	4256	4271	4286	4301	4315	4329	4341	4353	4364	4375	4386	4397	4408
	14°	4240	4256	4271	4286	4301	4316	4331	4345	4357	4368	4379	4390	4401	4412	4423
	13°	4255	4271	4286	4301	4316	4331	4346	4361	4373	4384	4395	4406	4417	4428	4439
	12°	4270	4286	4301	4316	4331	4346	4361	4376	4388	4399	4410	4421	4432	4443	4454
	11°	4285	4301	4316	4331	4346	4361	4376	4391	4403	4415	4426	4437	4448	4459	4470
	10°	4300	4316	4332	4348	4364	4378	4394	4407	4419	4430	4441	4453	4464	4475	4486

Halse (Abb. 28), welches zur Aufnahme der zu untersuchenden Bodenprobe dient. Man trocknet das fein gepulverte Material, indem man es auf einem Uhrglase flach ausbreitet, eine Stunde lang bei 100°C im Trockenschranke. Darauf füllt man es heiß in ein kleines, ebenfalls bei 100°C ausgetrocknetes Glasröhrchen und verschließt letzteres mit einem Kork. Nach dem Erkalten wägt man das Rohr mit Kork, schüttet dann 2–3 g der Substanz in das Glaskölbchen und wägt das Rohr zurück. Die Differenz der beiden Wägungen entspricht dem Gewichte der bei 100°C getrockneten Ausgangssubstanz. In den Hals des Glaskölbchens ist ein hohler, mit zwei Röhrenansätzen

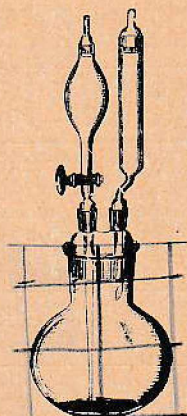


Abb. 28. Kohlensäurebestimmungsapparat nach Mohr.

versehener Glasstopfen luftdicht eingeschliffen. In die Röhrenansätze sind zwei Glasröhren von verschiedener Form ebenfalls eingeschliffen. Das eine Rohr ist rechtwinkelig um- und dann wieder aufwärts gebogen und erweitert sich oberhalb der zweiten Biegung. Es dient zur Aufnahme von Chlorkalzium und wird in der Weise gefüllt, daß man zuerst einen kleinen Wattepfropfen lose hineinschiebt, darauf eine Lage linsengroßer Chlorkalziumstückchen schichtet, einen zweiten Wattepfropfen darauf setzt und dann den eingeschliffenen Glasstopfen, der oben einen Röhrenansatz besitzt, einsetzt. Über das Ende der Röhre zieht man ein Stückchen Kautschukschlauch, in welches man oben einen kleinen Glasstab eingeschoben hat. Das andere Rohr reicht fast

bis zum Boden des Gefäßes herab und besitzt oben einen Glashahn zum Einlassen der Säure in den Apparat. Oben ist das Rohr zur Aufnahme der letzteren birnenförmig erweitert und wird mit Glasstopfen, Kautschukschlauch und Glasstab in derselben Weise verschlossen wie das andere Rohr. Die Füllung mit verdünnter Säure (1 Teil konzentrierte Säure und 10 Teile Wasser) geschieht in der Weise, daß man das birnenförmige Rohr umkehrt, in die Säure eintaucht und bei geöffnetem Glashahn letztere so weit heraufsaugt, bis die Birne fast gefüllt ist. Dann schließt man den Hahn, trocknet den Röhrenansatz mit Fließpapier aus und setzt erst dann den Kautschukverschluß darauf. Die Substanz im Kölbchen wird mit etwas destilliertem Wasser übergossen. Nachdem man

alle Röhren fest eingesetzt, den Apparat mit einem trockenen Lederlappen abgewischt und ihn eine halbe Stunde im Wägezimmer stehen gelassen hat, wird er gewogen. Sodann entfernt man die Kautschukröhren und läßt die Säure tropfenweise in das Kölbchen einfließen. Nachdem die Kohlensäure ausgetrieben, erhitzt man mit einer ganz kleinen Flamme den Boden des Kölbchens fast bis zum Kochen, indem man dieses auf eine Platte von Asbestpappe mit kreisförmigem Ausschnitt setzt, oder aber man erwärmt das Kölbchen längere Zeit auf einem Wasserbade. Das Säurerohr muß hierbei geschlossen sein. Nachdem so die im Wasser absorbierte Kohlensäure ausgetrieben worden ist, läßt man den Apparat erkalten und saugt zuletzt nach Öffnung des birnenförmigen Rohres einen langsamen Luftstrom hindurch, um alle Kohlensäure zu entfernen, indem man das Chlorkalziumrohr mit einem Aspirator verbindet. Darauf verschließt man den Apparat mit den Kautschukverschlüssen, läßt ihn eine halbe Stunde lang im Wägezimmer stehen, damit er die Temperatur desselben wieder annimmt, lüftet vor dem Wägen den Kautschukverschluß am Chlorkalziumrohr zur Ausgleichung des Luftdruckes und wägt mit aufgesetzten Kautschukverschlüssen. Wenn alle Vorsichtsmaßregeln genau befolgt werden und man vor allen Dingen darauf achtet, daß die Flüssigkeit beim Erhitzen nicht in das Kochen gerät, so kann man durch diese Methode die Kohlensäure bis zu Zehntelprozenten genau bestimmen.

c) Die Bestimmung der Kohlensäure durch direkte Wägung.

Die Bestimmung besteht darin, daß man die Kohlensäure durch Salzsäure austreibt und sie in einem wägbaren Absorptionsapparate auffängt. Man wendet die Methode überall da an, wo es sich um eine möglichst genaue Bestimmung der Kohlensäure selbst in sehr kleinen Mengen handelt.

Bei humosen Böden mit geringem Gehalt an kohlensauren alkalischen Erden ist jedoch diese Methode nicht gut verwendbar, da sie nach Immendorf (19) und Marr (185) ziemlich ungenaue Resultate liefert, weil der Humus beim Kochen mit Wasser und Säure Kohlensäure in nicht belanglosen Mengen abscheidet. Marr empfiehlt deshalb bei Böden mit weniger als 1 % CaCO_3 eine Mischung von 2—5 ccm starker HCl mit 100 ccm Wasser und 20 g Boden.

Sehr zweckmäßig ist der nach R. Finkeners Angabe hergestellte und in Abb. 29 abgebildete Apparat. Von der bei 100°C getrockneten Substanz werden je nachdem 0,5–2 g abgewogen und in ein Kölbchen gebracht, auf dessen Hals ein übergreifendes Rohr aufgeschliffen ist. Dieses wird durch zwei Kupferdrahtringe, welche durch Spiralen verbunden sind, an dem Kölbchen befestigt. Das Rohr hat seitwärts einen aufsteigenden Ansatz, auf dessen Ende *c* das Chlorkalziumrohr aufgeschliffen ist, ein 93 cm langes Rohr mit aufsteigendem *c d* und absteigendem Schenkel *d e*, von denen nur der letztere mit Chlor-

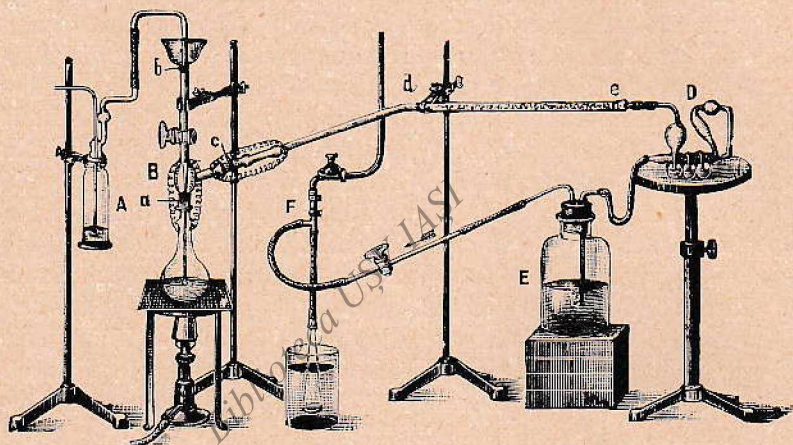


Abb. 29. Apparat zur Kohlensäurebestimmung nach R. Finkener.

kalzium gefüllt wird, während der erstere zur Aufnahme der beim Kochen entweichenden und sich darin kondensierenden Wasserdämpfe dient. Zur Befestigung mit dem Glasansatz dienen ebenfalls Ringe und Spiralen. An dem aufsteigenden Teile des Ansatzrohres befindet sich ein Glashahn *B* und darüber ein Trichter, in dessen Grunde *b* ein knieförmiges Rohr eingeschliffen ist. Unterhalb des Glashahns verengt sich das Trichterrohr und reicht fast bis zum Boden des Kölbchens herab, woselbst es nach aufwärts umgebogen ist, damit während der Kohlensäureentwicklung keine Bläschen darin aufsteigen können. Das Ende des Chlorkalziumrohres wird durch Kautschukschlauch mit einem kleinen Geißlerschen Kaliapparat *D*, welchen Abb. 30 deutlicher zeigt, verbunden. Dieser wird mit einer Kalihydration gelöst, welche auf 1 Teil Kalihydrat 2 Teile Wasser

enthält. 12 cem dieser Lösung vermögen 1 g Kohlensäure aufzunehmen. Die kleinen Waschfläschchen werden in der Weise bis zu $\frac{3}{4}$ gefüllt, daß man das obere Rohrende mit einem in die Lauge eintauchenden Kautschukschlauche versieht und am Rohrende des dazu gehörenden Chlorkalziumröhrchens mit dem Munde saugt. Nach der Füllung wird der Kautschukschlauch entfernt, das Rohrende mit Fließpapier gründlich gereinigt, das Chlorkalziumröhrchen gefüllt und der mit einem Lederlappen abgewischte und mit Kautschukverschlüssen versehene Apparat längere Zeit in die Wage hineingestellt, damit er die Temperatur des Wageraumes annimmt.

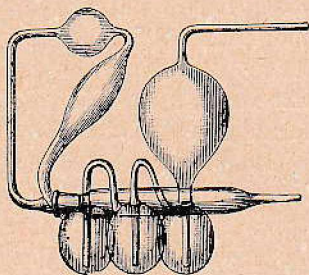


Abb. 30. Geißlerscher Kallapparat.

Die abgewogene Substanz im Kölbchen wird mit etwas destilliertem Wasser übergossen. Darauf leitet man, nachdem man das Kölbchen bis zum Kochen erhitzt hat, um die in dem destillierten Wasser gelöste Kohlensäure auszutreiben, und das rechtwinklig gebogene Glasrohr in den Trichter eingesetzt hat, einen Luftstrom durch den Apparat hindurch, dem zuvor die darin enthaltene Kohlensäure in einer Kaliwaschflasche (Abbildung 29 A) entzogen worden ist. Zum Durchleiten des Luftstromes bedient man sich zweckmäßig einer kleinen Bunsenschen Wasserluftpumpe, indem man zur Regulierung des Luftstromes den in der Abbildung sichtbaren Apparat *E* einschaltet. Dieser besteht aus einer einfachen Glasflasche mit doppelt durchbohrtem Kautschukstopfen, in welchem zwei Glasröhren stecken, von denen die eine am unteren Ende in eine feine Spitze ausgezogen ist und etwa 2 cm tief in das in der Flasche befindliche Wasser eintaucht. Das andere mit der Luftpumpe in direkter Verbindung stehende Rohr schneidet mit der Unterfläche des Stopfens ab und besitzt einen Glashahn, dessen Bohrung an der Mündung seitlich eingekerbt ist, so daß man selbst bei starkem Luftdruck kleine Luftbläschen in bestimmten Intervallen durch die Flüssigkeit hindurchlassen kann. Nachdem man etwa dreimal soviel Luft hindurchgesaugt hat, als der Apparat enthält, entfernt man das Rohr aus dem Trichter und füllt diesen, nach vorhergegangener Schließung des Glashahns *B*, mit verdünnter (10 %) Chlorwasserstoffsäure. Den

gewogenen Geißlerschen Kaliapparat verbindet man nun mit der langen Chlorkalziumröhre, läßt die Säure tropfenweise in das Kölbchen einfließen und stellt, nachdem die Entwicklung nachgelassen hat, ein ganz kleines Flämmchen darunter, während man einen langsamen Luftstrom (eine Blase in der Sekunde) durch den Apparat hindurchgehen läßt. Die Flüssigkeit wird bis zum angehenden Kochen erhitzt, darauf die Flamme entfernt und der Luftstrom etwas verstärkt. Die Operation ist beendet, wenn man das dreifache Luftvolumen, welches der Apparat enthält, durch ihn hindurchgesaugt hat. Den Kaliapparat läßt man mit den Kautschukverschlüssen eine halbe Stunde lang in der Wage stehen und wägt ihn alsdann.

Sind Schwefelmetalle im Boden vorhanden, die durch die Säure zersetzt werden und Schwefelwasserstoff liefern, so fügt man vorher zu der Flüssigkeit etwas Quecksilberchlorid hinzu. Sollte sich bei Anwendung von Salzsäure Chlor entwickeln, was bei Anwesenheit von Manganoxiden vorkommen kann, so läßt man zuvor etwas konzentrierte Zinnchlorürlösung in das Kölbchen einfließen.

Nach dem Gebrauch des Apparates wird das kondensierte Wasser im aufsteigenden Teile des Chlorkalziumrohres mittelst einer Flamme entfernt und das Rohr an beiden Enden verschlossen. Auf diese Weise kann man es lange Zeit gebrauchen, ohne es wieder von neuem füllen zu müssen.

Mc Intire und Willis zersetzen die Bodenkarbonate mit $\frac{1}{15}$ normal — H_3PO_4 in einem von ihnen konstruierten Zersetzungsapparate, da HCl und H_2SO_4 zu leicht mit dem CO_2 -Strom mit in die vorgelegte NaOH übergerissen werden.

d) Bestimmung des Kalziumkarbonats durch Maßanalyse.

Nach dem Vorschlage der Bremer Moorversuchsstation (263) ist vom Verbande landwirtschaftlicher Versuchsstationen im Deutschen Reiche zur Wertbestimmung kalkhaltiger Meliorationsmittel folgende Methode angenommen worden:

Es werden 0,2 g (bei kohlensauen Kalken und Mergeln besser 0,3—0,4 g) einer aufs feinste zerkleinerten Durchschnittsprobe mit 200 ccm erwärmten Wassers im geräumigen Erlmeyerschen Kochkolben aufgeschüttelt, mit 25—50 ccm titrierter Schwefelsäure ($\frac{1}{3}$ normal) versetzt, die Kohlensäure durch halbstündiges Kochen entfernt, die Flüssigkeit sodann filtriert und die überschüssige Säure durch Normalnatronlauge

unter Anwendung von Phenolphthalein als Indikator zurücktitriert. (Über die Herstellung der Normalschwefelsäure und Normalnatronlauge siehe unter Kjeldahl-Methode.) Die Gehaltsberechnung wird ohne Rücksicht auf vorhandene Magnesia auf Kalziumoxyd oder Kalziumkarbonat ausgeführt. Erst bei größerer Menge Magnesia (etwa 3%) wird diese auch berücksichtigt.

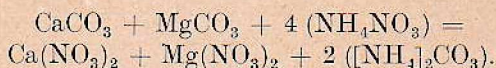
Diese schnell und einfach auszuführende Methode ist auch für alle Bodenarten geeignet, die beim Übergießen mit Salzsäure deutlich aufbrausen und demnach einen höheren Kalkgehalt anzeigen. Bei Bodenarten jedoch mit geringem Gehalte an Kalzium- oder Magnesiumkarbonat versagt nach Immendorf (19) diese Methode, wenn es sich darum handelt, den Gehalt an kohlensauen alkalischen Erden allein zu ermitteln. Es lösen sich nämlich in der Schwefelsäure auch die Kalkerde und die Magnesia der leicht zersetzlichen wasserhaltigen Doppelsilikate und der Humusstoffe. Wohl aber leistet diese Methode vorzügliche Dienste, wenn es sich darum handelt, die sämtlichen leichtlöslichen alkalischen Erden zu bestimmen, unbekümmert darum, ob sie kohlensauen oder leicht zersetzlichen Silikaten oder Humusstoffen angehören. Nur müssen in diesem Falle größere Mengen des Materials, ungefähr 6–10 g Boden, zur Untersuchung genommen werden. Nach dem Auskochen mit Schwefelsäure wird filtriert. Andernfalls ist bei der Titration keine scharfe Endreaktion zu erreichen, weil die Kieselsäure der zersetzten leichtlöslichen Silikate und die sogenannte „Humussäure“ auf die Natronlauge einwirken. Nach der Filtration gab aber die Methode gute Resultate. Immendorf konnte durch die Analyse der Schwefelsäureabkochung feststellen, daß in der Hauptsache nur Kalkerde und Magnesia einen Teil der Schwefelsäure neutralisiert hatten. Die hierbei in Lösung gegangenen alkalischen Erden halten sich in gleicher Höhe mit denen, die Immendorf bei dem Auszuge des Bodens mit derselben Schwefelsäure in der Kälte während 24 Stunden und mit 1%iger kalter Zitronensäure während 72 Stunden erhielt.

e) Die Bestimmung der Karbonate von Kalzium und Magnesium:

a) durch Auskochen mit Ammoniumnitrat.

Kommt es darauf an, das Verhältnis der Karbonate von Kalzium und Magnesium festzustellen, so empfiehlt sich folgende,

für die Bodenarten zuerst von Laufer und Wahnschaffe angewandte Methode. Man wägt 1–2 g der möglichst feingepulverten und bei 100° C getrockneten Substanz durch Ausschütten aus einem Wägeröhrchen in ein Becherglas hinein ab und übergießt sie mit 20 ccm ganz konzentrierter Ammoniumnitratlösung. Nachdem man ein Uhrglas auf das Becherglas gelegt hat, kocht man die Flüssigkeit eine halbe Stunde lang und fügt, falls sich das Salz durch Verdampfen des Wassers ausscheiden sollte, etwas heißes Wasser hinzu. Das Ammoniumnitrat hat die Eigenschaft, die Karbonate von Kalzium und Magnesium in lösliche Nitrats zu verwandeln, während das dabei gebildete Ammoniumkarbonat sich beim Kochen zersetzt und entweicht.



Man läßt nun den Boden sich absetzen und dekantiert die darüber stehende heiße Lösung durch ein Filter, indem man den Trichter in einen auf 100° C erwärmten kupfernen Heißwassertrichter bringt (Abb. 31), so daß sich während des Filtrierens das Ammoniumnitrat nicht ausscheiden und das Filter verstopfen kann.

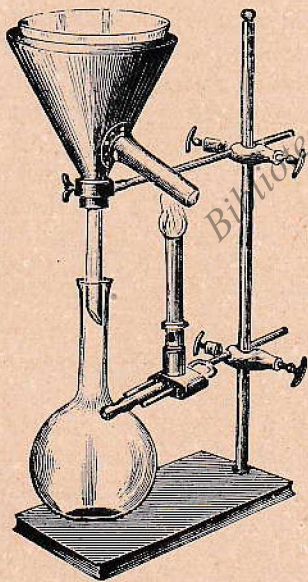


Abb. 31. Heißwassertrichter.

Man wiederholt das Aufkochen mit der Lösung noch zweimal, wäscht dann die Substanz im Glase mit einer etwas verdünnten heißen Lösung von Ammoniumnitrat aus und gießt die Waschflüssigkeit ebenfalls durch das Filter. Es ist nicht notwendig, die Substanz, falls man diese nicht weiter benutzen will, ganz und gar auf das Filter zu bringen. Mit reinem destillierten Wasser darf man nicht auswaschen, da sonst durch die feinen Bodenteilchen, welche durch das Filter hindurchgehen, die ablaufende Flüssigkeit getrübt wird. Die

Auswaschung ist beendet, wenn ein aus dem Trichter ablaufender Tropfen beim Verdampfen auf dem Platinblech keinen merklichen Rückstand hinterläßt. Im Filtrat wird der Kalk

mit oxalsaurem Ammoniak nach der bei der Nährstoffanalyse angegebenen Methode ausgefällt.

Das Filtrat vom Kalkniederschlag dampft man in einer Platinschale etwa auf die Hälfte ein und fügt dann in einem Becherglase eine Lösung von Natriumphosphat hinzu. Darauf wird so viel konzentriertes Ammoniak hinzugesetzt, daß dieses ein Drittel der ganzen Lösung beträgt. Bei mäßiger Wärme (25 bis 30° C) scheidet sich innerhalb 24 Stunden ein weißer kristallinischer Niederschlag ab, der aus phosphorsaurer Ammoniakmagnesia besteht = $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 + 6 \text{H}_2\text{O}$. Der Niederschlag wird abfiltriert und mit einer kalten Mischung von einem Teil konzentriertem Ammoniak und drei Teilen Wasser ausgewaschen. Den getrockneten Niederschlag entfernt man vor dem Glühen im Porzellantiegel möglichst vom Filter und verascht letzteres für sich. Darauf fügt man die Asche zur Hauptmenge hinzu und glüht über dem Gebläse. Sollte der Niederschlag nach dem Glühen durch unverbrannte Kohle grau oder schwarz gefärbt sein, so feuchtet man ihn mit einem Tropfen Salpetersäure, den man darauf fallen läßt, an und erhitzt den Tiegel bei aufgelegtem Deckel zuerst ganz gelinde und später über dem Gebläse. Der weiße Rückstand im Tiegel besteht aus Magnesiumpyrophosphat = $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Um die äquivalente Menge Magnesiumkarbonat zu bekommen multipliziert man mit dem Faktor 0,758.

Fox (118) titriert Kalk und Magnesia in ein und derselben Lösung im Filtrat des Eisen-Tonerde-Niederschlages, indem er den Kalk mit überschüssiger Oxalsäure und Magnesia mit Ammoniumarsenat fällt. Der mit H_2SO_4 zersetzte Niederschlag wird mit KMnO_4 titriert, deren Verbrauch der Gehalt an Oxalsäure bzw. CaO anzeigt. Nach Zusatz von KJ titriert man mit Thio-sulfatlösung das ausgeschiedene Jod und berechnet auf MgO .

β) durch Auskochen mit Essigsäure.

Noch eine zweite, von Bode (83) empfohlene und von ihm erprobte Methode, um die Karbonate von Kalzium und Magnesium in Mergeln, Kalksteinen und Kalkböden zu ermitteln, soll hier mitgeteilt werden. Nach Bode sind die zu untersuchenden Proben von Mergeln und Kalksteinen in der Achatschale aufs feinste zu pulvern. 1 g der Substanz wird mit 50 ccm 10%iger Essigsäure in einem Maßkolben von 100 ccm Inhalt so lange gekocht, bis ein Entweichen von Kohlensäurebläschen nicht mehr zu bemerken ist, ein Prozeß, der meist nach einer Viertelstunde als beendet angesehen werden kann.

Nach dem Erkalten ist die Flüssigkeit auf 100 ccm aufzufüllen und nach dem Absetzen der Substanz je 25 bzw. 50 ccm des Filtrats zur Untersuchung auf Kalkerde und Magnesia zu verwenden. In derselben Weise, wie es Passon (214) für den Auszug mit Königswasser bei der Ermittlung des Gesamtkalks ohne vorherige Abscheidung von Tonerde, Eisenoxyd und Mangan in Vorschlag gebracht hat, verwandte Bode die Zitronensäure für die essigsäure Lösung. Diese wird in kaltem Zustande mit einem Tropfen Phenolphthalein versetzt und dann gleichfalls in der Kälte tropfenweise mit verdünntem Ammoniak versetzt bis zur Rotfärbung der Flüssigkeit und Entstehung eines Niederschlags. Darauf fügt man tropfenweise 10%ige Zitronensäure bis zum Verschwinden der roten Farbe und des Niederschlags hinzu. Nach Zusatz von weiteren 10 ccm 10%iger Zitronensäure wird die Flüssigkeit gekocht, die Kalkerde mit Ammoniumoxalat, im Filtrat die Magnesia mit Natriumphosphat und Ammoniak gefällt. (Siehe unter Nährstoffanalyse.)

Es wird angegeben, daß sich eine 10%ige Essigsäure als ein geeignetes Lösungsmittel zur Bestimmung der Karbonate von Kalzium und Magnesium in Mergeln und Kalksteinen erwiesen habe, da zwischen der dem ermittelten Gehalt an Kalkerde und Magnesia äquivalenten und der direkt gefundenen Kohlensäuremenge sich eine befriedigende Übereinstimmung zeigte. Aus einer Anzahl verschiedener Mergelarten wurde durch Kochen mit 10%iger Essigsäure nur so viel Kalkerde und Magnesia gelöst, als den in diesen Mergeln enthaltenen Kohlensäuremengen entsprach.

Nach Angabe von Bode kann obige Methode auch bei kalkarmen Ackererden mit geringem Humusgehalte angewendet werden. 50–100 g des durch das 2-mm-Sieb gegebenen Bodens werden in einem Erlenmeyerschen Kochbecher wiederholt mit 10%iger Essigsäure gekocht und in einen Maßkolben hineinfltriert, wobei der Rückstand ohne Rücksicht auf etwaige Trübungen des Filtrats mit heißer verdünnter Essigsäure durch Dekantieren ausgewaschen wird. Bei kalkreichen, dolomitischen Bodenarten wendet man kleine Mengen an, die in der Achat- schale vorher zu pulvern sind.

Das Filtrat des essigsäuren Bodenauszugs ist auf ein bestimmtes Volum aufzufüllen und abgemessene Teile desselben, gleichgültig, ob klar oder trübe, so weit zu verdünnen, daß in 200 ccm Flüssigkeit ungefähr 0,1 g CaO enthalten ist. Die Be-

handlung mit 10 %iger Zitronensäure und die Fällung der Kalkerde mit Ammoniumoxalat erfolgt wie unten angegeben. War der angewandte essigsäure Auszug trübe, so wird das gegläutete Kalziumoxyd nochmals in verdünnter Essigsäure gelöst, die Lösung filtriert und in ihr die Kalkerde nochmals gefällt.

Shrewsbury (251) zieht 10 g Boden mit annähernd $\frac{1}{4}$ n-Essigsäure aus, filtriert 25 ccm ab, dampft ein und glüht. Sodann wird mit 10 ccm $\frac{1}{10}$ n-Essigsäure oder mehr aufgenommen und der Säureüberschuß mit $\frac{1}{10}$ n KOH oder NaOH zurücktitriert (Phenolphthalin).

γ. Nach der Methode Hutchinson-Mac Leman.

Der Boden wird in einem einfachen Apparate, dessen nähere Beschreibung in der Originalarbeit (153) zu finden ist, mit 2 %iger Salzsäure behandelt, die Kohlensäure von einer $\frac{1}{10}$ N-Natronlösung absorbiert. Bariumchlorid im Überschuß entfernt die Karbonate dieser Lösung; der Volumgehalt an freiem Alkali wird mit titrierter Säure und Phenolphthalin bestimmt.

δ. Die Methode Truog.

Truog (266) bestimmt die Karbonate in der Weise, daß er die bei Einwirkung von $\frac{1}{5}$ N. HCl entstehende CO_2 , nachdem sie mit Luft eine mit AgSO_4 -Lösung beschickte Waschflasche durchlaufen hat, in einen Absorptionsturm leitet, in welchem die CO_2 durch 40 ccm 0,4 N-Ba(OH) $_2$ absorbiert wird. Nach beendeter Absorption wird der Turm abgewaschen und das überschüssige Ba(OH) $_2$ mit 0,4 N.-HCl zurücktitriert.

B. Die Bestimmung der Humussubstanzen.

Als Humus bezeichnet man alle diejenigen aus der Umwandlung von Pflanzenresten hervorgegangenen Substanzen, in denen der Kohlenstoff in organischer Verbindung auftritt.

War man früher der Ansicht, daß der Humus im wesentlichen aus Gruppen verschiedener chemisch weniger bestimmter Verbindungen bestände, die man als „Humate“ und „Humussäuren“ zusammenfaßte, so ist man in neuerer Zeit auf Grund der Fortschritte der Kolloidchemie bezüglich der Natur der Humusstoffe zu anderer Auffassung gelangt, indem man sie als Kolloidkomplexe anscheinend verschiedenartigster Zusammensetzung erklärt, die aus unveränderten Kolloiden der ursprünglichen Pflanzensubstanz, gemischt mit kohlenstoffreichen Zersetzungsprodukten, bestehen. Und zwar haben wir zu unterscheiden zwischen absorptiv gesättigten und absorptiv ungesättigten Humusstoffen, welche beide in ihrem Verhalten große Gegensätze aufweisen. Der absorptiv gesättigte, früher als „mild, neutral“ bezeichnete Humus reagiert neutral und ist wenig veränderlich; verdünnte Ammoniaklösung löst ihn nicht, oder höchstens in Spuren. Er nimmt Wasser in großen Mengen auf, ohne kolloidale Lösungen oder gallertartige Sole zu bilden. Die absorbierten Stoffe setzen sich infolge Austausch mit anderen Salzen in hohem Grade um. Verwesen derartig

gesättigte Humusbildungen, z. B. Flachmoortorf, so werden für die Pflanzen Stickstoff und Mineralstoffe fortlaufend geliefert. Völlig abweichend verhält sich der absorptiv ungesättigte sogenannte „saure“ Humus, indem er mit Wasser kolloidale Massen, Gelee und schwache Lösungen bildet, die das Wasser dunkel färben. Die Zersetzung dieser sogenannten „sauren“ Humusstoffe (z. B. jüngerer Hochmoortorf) verläuft langsam. Bei der Untersuchung der Moorböden und dem Nachweis des Säuregrades im Moorboden ist die Kenntnis dieser Eigenschaften der verschiedenartigen Humusstoffe notwendig (siehe weiter unten).

Für die Landwirtschaft ist es vor allen Dingen von Wichtigkeit, zu erfahren, in welcher Verteilung die Humussubstanz im Boden vorkommt, und welche Reaktion sie besitzt. Über die Verteilung und den Grad der Zusammensetzung belehrt uns die mechanische Analyse, wenn wir die verschiedenen Schlämmprodukte mikroskopisch untersuchen. Die Reaktion ist nach den in einem späteren Abschnitt beschriebenen Methoden festzustellen. Die sogenannten „sauren“ Humusböden sind für die Kultur außerordentlich nachteilig.

Was die quantitative Bestimmung der Humussubstanzen betrifft, so kann man mittelst der Knopschen Methode ihren Kohlenstoffgehalt mit annähernder Genauigkeit ermitteln. Will man jedoch den Kohlenstoffgehalt mit größtmöglicher Genauigkeit feststellen, so wendet man die bei der Elementaranalyse übliche Verbrennung an, die auch nach neueren vergleichenden Untersuchungen Ehrenbergs (107) auch bei Bestimmung der organischen Substanz in Tonen die besten Resultate liefert. Bei einigen Bodenarten erhält man auch schon durch Bestimmung des Glühverlustes einen Anhalt zur Beurteilung des Humusgehaltes.

Der Gehalt des Bodens an Humus bzw. organischen Stoffen steht im allgemeinen mit der sog. katalytischen Kraft des Bodens, d. h. der Eigenschaft, aus H_2O_2 Sauerstoff freizumachen, in gleichem Verhältnis. Bezüglich der Methode, die katalytische Kraft zu bestimmen, sei auf König (160) verwiesen.

a. Die Knopsche Methode der Humusbestimmung.

Die Knopsche Methode beruht darauf, den im Humus enthaltenen Kohlenstoff durch Oxydation mit Chromsäure in Kohlensäure zu verwandeln und letztere in einem wägbaren Absorptionsapparate aufzufangen.

Etwa 2–10 g fein zerriebener Feinboden (unter 2 mm D.) der zu untersuchenden Substanz werden auf einem Uhrglase

ausgebreitet und im Trockenschrank (Abb. 32) oder doppelwandigen Toluol-Trockenschrank, wie ihn Albert und Bogs (63) empfehlen, mindestens eine Stunde lang bei 100°C getrocknet. Diese Temperatur darf nicht überschritten werden, da schon bei 110°C das aus dem Humus abdestillierende Wasser zuweilen bräunlich gefärbt ist, was auf eine Zersetzung hin-

deutet. Zugleich mit der Substanz setzt man ein Wägegläschen (Abb. 33) in den Trockenschrank hinein, nimmt jedoch den luftdicht in dasselbe eingeschliffenen Stopfen vorher ab. Nachdem die Substanz getrocknet ist, bringt man sie heiß in das Wägegläschen, verschließt dieses und läßt es im Exsikkator

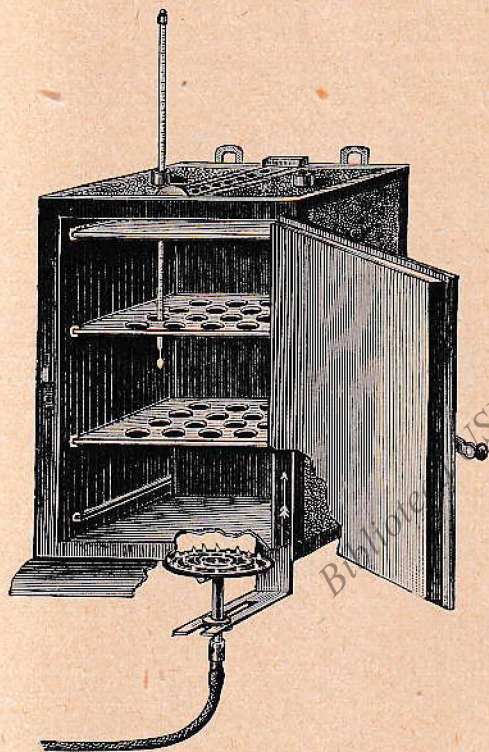


Abb. 32. Doppelwandiger Trockenschrank.

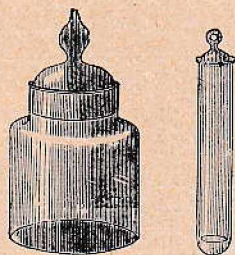


Abb. 33. Wägegläschen.

erkalten. Sodann wägt man es und schüttet von der Substanz je nach deren größerem oder geringerem Humusgehalte 1 — 10 g vorsichtig, ohne etwas zu verstäuben, in ein Glaskölblehen mit weitem Halse, in welchem die Oxydation der Humussubstanz ausgeführt werden soll. Man kann hierzu den bereits beschriebenen Kohlensäurebestimmungsapparat (Abb. 29) benutzen. Hat man einen solchen nicht zur Hand, so setzt man auf das Glaskölblehen einen doppelt durchbohrten Kautschukstopfen. Durch die eine Bohrung steckt man ein gerade aufsteigendes Glasrohr,

welches oben mit Kautschukröhre und Glasstab verschlossen wird. Durch die andere Bohrung geht das Chlorkalziumrohr hindurch, welches oberhalb des Stopfens umgebogen ist und im übrigen dieselbe knieförmige Gestalt besitzt, wie sie bereits bei dem Kohlensäurebestimmungsapparate (Abb. 29) beschrieben wurde. Während der Operation scheiden sich oft reichliche Mengen von Chromsäure aus, die zu einer Verstopfung des durch das Kölbchen führenden Rohres führen können. Man beugt diesem Übelstande vor, indem man für diesen Zweck nach Herrn Dr. Waches Angabe das Rohr am Ende nicht verbjüngt und nach oben umgebogen, sondern gerade und trichterförmig erweitert wählt.

Die abgewogene, im Kölbchen befindliche Substanz übergießt man mit 20—30 ccm destilliertem Wasser und fügt 30 bis 40 ccm konzentrierte Schwefelsäure hinzu. Man läßt diese am besten durch einen Trichter nach und nach einfließen. Bei der Vermischung der Säure mit Wasser findet eine sehr starke Erhitzung statt, so daß sowohl die im Boden frei vorhandene Kohlensäure, als auch die an Kalk gebundene vollständig ausgetrieben wird. Ist viel Kalziumkarbonat vorhanden, wie dies z. B. bei Moormergeln und humosen Kalkböden der Fall ist, so darf man die Schwefelsäure nur ganz langsam und unter stetigem Abkühlen des Gefäßes einfließen lassen, da sonst ein Übersäumen der Flüssigkeit stattfindet. Vor Beginn der Oxydation läßt man das Kölbchen völlig erkalten und saugt oder bläst die über der Flüssigkeit stehende Luft heraus, um die letzten Spuren der Kohlensäure zu entfernen.

Da häufig in den Bodenarten noch nicht völlig humifizierte Pflanzenreste vorkommen, die sich jedoch nicht gut vorher auslesen lassen, so läßt man die Schwefelsäure einige Tage lang mit der Substanz in Berührung. Es findet nun eine Verkohlung der organischen Reste statt, und die Oxydation mit Chromsäure vollzieht sich rascher und gleichmäßiger.

Albert und Bogs (63) stellten fest, daß die Knopsche Methode bei den von ihnen angestellten Versuchen recht befriedigend untereinander übereinstimmende Werte ergab. Versuche, die Einwirkung der Schwefelsäure auf den Humus durch Erwärmung zu beschleunigen, führten zu ungünstigen Resultaten.

Nachdem man den zuvor gewogenen Geißlerschen Kaliumabsorptionsapparat (Abb. 30) mit dem Chlorkalziumrohr ver-

bunden hat, schüttet man 10–15 g gepulvertes Kaliumbichromat rasch zur Substanz und verschließt den Apparat sofort mit dem Kautschukstopfen. Um Fehler zu vermeiden, die dadurch entstehen können, daß bei allzu stürmischer Entwicklung der Kohlensäure ein Spritzen der Flüssigkeit gegen den Kautschukstopfen stattfindet, umgibt man die Unterseite zweckmäßig mit einem dünnen Platinbleche. Man bringt nun eine ganz kleine Flamme unter das Kölbchen und reguliert die beim Erwärmen beginnende Kohlensäureentwicklung derartig, daß immer eine Blase in der Sekunde durch den Geißlerschen Apparat hindurchgeht. Wird die Entwicklung lebhafter, so mäßigt man die Flamme, läßt sie nach, so erhitzt man stärker.

Das Kaliumbichromat wird durch die Schwefelsäure in folgender Weise zersetzt: $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2 (\text{CrO}_3) + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$. Die freie Chromsäure oxydiert durch ihren Sauerstoff den Kohlenstoff der Humussubstanzen zu Kohlensäure und wird selbst zu Chromoxyd reduziert. In der Flüssigkeit bildet sich, da stets Überschuß an Schwefelsäure vorhanden ist, gewöhnlich Chromalaun $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 + 12 \text{H}_2\text{O}$. Die Erhitzung wird bis zum Kochen gesteigert, bis keine merkliche Kohlensäureentwicklung mehr stattfindet. Zuletzt saugt man einen langsamen trockenen Luftstrom durch den ganzen Apparat. Man entfernt nun die Flamme und verfährt im übrigen ganz so, wie dies bei der Kohlensäurebestimmung (vgl. unter IIA, c.) angegeben ist.

Um aus der gefundenen Kohlensäure die Menge des wasser- und stickstofffreien Humus annähernd berechnen zu können, ist man übereingekommen, für diesen, gleichviel, in welcher Form er sich im Boden findet, einen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 58 % anzunehmen. Wenngleich die Zugrundelegung dieses Gehalts nach Albert und Bogs nur bei humosen Mineralböden, nicht aber bei Humusböden zutrifft, so hat man diese Berechnungsart, nach welcher man die gefundene Kohlensäuremenge nur mit dem Faktor 0,471 zu multiplizieren braucht, um den Humusgehalt zu erfahren, dennoch beibehalten.

Da bei etwa vorhandenem Schwefeleisen durch Entwicklung geringer Mengen Schwefelwasserstoff oder bei Anwesenheit von Chloriden durch entweichendes Salzsäuregas Fehler entstehen können, so empfiehlt es sich, zwischen dem Chlorkalziumrohr und dem Geißlerschen Apparate eine U-förmige Röhre einzuschalten. Diese wird mit Bimssteinstückchen gefüllt, die mit

Kupfervitriol getränkt und bis zur Hydratwasseraustreibung des letzteren erhitzt waren. Hierdurch werden das Schwefelwasserstoff- und Chlorwasserstoffgas zurückgehalten.

b. Weitere Methoden der Humusbestimmung.

Von C. Aschmann und H. Faber (69) ist ein Verfahren zur Bestimmung des Humus ausgearbeitet worden, welches auf der Titration der in Alkalien gelösten Humussäuren mittelst Kaliumpermanganat beruht; das Verfahren findet wenig Anwendung.

Lapicque und Barbé (170) bestimmen den Humusgehalt des Bodens durch Schütteln mit Eau de Javelle, dessen Überschuß sie titrieren. Der Chlorgehalt steht im Verhältnis zum Humusgehalt des Bodens. Ames und Gaither (65) bestimmen den Humus in Böden und Bodenauszügen durch Oxydation mit einer Mischung aus 3,3 g CrO_3 , 10 ccm W. und 50 ccm H_2SO_4 . Zur Absorption der CO_2 dient ein von ihnen konstruierter praktischer Apparat.

c. Die Bestimmung des Kohlenstoffes der Humussubstanzen durch die Elementaranalyse.

Das zuerst von Liebig angegebene Verfahren, welches hier besprochen werden soll, kommt darauf hinaus, den Kohlenstoff durch Glühen mit Kupferoxyd zu Kohlensäure zu verbrennen. Da jedoch in den Humussubstanzen des Bodens immer Stickstoff enthalten ist, der bei dieser Art der Verbrennung zum Teil in Stickoxyd und salpetrige Säure übergeht, so ist die Methode hier in entsprechender Weise modifiziert worden.

Das aus schwer schmelzbarem Kaliglas bestehende, gut gereinigte Verbrennungsröhr, welches eine Länge von 50 bis 55 cm haben muß, wird an dem einen Ende ausgezogen, schnabelförmig umgebogen, wie dies Abb. 56 zeigt, und zugeschmolzen. Man füllt das Röhr, welches vorher auf dem Sandbade erwärmt und durch Aussaugen der darin befindlichen Luft mittelst einer Glasröhre getrocknet worden ist, durch einen angewärmten Metalltrichter mit reinem, frisch ausgeglühtem und noch warmem Kupferoxyd bis zur Hälfte, jedoch so, daß nichts in den aufsteigenden Teil gelangt. Man verhindert dies am leichtesten dadurch, daß man vor der Füllung einen Pfropfen von ausgeglühtem reinen Asbest lose hineinschiebt. Darauf schüttet

man etwas warmes Kupferoxyd in eine angewärmte Porzellanreibschale und fügt aus einem Wägeröhrchen 0,5–10 g des feingepulverten Feinbodens (die Menge richtet sich nach dem größeren oder geringeren Humusgehalte) hinzu. Das Kupferoxyd wird mit der Substanz innig verrieben und ebenfalls in die Röhre eingefüllt; die in der Reibschale hängengebliebenen Teilchen werden in der Weise entfernt, daß man immer etwas neues Kupferoxyd hineinschüttet, damit verreibt und in die Röhre einfüllt. Die mit Kupferoxyd verriebene Substanz und die trockene Nachspülmasse nehme etwa einen Raum von 5 cm im Rohre ein. Darauf füllt man noch 5 cm Kupferoxyd hinein. Nun folgt eine Schicht von 10–12 cm blanker feiner Kupferdrahtspäne oder eine ebenso lange Kupferdrahtspirale; noch besser verwendet man Spiralen von ganz feinem Silberdraht, da durch letzteren in hellrotglühendem Zustande nicht nur das Stickoxyd vollständig reduziert, sondern auch etwa vorhandenes Chlor durch Bildung von Chlorsilber zurückgehalten wird. Nach der Füllung klopft man die Röhre der Länge nach wiederholt auf einem Tische auf, damit sich ein Kanal über der eingefüllten Substanz bildet, durch welchen die Verbrennungsgase entweichen können. Die so gefüllte Röhre wird mit einem Chlorkalziumrohr versehen, an welches sich eine gabelförmige Glasröhre anschließt. Das eine Ende der Gabel verbindet man mit einer Wasserluftpumpe, das andere versieht man mit Kautschukschlauch und Quetschhahn. Nachdem man nun das Verbrennungsrohr ausgepumpt hat, läßt man vermittelst des Quetschhahns durch das Chlorkalziumrohr getrocknete Luft hineintreten, so daß dadurch alle Feuchtigkeit beseitigt wird.

Die so vorbereitete Röhre wird in einen Verbrennungssofen (Abb. 34) hineingelegt, während man den von der Füllung freigelassenen, etwa 5 cm langen Raum aus dem Ofen herausragen läßt und zum Schutze des vorn in diese einzusetzenden, einmal durchbohrten Kautschukstopfens durch ein Stück Asbestpappe steckt. Mit dem Rohre verbindet man zunächst ein zuvor gewogenes U-förmiges Chlorkalziumrohr, an welches sich der ebenfalls gewogene Geißlersche mit dem Chlorkalziumrohr versehene Kaliapparat (Abb. 30) anschließt.

Die Verbrennung muß möglichst langsam geleitet werden. Man erhitzt zuerst die Röhre am vorderen und hinteren Ende bis zum lebhaften Rotglühen und schreitet mit der Erhitzung

des Rohres fort, indem man von vorn nach hinten zu die Gasähne sukzessive aufdreht. Die Verbrennung muß so geregelt werden, daß immer eine Blase in der Sekunde durch den Kaliapparat hindurchgeht.

Die Operation ist beendet, wenn die Kalilauge bei starker Erhitzung des ganzen Rohres im Kaliapparate zurückzusteigen beginnt. Man kneift in diesem Falle mit einer Zange die äußerste Spitze des ausgezogenen Rohrendes ab und schließt den Hauptgashahn. Das aufgebogene Ende darf nicht zu stark erwärmt gewesen sein, so daß man es mittelst eines Kautschukschlauches mit einem Chlorkalziumturm und einer Kaliwaschflasche ver-

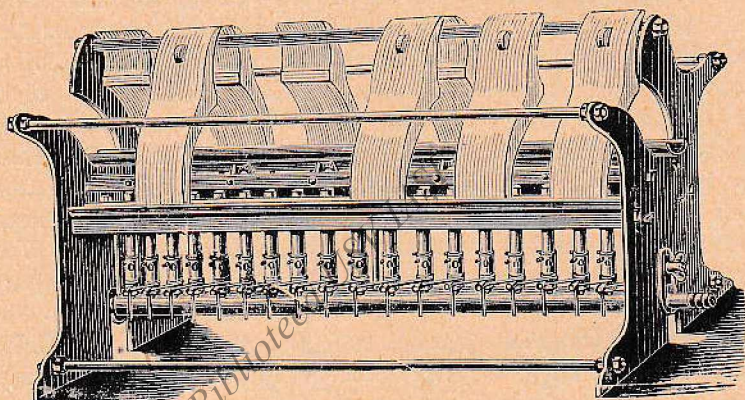


Abb. 34. Verbrennungssofen.

binden kann. Nach Herstellung der Verbindung des Chlorkalziumrohres am Geißlerschen Kaliapparate mit dem bei der Kohlensäurebestimmung beschriebenen Aspirator (Abb. 29 E) läßt man einen langsamen Luftstrom durch das Verbrennungsrohr hindurchgehen, um alle Kohlensäure aus demselben zu entfernen. Die Verbrennung nach der eben beschriebenen Art hat den Nachteil, daß man in jedem besonderen Falle das Rohr neu füllen bzw., da das Rohr selbst bei der Operation sehr oft leidet, ein neues Rohr anwenden muß. Man arbeitet erheblich bequemer und sicherer auf folgende Weise: Ein Glas- oder Porzellanrohr, das etwa 3 cm länger ist als der Verbrennungssofen, wird derart mit ausgeglühtem Kupferoxyd gefällt, daß auf der einen (hinteren) Seite etwa 15 cm, auf der anderen (vorderen) Seite etwa 25 cm frei bleiben. Vor und hinter diese Kupferoxydschicht bringt man einen festsitzenden, aber einen Gasstrom

leicht durchlassenden, ausgeglühten Asbestpfropfen. In die hintere, kürzere freie Stelle des Rohres führt man, wie vorher beschrieben, eine blanke Silberspirale zur Reduktion eventuell

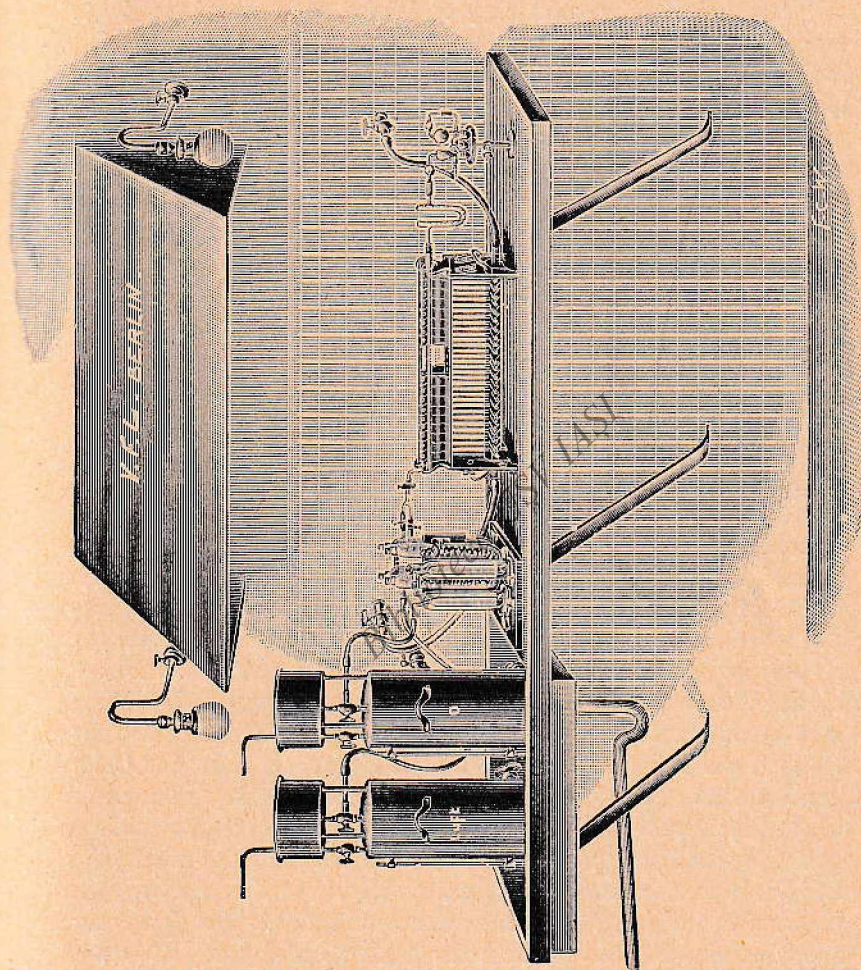


Abb. 35. Verbrennungstisch für Elementaranalysen.

auf tretender salpetersaurer Gase. An dieses hintere Ende des Rohres fügt man mittelst Gummistopfen, Glasrohr und Kautschukschlauch ein gewogenes Chlorkalziumrohr und ferner einen gewogenen Kaliapparat zum Auffangen des durch die Verbrennung entstehenden Wassers und der Kohlensäure (siehe Abb. 35).

Die vordere Seite wird mittelst Gummistopfens und eines mit Hähnen versehenen Dreiwegerohres aus Glas mit einem Trockenapparat, und dieser dann wieder mit je einem Gasometer für Luft und für Sauerstoff in Verbindung gebracht.

Gearbeitet wird nun in der Weise, daß man vor jedesmaligem Gebrauch des Rohres dieses auf dem Ofen ausglüht, indem man gleichzeitig einen schwachen Luftstrom hindurchleitet. Hat man chromsaures Blei in dem Rohr, so darf dieses nur mit ganz kleinen Flammen erhitzt werden, damit es nicht zum Schmelzen kommt. Dann dreht man die Flammen unter dem vorderen Teile ab und läßt erkalten, während das Kupferoxyd im Glühen bleibt. Mittelst eines zum Haken umgebogenen Glasstabes bringt man nun die in einem Porzellanschiffchen abgewogene Substanz (0,5—3 g) in das Rohr, bis in die Nähe des glühenden Kupferoxyds und verschließt das Rohr schnell mit dem Gummistopfen und dem Glasrohr, das die Leitung nach den Gasometern bildet. Durch die von dem glühenden Kupferoxyd auch rückwärts strahlende Wärme wird aus der Substanz sehr bald Wasser ausgetrieben, das, durch den Luftstrom fortgeführt, in dem vorgelegten Chlorkalziumrohr sichtbar wird. Man fängt nun, von hinten allmählich nach vorn gehend, an zu heizen. Ist man damit nahe genug an die Substanz herangekommen, so treten erst Destillationsprodukte auf, die, mit der Luft fortgeführt, durch das glühende Kupferoxyd zu Wasser und Kohlensäure verbrannt werden. Man stellt nun den Luftstrom ab und den Sauerstoffstrom an, der nun den verkohlten Humus im Schiffchen zur vollständigen Verbrennung bringt. Die Flammen stellt man dabei auf dunkle, schließlich helle Rotglut ein. Da sich ein Teil des Wassers in dem Rohr, ehe es in das Chlorkalziumrohr gelangt, verdichten kann, so erwärmt man dieses wiederholt vorsichtig (Gummistopfen beachten!), bis sich in dem Chlorkalziumrohr neu auftretendes Wasser nicht mehr zeigt. Die Verbrennung ist beendet, wenn sich ein an den Ausgang des Kaliapparates gehaltener Holzspan entzündet. Man leitet nun zur Verdrängung des Sauerstoffs noch 20 Minuten Luft durch den ganzen Apparat, nimmt Chlorkalziumrohr und Kaliapparat ab und wägt sie nach Verlauf von etwa einer halben Stunde. Das im U-förmigen Chlorkalziumrohr gewogene Wasser enthält sämtlichen Wasserstoff, sowohl denjenigen der Humussubstanzen als auch den an die übrigen Bodenbestandteile gebundenen.

Um aus der im Geißlerschen Kaliapparat absorbierten Kohlensäuremenge den Kohlenstoffgehalt des Bodens zu berechnen, multipliziert man diese mit dem Faktor 0,273. Will man dagegen die Humussubstanz wissen, so multipliziert man die gewogene Kohlensäure mit dem Faktor 0,471.

d. Die Bestimmung des Glühverlustes.

Wenn die zu untersuchende Bodenprobe keinen oder nur ganz geringe Mengen Ton enthält, wie dies beispielsweise bei manchen humosen Sanden, Moorerden und Torfen der Fall ist, so läßt sich der Humus annähernd durch eine Glühverlustbestimmung ermitteln.

Der bei 100° C anhaltend getrocknete Feinboden wird aus einem Wägegläschen in einen zuvor gewogenen Porzellantiegel hineingeschüttet und ersteres zurückgewogen. Man erwärmt nun den Tiegel ganz allmählich, indem man ihn schräg auf ein Dreieck legt und ihm von dem äußeren Rande aus die kleine Flamme eines Bunsenschen Brenners nähert. Man erhitzt allmählich, bei aufgelegtem Deckel stärker, indem man das Verbrennen der Substanz so reguliert, daß keine Teilchen durch den Luftzug mit fortgerissen werden können. Nachdem die Verbrennung des Humus beendet ist, beschleunigt man die vollständige Veraschung durch Umrühren mit einem starken Platindraht, dem man unten durch Hämmern auf einem Amboß eine spatelförmige Gestalt gegeben hat.

Knop verwendet zur Glühverlustbestimmung 2 g Feinerde, mischt den Glührückstand mit dem gleichen Volumen reiner, pulverförmiger Oxalsäure und steigert die Temperatur allmählich so weit, bis die Oxalsäure eben zersetzt ist. Diese Operation wird mit der Hälfte der Oxalsäuremenge so oft wiederholt, bis der Tiegel nach dem Erkalten und Wägen ein konstantes Gewicht zeigt. Die Erhitzung darf nicht zu stark sein, da sonst ein Teil der durch die Oxalsäure regenerierten Kohlensäure wieder ausgetrieben wird.

Nach einer anderen Methode wird der Glührückstand wiederholt mit kohlensaurem Ammoniak befeuchtet und schwach geglüht, um die in geringer Menge vorhandenen alkalischen Erden zu regenerieren, und nach dem Erkalten im Exsikkator gewogen.

Ist dagegen kohlensaurer Kalk und kohlensaures Magnesia in größerer Menge vorhanden, und hat man zur Zerstörung

aller organischen Substanz etwas stärker erhitzt, so lassen sich Kalzium- und Magnesiumoxyd durch Ammoniumkarbonat nicht wieder regenerieren, da sich bei der innigen Mischung der alkalischen Erden mit staubfreier Kieselsäure Silikate bilden, die sich nicht wieder in Karbonate umsetzen. In diesem Falle tut man gut, den Glührückstand vorsichtig in einen Platintiegel zu überführen und letzteren vor dem Gebläse so stark zu erhitzen, bis sämtliche Kohlensäure ausgetrieben ist und sich ein gesintertes oder geschmolzenes Kalksilikat gebildet hat. Die Kohlensäure der Ausgangssubstanz wird in einer besonderen Probe durch direkte Wägung (vgl. S. 57) bestimmt und von dem Glühverlust in Abrechnung gebracht. Die blasige Schlacke löst man am besten mit Flußsäure aus dem Platintiegel heraus.

e. Die Humusbestimmung nach Dennstedt.

Als Massenbestimmungsmethode empfehlen Albert und Bogs (63) die vereinfachte Methode nach Dennstedt (100), die sie mit sehr gutem Erfolge zur Humusbestimmung benutzten. Zur Aufnahme der Bodenprobe dient ein Porzellanschiffchen. Da man bei humusarmen Böden bis zu 5 g lufttrockner Substanz anwenden muß, so müssen die Porzellanschiffchen dementsprechend groß sein (145.14 mm) und das Verbrennungsrohr eine lichte Weite von 16—18 mm haben. Hinter dem Schiffchen mit der Bodenprobe in einer Entfernung von 10—12 cm befindet sich der sog. Platinkontaktstern (Firma E. Dittmer u. Vierth, Hamburg 13), und in etwa gleichem Abstände hinter diesem das nach dem Platinstern zu offene Porzellanschiffchen mit dem von Dennstedt vorgeschriebenen Gemenge von Bleisuperoxyd und Mennige. Letzteres dient zur Absorption der bei der Verbrennung entstehenden Oxyde des Stickstoffs, Schwefels usw. Ist der Platinstern zur Rotglut erhitzt und das dahinter liegende Bleisuperoxydgemenge, durch Einstellen des Heizrohres, auf die vorgeschriebene Temperatur von 320° C gebracht, so wird die Bodenprobe eingeführt und sofort im Sauerstoffstrom unter langsam fortschreitender Erwärmung des vorderen Teils des Ofens verbrannt. Ist alles genügend vorbereitet, so kann eine Humusbestimmung auf diese Weise in 30 bis 40 Minuten beendet sein. Außerdem ist der Ofen sofort wieder zu einer neuen Bestimmung fertig, da man nur den vorderen zur Aufnahme der Bodenprobe dienenden Teil des Verbrennungsrohres erkalten läßt. Albert und Bogs haben

auf diese Weise in einem und demselben Rohre über 100 Verbrennungen ausführen können. Ein Durchleiten von Luft kann ebenfalls erspart werden, wenn man die Kaliapparate mit Sauerstoff gefüllt, gewogen hat. Vor dem Kohlensäureabsorptionsgefäß muß natürlich ein gut wirkendes Chlorkalziumrohr eingeschaltet werden, um das bei der Verbrennung entstehende Wasser restlos aufzunehmen. Hinter dem Kaliapparat befindet sich die von Dennstedt vorgeschriebene kleine Flasche mit Palladiumchlorür, welche einen zu raschen Verlauf der Verbrennung sofort durch Trübung bzw. Dunkelfärbung anzeigt.

Die nach dieser einfachen und schnellen Methode erzielten Ergebnisse sind sehr genau; Kontrollbestimmungen zeigten Abweichungen im Maximum um 0,05 %.

Vergleiche der Resultate nach dieser Dennstedt-Methode und denen der Knopschen Methode haben ergeben, daß die letzteren durchweg niedriger sind, und zwar war die Differenz um so größer, je höher der Humusgehalt war. Nur bei Kalkböden war die Übereinstimmung beider Methoden eine auffallend gute, was offenbar seine Ursache in der homogenen Natur der Humusstoffe in Kalkböden hat.

Albert und Bogs zerstören vorhandene Karbonate des Bodens mit einer wässrigen Lösung von schwefliger Säure, nachdem eine solche mit wässriger Phosphorsäurelösung Nachteile aufwies. Die abgewogene Menge karbonathaltigen Bodens bringt man in ein kleines Becherglas und erwärmt unter vorsichtigem und wiederholtem Zusatz von schwefliger Säure solange, bis keine Zersetzung mehr zu beobachten ist. Alsdann wird der gesamte Inhalt des Bechergläschens in ein Hoffmeistersches Schälchen gespült, darin auf dem Wasserbade zur Trockne verdampft und schließlich bei 110° C getrocknet. Schälchen mit Inhalt wird dann in einer Achatreibschale oder einem glasierten Porzellanmörser zerrieben und quantitativ in ein Verbrennungsschiffchen eingebracht. Die Dennstedt-Methode brachte auch bei schwefelkieshaltigen Moorböden einwandfreie Resultate.

Durch Zurückwiegen des Bodens nach der Verbrennung findet man bei karbonatfreien Böden auch zugleich den Wert für den Glührückstand.

Albert und Bogs empfehlen die von Dennstedt vorgeschlagene Form, nur daß sie anstatt des Eindampfens des Bodens mit Phosphorsäure zur Entfernung des CO₂ eine wässrige Lösung schwefliger Säure benutzen.

f. Die Bestimmung der kolloidlöslichen Humusstoffe nach Grandeau.

Grandeaus Methode lag der Gedanke zugrunde, durch Behandeln eines humosen Bodens mit verdünnten Säuren und darauf mit Ammoniak denjenigen Anteil der organischen Substanz in Lösung zu bringen, der den für die Pflanzen unmittelbar aufnehmbaren Nährstoffen entspricht. Grandeau nannte die so festgestellte Menge leichtlöslicher organischer Substanz die „Matière noire“. Hat sich die Methode auch ihrem ursprünglichen Ziele entsprechend nicht bewährt, so ist sie dennoch als Humusbestimmung, namentlich bei amerikanischen Forschern, in Aufnahme gekommen. Die „Matière noire“ entspricht dem Gehalt an organischen, leicht kolloidlöslichen Stoffen. Ramann weist darauf hin, daß in der „matière noire“ auch gewisse Pflanzenstoffe, wie Pflanzenschleim, Holzgummi usw., mit enthalten sind, daß dieser Fehler aber nicht allzuviel bedeutet, da es sich überhaupt um gemischte Substanzen handelt.

Zur Untersuchung nimmt man etwa 5–15 g Boden, den man in feiner Verteilung in einem Becherglase mit wenig Wasser versetzt, und setzt sodann bis zu schwach saurer Reaktion tropfenweise Salzsäure zu. Man wäscht darauf sorgfältig auf, behandelt den Rückstand mit verdünnter Ammoniaklösung und filtriert. Das Filtrat wird eingedampft, der Rückstand bei 100° C getrocknet und gewogen. Die organische Substanz wird sodann verglüht und die Menge der Asche in Abzug gebracht. Rather (229) versetzt die Humuslösung, die er durch Digestion mit 4%igem NH_3 erhalten hat, mit 0,65 g Ammoniumkarbonat (auf 130 ccm Lösung) und dampft 100 ccm des Filtrats ein. Der Glührückstand wird als Humus angegeben.

g. Kolorimetrische Humusbestimmung.

Beam (74) u. a. bestimmen den Humus kolorimetrisch. Beam wäscht aus schweren Tonböden zunächst den Kalk mit HCl aus und entfernt dann die HCl durch Auswaschen mit einer kalten Lösung von CO_2 . Wiederholte Behandlung mit NH_3 löst den Humus vollständig. Beam empfiehlt die kolorimetrische Bestimmung des Humus, den er mit Soda kocht. Die klare humushaltige Lösung wird mit einem Auszug von bekanntem Humusgehalt verglichen.

Melin und Odén (344) stellten kolorimetrische Untersuchungen über Humus und Humifizierung in der Weise an, daß sie alkalische Lösungen verschiedener Moorböden mit einer Vergleichslösung verglichen, die aus *Ac. huminum* Merck hergestellt wird. Unter gewissen Normalbedingungen ergeben sich vergleichbare Daten für den Humifizierungsgrad.

C. Die Bestimmung des Tongehaltes.

Der Tongehalt ist mehrfach dadurch bestimmt worden, daß man die feinsten Teile vom Boden abschlämmt und als Ton bezeichnete. Genauere chemische Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß den feinsten Teilen eine große Menge Quarzmehl beigemischt ist, so daß der nur durch Abschlämmen ermittelte Tongehalt stets zu hoch gefunden wurde.

Besser kommt man zum Ziel, wenn man zum Zweck der Tonbestimmung die Schlämmanalyse mit einer chemischen

Untersuchung verbindet (27). Es hat sich nämlich gezeigt, daß bei einer Stromgeschwindigkeit von 0,2 mm sämtlicher im Boden enthaltene Ton abgeschlämmt wird, wenn nur die Substanz zuvor gehörig gelockert war. Man wird daher bei Bodenuntersuchungen, bei denen man zugleich eine Tonbestimmung auszuführen beabsichtigt, gleich zu Anfang mit destilliertem Wasser schlämmen, um die Schlammprodukte von 0,2 und 20 mm Geschwindigkeit in der Sekunde (unter 0,05 mm D.) möglichst rein zu gewinnen. Kommt es nur auf die Tonbestimmung an, so wird man den Boden am besten gleich bei 2,0 mm Geschwindigkeit abschlämmen. Böden, die nur geringe Mengen von größerem Material enthalten, wie beispielsweise feine Tone, Löss und Mergelsande, können auch ohne vorherige Schlammung direkt zur Tonbestimmung benutzt werden. Hat man jedoch bei der mechanischen Analyse die Schlammprodukte bei 0,2 und 2,0 mm G. voneinander getrennt, so werden sie nach dem Trocknen und Wägen wieder vereinigt und recht genau in einer Reibschale gemischt.

Die Aufschließung mit Schwefelsäure im zugeschmolzenen Rohre.

Die Methode der Tonbestimmung führt eine Aufschließung der sog. tonhaltigen Teile, die durch Verwitterung entstanden sind und anorganische Kolloide bilden, in heißer Schwefelsäure unter Erhöhung des Druckes und der Temperatur herbei, während frische Feldspate nur wenig angegriffen werden sollen und der Quarz dabei unzersetzt bleibt. R. Ganssen (119), welcher nach dieser Methode unverwitterte Kali- und Natronfeldspate behandelte, kam dabei zu abweichenden Resultaten. Gröber gepulverte Feldspate ließen etwa 5—10 %, äußerst fein zerriebene bis 18 % ihrer Tonerde in Lösung gehen. Trotzdem hält auch er diese Methode in der Mehrzahl der Fälle für die zweckentsprechendste, weil bei ihr die Einwirkung der Schwefelsäure bei gleicher Temperatur und gleichem Druck genau geregelt werden kann und daher besonders bei geologisch gleichartigen Böden vorzügliche Vergleichswerte gewonnen werden. Doppelbestimmungen ergaben genau dieselben Resultate. Außerdem dürften bei den meisten Bodenarten die allerfeinsten Korngrößen feldspatähnlichen Materials durch Verwitterung in ton- bzw. zeolithartige Gebilde übergegangen sein. Um stets eine möglichst gleichmäßige Einwirkung der Schwefelsäure bei jeder

Aufschließung zu erhalten, nimmt man diese am besten in einem zugeschmolzenen Glasrohre vor. Man benutzt hierzu schwer schmelzbares Kaliglasrohr, dem man ohne Berücksichtigung des Halses eine Länge von etwa 30 cm gibt (siehe Abb. 36), und welches man unten in eine durch Schmelzen am Gebläse zu verdickende Kapillare auszieht. Oben zieht man die Röhre ebenfalls etwas aus, so daß sich ein Hals bildet, der jedoch so weit bleiben muß, daß das Wägeröhrchen noch bequem hindurchgesteckt werden kann. Vor dem Gebrauch wird das Rohr mit Königswasser ausgekocht, mit destilliertem Wasser ausgespült und getrocknet.

Bei Ausführung der Analyse werden 1–2 g der zu einem lockeren Pulver zerdrückten Substanz bei 105°C anhaltend getrocknet und sodann heiß in ein ebenfalls ausgetrocknetes langes und dünnes Wägeröhrchen eingefüllt, welches mit einem Kork verschlossen wird. Nach dem Erkalten wird die Substanz aus



Abb. 36. Kaliglasrohr zum Aufschließen mit Schwefelsäure.

dem Wägeröhrchen in das Kaliglasrohr hineingeschüttet, indem man ersteres möglichst weit in dieses hineinschiebt, um dadurch zu verhüten, daß Substanz im Halse hängen bleibt. Darauf wird das Wägeröhrchen zurückgewogen.

Man bringt nun mittelst einer Pipette 20 cem verdünnte Schwefelsäure (1 Volumen konzentrierte Schwefelsäure und 5 Volumina Wasser) in das Kaliglasrohr hinein und schmilzt es, indem man es aufrecht hält, durch Ausziehen des Halses am Gebläse zu. Die Spitze muß ebenfalls in eine Kapillare ausgezogen sein, da nur diese dem starken Druck beim Erhitzen Widerstand leistet, während dagegen eine rund abgeschmolzene Röhre bei höherer Erhitzung sehr leicht platzt.

Enthält die Substanz kohlen sauren Kalk, so muß die Schwefelsäure ganz allmählich hinzugefügt und das Rohr vor dem Zuschmelzen in kochendes Wasser gestellt werden, damit alle Kohlensäure entweichen kann.

Die zugeschmolzenen Glasröhren werden nun in einen Röhren- oder Schieföfen (Abb. 37) eingelegt, welcher so eingerichtet ist, daß er vier Röhren aufnehmen kann. Diese werden sechs Stunden lang bei 220°C erhitzt und nach dem völligen

Erkalten in der Weise geöffnet, daß man mit einem Diamanten oben einen Ring ringsherum zieht und die Spitze eines glühenden Glasstabes dagegen hält. Das Rohr springt dann ganz glatt ab, und man kann seinen Inhalt unter Anwendung einer Spritzflasche bequem in ein Becherglas entleeren. Die Flüssigkeit wird stark verdünnt und in dem Falle, daß viel Kalziumkarbonat vorhanden war, zur Auflösung des gebildeten Gipses mit etwas Salzsäure versetzt und bis zum Kochen erhitzt, während man ein Uhrglas darüber deckt. Darauf läßt man die Substanz sich setzen und dekantiert die Flüssigkeit durch ein Filter. Zuletzt

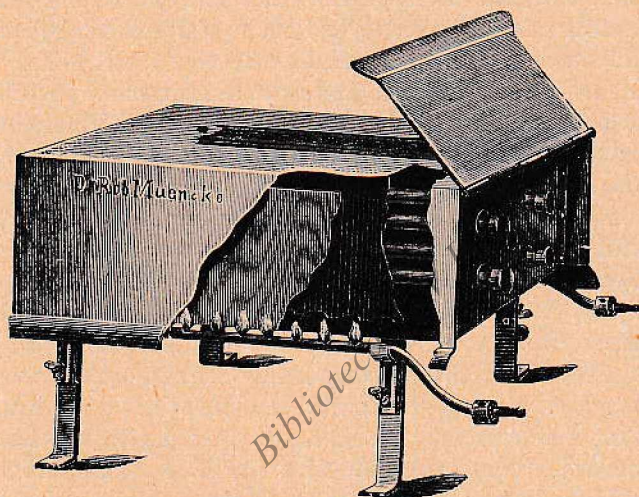


Abb. 37. Röhren- oder Schmelzofen.

bringt man auch die ungelöste Substanz auf das Filter und wäscht letzteres so lange mit heißem destilliertem Wasser aus, bis ein vom Trichter ablaufender Tropfen beim Versetzen mit Chlorbariumlösung keine Trübung mehr erkennen läßt.

Das Filtrat wird zur Oxydation des Eisenoxyduls mit Bromwasser versetzt und bei aufgedecktem Uhrglase so lange gekocht, bis die gelbe Färbung der Flüssigkeit wieder verschwindet und kein Bromgeruch mehr zu bemerken ist.

Darauf entfernt man die Flamme und versetzt die Flüssigkeit unter stetigem Umrühren mit einem Glasstabe mit verdünntem Ammoniak, bis sie schwach ammoniakalisch riecht und ein Stückchen hineingeworfenes rotes Lackmuspapier anhaltend bläut. Der entstandene Niederschlag besteht aus Aluminium-

und Eisenhydroxyd = $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{Fe}(\text{OH})_3$, enthält jedoch bei den meisten Bodenarten noch geringe Mengen von Phosphorsäure, die jedoch bei der angewandten Substanz von 1–2 g meist so gering sind, daß sie bei dieser Bestimmung vernachlässigt werden können. Da das Aluminiumhydroxyd in Ammoniak etwas löslich ist, fügt man einige Tropfen Essigsäure hinzu, bis die Flüssigkeit schwach sauer ist, und erhitzt diese nochmals bis zum angehenden Kochen.

Man läßt den Niederschlag in bedecktem Glase kurze Zeit klar absitzen und filtriert sodann durch ein Filter, welches man so an den Trichter angelegt hat, daß ein recht schnelles Filtrieren möglich ist. Das Filter darf nur so weit mit der Flüssigkeit angefüllt werden, daß noch mindestens ein 1 cm hoher Rand übrig bleibt, da im anderen Falle das Auswaschen des Niederschlages sehr erschwert ist. Man darf bei dem Filtrieren den Trichter nie ganz ablaufen lassen, weil der gelatinöse Niederschlag sich sonst fest an das Papier anlegt und es verstopft. Nachdem der Niederschlag aus dem Becherglase auf das Filter übergeführt ist und die am Glase anhaftenden Teilchen mit einer Feder- oder Gummifanne herausgebracht worden sind, wäscht man den Niederschlag so lange mit kochendem Wasser unter Anwendung einer Spritzflasche aus, bis ein ablaufender Tropfen mit Chlorbaryumlösung keine Trübung mehr zeigt.

Der Eisenoxyd-Tonerde-Niederschlag wird bei 100°C im Trockenschrank anhaltend getrocknet, wobei er sehr zusammenswindet, so daß man ihn fast vollständig vom Filter ablösen kann. Man legt einen Viertelbogen weißes Papier auf den Tisch, stellt einen gewogenen Platintiegel darauf und bringt den Niederschlag vom Filter dadurch hinein, daß man die Innenwände des Papiers gegeneinander reibt. Etwa abspringende Körnchen gelangen auf die Papierunterlage und werden ebenfalls in den Tiegel hineingeschüttet. Nachdem man den Niederschlag möglichst vom Filter abgelöst, faltet man dieses zusammen, umwickelt es mit einem dünnen Platindrahte und verbrennt und glüht es in der Spitze der Flamme eines Bunsenschen Brenners. Wenn die Kohle des Filters vollständig verbrannt ist, fügt man die Asche zu dem Niederschlage im Tiegel hinzu und glüht den letzteren längere Zeit stark, beginnt jedoch mit sehr mäßiger Erhitzung, wobei man den Deckel auf den Tiegel deckt. Darauf läßt man die Substanz im Exsikkator erkalten und wägt sie möglichst schnell; man tut am besten,

den Tiegel zweimal zu wägen, indem man die Gewichte der ersten Wägung auf der Wage stehen läßt, die Substanz wiederum glüht und nach dem Erkalten im Exsikkator nochmals wägt. Man erfährt so die Menge von Eisenoxyd und Tonerde = $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, welche durch Schwefelsäure gelöst werden. Die Filterasche ist bei den vorzüglichen neueren, sogenannten aschefreien Filtern, die durch Salzsäure und Flußsäure ausgezogen werden, so gering, daß sie vernachlässigt werden kann.

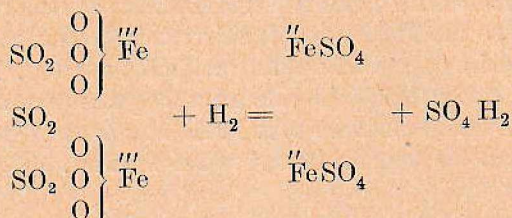
Die Trennung des Eisenoxyds von der Tonerde.

a. Die Bestimmung des Eisens als Eisenoxydul durch Titrieren mit einer Lösung von Kaliumpermanganat.

Um das Eisenoxyd und die Tonerde in geglühtem Zustande völlig in Lösung überzuführen, bringt man die im Platintiegel gewogene Menge trocken in einen Achatmörser und führt sie nach feiner Pulverung in den Platintiegel zurück. Man muß sie nochmals glühen und wägen, da bei dem Pulvern Teile des Niederschlags abspringen und verloren gehen können. Sodann setzt man mindestens die zehnfache Menge von Kaliumbisulfat hinzu, vermischt die Substanz mittelst eines Platinstabes und erwärmt sie zuerst auf kleiner Flamme sehr gelinde, später stärker, bis sich das Pulver vollständig gelöst hat. Nach dem Erkalten des Tiegels löst man die Schmelze mit heißem Wasser auf und zersetzt sie in einem Kochfläschchen mit verdünnter reiner Schwefelsäure.

Nun fügt man zu der gewonnenen Eisenlösung Zink hinzu und setzt auf das Kochfläschchen einen kleinen Trichter. Es ist zweckmäßig, die Zinkstange vorher durch Eintauchen in eine konzentrierte Quecksilbernitratlösung zu amalgamieren und in ein kleines Platinnetz einzuwickeln, das man an einem Platindrahte in die Flüssigkeit hineinhängt. Sollte die nun stattfindende Wasserstoffentwicklung nicht lebhaft genug sein, so kann man diese dadurch befördern, daß man die Spitze eines Glasstabes in Platinchlorid taucht und, nachdem der hängengebliebene Tropfen abgetropft ist, den am Stabe zurückgebliebenen Rest mit der Spritzflasche in das Kölbchen einspritzt. Die Wasserstoffentwicklung wird dann sofort lebhaft beginnen. Der Wasserstoff hat bekanntlich in statu nascendi die Eigenschaft, die Eisenoxydsalze in Oxydulsalze zu ver-

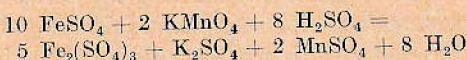
wandeln, also das dreiwertige Eisen in zweiwertiges umzusetzen. Der Vorgang hierbei ist folgender:



Man kann die Reduktion der Lösung dadurch fördern, daß man das Kochfläschchen auf ein mäßig erwärmtes Sandbad setzt. Nachdem die Wasserstoffentwicklung etwa eine Stunde lebhaft angedauert hat, prüft man die Lösung, ob das Eisen darin vollständig reduziert worden ist. Dies geschieht dadurch, daß man mit dem Glasstabe einen Tropfen der Flüssigkeit herausnimmt und auf einer weißen Porzellanplatte einen Tropfen frisch bereiteter, nicht zu konzentrierter Lösung von Sulfoeyankalium (Rhodankalium) = KCNS einfließen läßt. Entsteht hierbei eine Rötung, so ist die Reduktion noch nicht beendet, und man muß diese noch so lange fortsetzen, bis bei wiederholter Prüfung keine Färbung des Rhodankaliums mehr stattfindet. Nachdem die Lösung vollständig reduziert ist, zieht man das Zink mit dem Platinnetz heraus und spritzt es mit destilliertem Wasser ab. Die Flüssigkeit, welche nicht mehr heiß sein darf, wird noch mit etwas verdünnter Schwefelsäure versetzt und sodann mittelst einer Lösung von Kaliumpermanganat, deren Wirkenswert vorher bestimmt worden ist, titriert.

Die Titerstellung der Kaliumpermanganatlösung.

Die Bereitung einer $\frac{1}{10}$ Normal-Kaliumpermanganatlösung, welche gewöhnlich, wenn auch nicht ganz mit Recht, als Chamäleonlösung bezeichnet wird, und die Einstellung ihres Titers geschieht unter Zugrundelegung der Gleichung



Man löst $\frac{2 \cdot 15,8}{10} = 3,16$ g oder, da dieses Salz meistens schon etwas

zersetzt ist, besser 3,5 g reines kristallisiertes Kaliumpermanganat in destilliertem Wasser auf und fügt so viel Wasser hinzu, daß die Flüssigkeit gerade 1 l beträgt. Die so dargestellte Lösung darf dem Sonnenlichte nicht ausgesetzt werden, hält sich jedoch in einer gut verschlossenen Flasche lange Zeit.

Man bestimmt den Wirkungswert dieser sogenannten Chamäleonlösung in der Weise, daß man in einer Glashahnbürette mißt, wieviel Kubikzentimeter

dazu gehören, um eine Eisenoxydlösung von bekanntem Gehalt eben violett zu färben. Zur Herstellung dieser Eisenlösung benutzt man das luftbeständige Eisendoppelsalz des zweiwertigen Eisens, das Ferroammoniumsulfat = $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$. Da dieses Salz fast nie ganz rein im Handel zu bekommen ist, so reinigt man es in der Weise, daß man in heißem destilliertem Wasser, dem man einige Tropfen Schwefelsäure beigelegt hat, so viel von dem Salze löst, bis sich ein Salzhäutchen auszuscheiden beginnt. Darauf stellt man das, die konzentrierte Lösung enthaltende Becherglas in möglichst kaltes Wasser und rührt mit einem Glasstabe beständig um, so daß sich das Salz in Form eines feinen kristallinischen Pulvers ausscheidet. Nachdem die Flüssigkeit völlig erkaltet ist, trennt man sie von dem ausgeschiedenen Salze, indem man sie auf einen mit Platinkonus versehenen Trichter schüttet, welchem mittelst eines doppelt durchbohrten Kautschukstopfens auf einen Glaskolben gesetzt wird. Durch

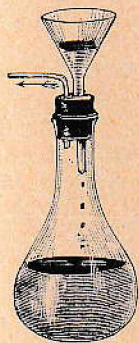


Abb. 38. Filtrierapparat mit Absaugevorrichtung.

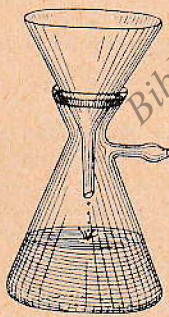


Abb. 39. Filtrierapparat mit Absaugevorrichtung.

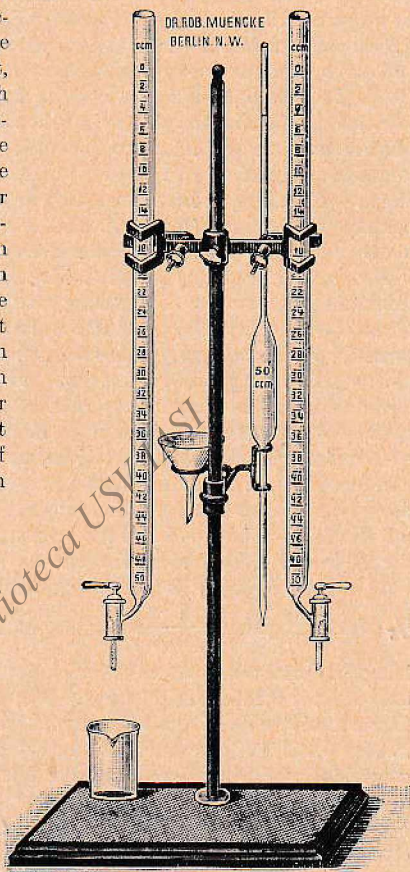


Abb. 40. Bürettenstativ mit weißlackiertem Linoleumbeläge.

die andere Bohrung des Stopfens geht ein Glasrohr, welches mit einer Wasserluftpumpe in Verbindung steht (Abb. 38). Noch zweckmäßiger ist der von Walther konstruierte Trichterkolben mit Ansatzrohr für den Absaugschlauch, bei welchem an Stelle der bei den alten Filtrier- oder Absaugkolben benötigten Kautschukstopfen ein Kautschukring tritt, der für alle Kolben- und Trichtergrößen ohne weiteres paßt und eine gute Dichtung bewerkstelligt (Abb. 39). Wenn nichts mehr abtropft, wechselt man den Glaskolben gegen einen anderen aus und spült den Niederschlag, ebenfalls unter

Absaugen, mit einer Mischung von zwei Teilen absolutem Alkohol und einem Teil destilliertem Wasser aus. Das Salz wird zwischen Fließpapier abgepreßt oder in einer Zentrifuge ausgeschleudert, bis es völlig trocken ist. Eine Lösung desselben darf durch Sulfozyankalium nicht gerötet werden.

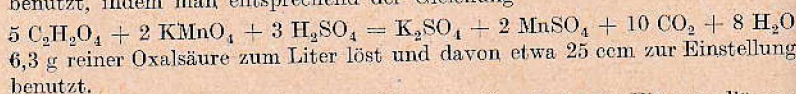
Von dem völlig trockenen Ferroammoniumsulfat wägt man zwei Teile zu ungefähr 0,7 g (= 0,1 g Fe) recht genau ab und schüttet sie in zwei Bechergläser. Darauf löst man das Salz kurz vor dem Gebrauch in 200 ccm Wasser auf, dem man zuvor etwas verdünnte Schwefelsäure zugesetzt hat. Die mit Glashahn versehene Bürette, welche mindestens 30 ccm enthalten und in Zehntelkubikzentimeter eingeteilt sein muß, wird bis zum Nullpunkt mit der Chamäleonlösung gefüllt. Zum bequemeren Ablesen senkt man einen kleinen Schwimmer in diese ein. Der Fuß des Büretenstativs ist zweckmäßig mit einem weißlackierten Linoleumbelag bedeckt, der zugleich zu Bleistiftnotizen benutzt werden kann (Abb. 40). Hat man diese Einrichtung nicht, so legt man ein Stück weißes Papier unter das Becherglas, in welchem sich die Lösung des Ferroammoniumsulfates befindet. Man läßt nun aus der Bürette die Chamäleonlösung langsam zu der Eisenlösung zufließen, indem man beständig mit einem Glasstabe umrührt. Die rote Farbe des Chamäleons verschwindet zuerst sehr schnell, später langsamer, so daß man, um den Punkt zu treffen, wo die Färbung eintritt, die Lösung zuletzt nur tropfenweise zufließen lassen darf. Schließlich, nachdem alles Eisen oxydiert worden ist, genügt ein Tropfen, um die Flüssigkeit ganz schwach zu färben. Man ist zu Ende, wenn diese Färbung nach dem Umrühren einige Minuten andauert. Man wartet nun einige Zeit, bis die Flüssigkeit von den Wänden der Bürette zusammengelaufen ist, und liest dann die Anzahl der verbrauchten Kubikzentimeter Chamäleonlösung ab. Der Versuch wird mit der zweiten Menge des abgewogenen Salzes wiederholt, um die Richtigkeit der Ablesung beim ersten Versuche zu kontrollieren.

Da die Menge des im Ferroammoniumsulfat enthaltenen Eisens gerade $\frac{1}{7}$ oder ganz genau $\frac{1}{7,0014}$ beträgt, so muß man, um das Eisen in der gewogenen

Menge zu erfahren, letztere durch sieben dividieren oder, was dasselbe ist, mit dem Faktor 0,143 multiplizieren. Will man die der abgewogenen Menge des Salzes äquivalente Menge Eisenoxydul berechnen, so multipliziert man mit dem Faktor 0,183, bei gesuchtem Eisenoxyd mit dem Faktor 0,204. Mit Hilfe der gefundenen Zahl berechnet man den Wirkungswert der Chamäleonlösung nach dem Ansatz:

$$\text{cem verbrauchte Chamäleonlösung} : g \left\{ \begin{array}{l} \text{Fe} \\ \text{FeO} = 100 \text{ cem} : x \text{ g.} \\ \text{Fe}_2\text{O}_3 \end{array} \right.$$

Man stellt die Chamäleonlösung durch entsprechendes Verdünnen am zweckmäßigsten so ein, daß 1 cem = 0,001 g Fe ist. Man kann auch 0,1 g Eisen (Klavierdraht) bei Luftabschluß auflösen und danach die Einstellung der Chamäleonlösung vornehmen. Auch Oxalsäure wird mit Vorteil zur Einstellung benutzt, indem man entsprechend der Gleichung



Bei der Titrierung der durch Wasserstoff reduzierten Eisenoxydlösung verfährt man in ganz gleicher Weise wie bei der soeben beschriebenen Ein-

stellung des Titors. Man muß jedoch darauf achten, die Chamäleonlösung zuletzt recht langsam tropfenweise zufließen zu lassen, um eine scharfe Endreaktion zu bekommen. Aus der verbrauchten Menge Chamäleonlösung berechnet man sodann die entsprechende Menge Eisenoxyd. Der Prozentgehalt an Eisenoxyd, von der Summe der Procente von Eisenoxyd und Tonerde abgezogen, gibt den Prozentgehalt an Tonerde.

Noch auf eine andere, weiter unten beschriebene Methode sei hier kurz hingewiesen. Man löst den feuchten Eisenoxyd-Tonerde-Niederschlag nochmals durch Kochen in verdünnter Salzsäure, bringt die filtrierte Lösung auf 500 cem, bestimmt in 250 cem $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ durch Fällung und Wägung wie oben, während man in den anderen 250 cem das Eisenoxyd durch Jodkalium reduziert und das ausgeschiedene Jod durch Titrieren mit unterschwellig-saurem Natron unter Anwendung von Stärkekleister als Indikator bestimmt. (Siehe Abschn. III, A. VI.)

b. Die Trennung der Tonerde vom Eisenoxyd und Wägung der ersteren.

Eine andere von H. Sainte-Claire-Deville herrührende Methode, welche Grandeau (14) ausführlich beschreibt, besteht darin, daß man das Eisenoxyd durch Glühen im Wasserstoffstrome zu Eisen reduziert, letzteres durch Glühen im Chlorwasserstoffgasstrome als Chlorür verflüchtigt und die zurückgebliebene Tonerde wägt. Die Methode liefert ebenfalls gute Resultate.

Man bringt das im Platintiegel gewogene Gemisch von Eisenoxyd und Tonerde in ein Platinschiffchen, welches zuvor in einem verschließbaren Wägeröhrchen tariert worden ist. Dieses wird mit einem Glasstabe vorsichtig bis in die Mitte einer Porzellanröhre hineingeschoben und zunächst in einem durch Schwefelsäure getrockneten Wasserstoffstrome bis zur Rotglut erhitzt. Nach einiger Zeit ist das Eisenoxyd zu Eisen reduziert. Man läßt nun einen starken Chlorwasserstoffgasstrom zwei Stunden lang durch den Apparat hindurchstreichen, indem man die aus dem Porzellanrohr entweichenden Destillationsprodukte in ein mit Wasser gefülltes Gläschen leitet. Dabei muß man jedoch stets die Vorsicht gebrauchen, daß die zwischen dem Chlorwasserstoffentwicklungsgefäße und dem Porzellanrohre eingeschaltete Schwefelsäurewaschflasche oben drei Tuben besitzt, so daß durch den mittleren Tubus ein Sicherheitsrohr bis in die Schwefelsäure hinabreicht. Hierdurch verhütet man, daß die Flüssigkeit zum Auffangen der Destillationsprodukte bei allzu heftiger Absorption des Chlorwasserstoffgases in das Porzellanrohr zurücksteigen kann. Der Chlorwasserstoffgasstrom muß

so lange hindurchgeleitet werden, bis in einem von neuem untergestellten und mit Wasser gefüllten Gläschen kein Eisenchlorür durch rotes Blutlaugensalz (Kaliumeisenzyanid) nachweisbar ist. Man ersetzt sodann den Chlorwasserstoffstrom durch Wasserstoff, bis ersterer vollständig verdrängt ist, und läßt im Wasserstoffstrom erkalten. Danach wird das Schiffchen schnell in das Wägerohr übergeführt und gewogen. Es enthält jetzt nur noch die Tonerde.

c. Die Berechnung des Tongehaltes im Gesamtboden.

Um den Tongehalt des Bodens zu erfahren, berechnet man für die gefundene Menge Tonerde die äquivalente Menge von wasserhaltigem Ton nach der Forchhammerschen Formel ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 [\text{SiO}_2] + 2 \text{H}_2\text{O}$), indem man die gewogene Menge Tonerde mit dem Faktor 2,5346 multipliziert. Da man die Tonbestimmung in den tonhaltigen Teilen (unter 0,05 mm Durchmesser) ausgeführt hat, so berechnet man die Tonmenge prozentisch auf den Gesamtboden.

Bei sehr feinen Bodenarten, beispielsweise bei Löß- und Schlickböden, sowie bei solchen Bodenarten, bei denen man infolge ihrer stark humosen Beschaffenheit eine Schlämmasanalyse nicht ausführen kann, wird man die Aufschließung mit Schwefelsäure im Rohr gleich mit dem Gesamtboden ausführen. Bei humosen Bodenarten wird man jedoch besser tun, die früher fast allgemein zur Tonbestimmung angewandte Methode, die Aufschließung mit konzentrierter Schwefelsäure durch Erhitzen in einer offenen Platinschale, noch beizubehalten, obwohl diese nicht so gleichmäßige Resultate liefert wie die Aufschließung im Rohr, bei der man die Konzentration der anzuwendenden Schwefelsäure, die Menge derselben, die Temperatur und die Zeit der Einwirkung immer in gleicher Weise regulieren kann.

Es kann an dieser Stelle auf weitere theoretische Erörterungen über die Frage über die Löslichkeit der Tonerde in Säuren und die Berechtigung der hier angeführten Methode nicht eingegangen werden; es sei auf die Arbeiten von Fesca (11), Ganßen (119) u. a. verwiesen. In den meisten Bodenarten ist der Ton nicht in der reinen Form enthalten, wie dies die Forchhammersche Tonformel angibt, sondern ist vielmehr ein Kollektivbegriff für alle mehr oder weniger in Zersetzung begriffenen oder bereits völlig zersetzten Silikate. Für die Landwirtschaft ist es von Wert, den Ton- ebenso wie den Humusgehalt in be-

stimmten Zahlenwerten ausdrücken zu können, und es kommt nicht so sehr darauf an, ob in jedem einzelnen Falle völlig petrographisch Gleichwertiges damit bezeichnet wird, besonders dann nicht, wenn noch außerdem Versuche mit dem Boden angestellt werden, welche über seine physikalischen Eigenschaften Aufschluß geben. —

Je höher der Gehalt an anorganischem Kolloidton ist, um so größer ist die Bindigkeit, die Wasserkapazität, und die Fähigkeit, bei genügendem Kalkgehalte Pflanzennährstoffe zu binden.

D. Die Bestimmung des Sandgehaltes.

Der Bodenkonstituent Sand kann seiner chemischen Zusammensetzung nach etwas sehr Verschiedenartiges darstellen. Da er ein transportiertes Zertrümmerungs- und Abschlämmungsprodukt der verschiedenartigsten Mineralien und Gesteine ist, so zeigt er einen mannigfachen Wechsel in seiner Ausbildung. Es werden jedoch die am schwersten zu zersetzenden Mineralien, vor allem der Quarz, stets am meisten darin vorwalten. Die Wichtigkeit der mineralogischen Bodenanalyse ist allgemein anerkannt und besonders von F. Steinriede (400) und von McCaughey und Fry (399) hervorgehoben worden. Für alle diejenigen, die sich eingehender mit den bodenbildenden Mineralien und Gesteinen beschäftigen wollen, werden die Arbeiten genannter Autoren treffliche Ratgeber sein.

Bei sorgfältig ausgeführter mechanischer Analyse wird man den Sand, dessen Körner einen größeren Durchmesser als 0,05 mm besitzen, im Schöneschen Apparate bei der Schlämgeschwindigkeit von 2,0 mm in der Sekunde ziemlich vollständig von den tonigen Partikeln des Bodens abtrennen können, und man erfährt daher durch die bereits beschriebene mechanische Analyse den Gehalt an Sand und seine Körnung.

Die petrographische Untersuchung der gröberen Gemengteile des Sandes.

Die petrographische Untersuchung der gröberen Gemengteile des Sandes hat einmal einen geologischen Wert, weil sie Aufschluß über seine Herkunft und Bildung gibt, sodann dient sie aber auch zur agronomischen Beurteilung des Bodens, da beispielsweise bei Vorhandensein eines reichlichen Feldspatgehaltes

der Boden noch für die Zukunft ein beinahe unerschöpfliches Reservoir an Pflanzennährstoffen besitzt, die erst nach und nach bei der fortschreitenden Zersetzung der Feldspate disponibel werden.

a. Die Trennung der Mineralien durch Auslesen.

Bei dem Kies über 2 mm Durchmesser, sowie auch noch bei dem gröbsten Sande von 2—1 mm Durchmesser kann man eine petrographische Untersuchung durch Auslesen und Prüfung der Bestandteile ausführen. Zu diesem Zwecke feuchtet man die zu untersuchende Probe mit Wasser an, weil dadurch die Farben der Mineralkörner schärfer hervortreten, und liest mit Hilfe einer Lupe und Pinzette die gleichartigen Bestandteile aus, indem man sie nach Farbe, Glanz, Härte, Spaltbarkeit, Schmelzbarkeit und magnetischen Eigenschaften prüft. Man bedient sich dabei am besten der Mohsschen Härteskala.

Kleine Kalksteinechen werden in ganz verdünnte Salzsäure gelegt und sofort nach beobachteter Kohlensäureentwicklung herausgenommen und abgespült, so daß ein bemerkbarer Verlust kaum stattfinden kann. Die ausgelesenen Mineralien oder Mineralaggregate werden gewogen und prozentisch auf die betreffenden Körnungsprodukte berechnet.

b. Die Trennung der Mineralien auf Grund ihres spezifischen Gewichtes.

Eine Trennung der Mineralien in den durch die mechanische Analyse abgeschiedenen Sanden verschiedener Korngröße läßt sich dadurch bewerkstelligen, daß man letztere in spezifisch sehr schwere Flüssigkeiten bringt. Die Mineralien, welche spezifisch leichter sind als die betreffende Flüssigkeit, werden auf ihr schwimmen, während die spezifisch schwereren sich zu Boden setzen müssen.

Thoulet (407) hat ein derartiges Verfahren angegeben, indem er durch abwechselndes Eintragen von Quecksilberjodid (HgJ_2) und Jodkalium (KJ) in Wasser eine Lösung herstellte, welche bei 11—15° C im Maximum 2,70 spezifisches Gewicht besaß. Durch Hinzufügung gemessener Mengen destillierten Wassers zu dieser Lösung ließ sich ihre Dichtigkeit bis zu 1,0 herab beliebig verringern. Hat man eine Lösung, deren Dichtigkeit zwischen dem spezifischen Gewicht zweier Mineralien liegt, so ist man imstande, letztere durch Einführung in die Lösung

voneinander zu trennen. Durch die Thoulet'sche Lösung von 2,77 spezifischem Gewicht lassen sich demnach alle Körper von geringerem spezifischen Gewicht von denjenigen mit höherem abscheiden.

Thoulet verfuhr in der Weise, daß er sich eine Lösung von Quecksilberjodid in Jodkalium vom Maximum der Dichtigkeit herstellte, so daß ein Quarzkristall (2,65 spezifisches Gewicht) darauf schwamm. Die Lösung wird durch Dekantieren und Filtrieren vollständig geklärt. Darauf wird eine Anzahl von Lösungen hergestellt, die ein immer geringeres spezifisches Gewicht besitzen und dadurch geprüft werden, daß man verschiedene Mineralkörner aus dem Gesteins- oder Sandpulver auswählt und mittelst eines oben weiten, unten jedoch in eine Spitze ausgezogenen Röhrchens in die Probefläschchen einsenkt. Nachdem so die verschiedenen spezifischen Gewichte der mit der Lupe erkennbaren Mineralien festgestellt sind, nimmt man die eigentliche Trennung in folgender Weise vor:

In die 40 cm fassende graduirte Röhre (Abb. 41 A) bringt man 30 cm der konzentriertesten Lösung und fügt darauf das gewogene Untersuchungsmaterial (1—2 g) hinzu. Der Hahn C und D ist vor dem Einfüllen der Lösung zu schließen. Nun setzt man den Kautschukstopfen E mit dem Glasohr FG luftdicht auf und verbindet das Ende der Röhre G durch einen Kautschukschlauch mit der Wasserluftpumpe, um die an den Mineralien hängenden Luftpartikelchen fortzunehmen. Die schweren Mineralien fallen jetzt zu Boden und werden durch vorsichtiges Öffnen des Hahnes C abgelassen. Dieser wird rechtzeitig wieder geschlossen und das Material durch Ansaugen bei J und Öffnen des Hahnes D in ein Becherglas hineinspült. Nun wird zu der Lösung die zur Fällung des nächst schwereren Minerals erforderliche Wassermenge hinzugefügt, indem man den Hahn D schließt, C öffnet und bei J Luft hineinbläst, um eine innige Mischung herbeizuführen und das Ausfließen bei C zu verhindern. Dann schließt man C, läßt absitzen und trennt die Mineralien in gleicher Weise wie

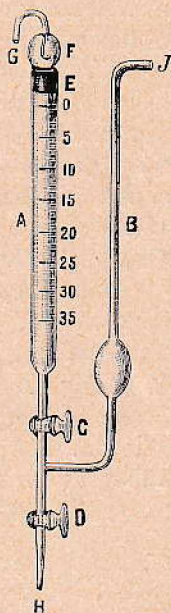


Abb. 41. Thoulet'scher Scheideapparat.

vorher. Durch fortgesetztes Verdünnen und Trennen bewirkt man eine quali- und quantitative Scheidung der Mineralien. Es versteht sich von selbst, daß diese, ehe man sie wägt, mit destilliertem Wasser durch Dekantieren gründlich ausgewaschen und getrocknet werden müssen.

Die Menge des in jedem einzelnen Falle zuzusetzenden Wassers = v_1 erfährt man durch folgende Formel:

$$v_1 = \frac{v(D - \Delta)}{\Delta - 1},$$

in welcher v das Volum der Lösung, D ihr spezifisches Gewicht, Δ das spezifische Gewicht der zu erzielenden Lösung bedeutet.

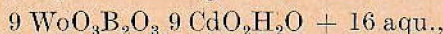
V. Goldschmidt (404) hat die Thoulet'sche Methode eingehend geprüft und vervollkommenet. Er wandte Jodkalium und Quecksilberjodid im Verhältnis von 1:1,24 an, indem er auf 25 g destilliertes Wasser 210 g Jodkalium und 280 g Quecksilberjodid nahm. Auf diese Weise erzielte er ein spezifisches Gewicht von 3,196, auf welcher Flußspat (3,1—3,2 spezifisches Gewicht) schwamm.

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Lösung benutzt man am besten eine Westphalsche einarmige spezifische Wage. Die spezifischen Gewichte der Mineralien sind in Webskys Buch: „Die Mineralspezies nach den für das spezifische Gewicht derselben angenommenen und gefundenen Werten. Ein Hilfsbuch zur bestimmenden Mineralogie. Breslau 1868“ zu finden.

Die spezifischen Gewichte einiger Mineralien sind nachstehend mitgeteilt:

Gips	2,2 — 2,4	Augit.	2,88 — 3,5
Orthoklas	2,53 — 2,58	Turmalin	2,94 — 3,24
Albit	2,62 — 2,67	Hornblende	2,9 — 3,3
Oligoklas	2,63 — 2,68	Flußspat	3,1 — 3,2
Quarz	2,65	Granat	3,4 — 4,3
Kalkspat	2,65 — 2,8	Rutil	4,2 — 4,3
Anorthit	2,67 — 2,76	Schwerspat	4,3 — 4,7
Magnesiaglimmer.	2,74 — 3,13	Pyrit (Schwefelkies)	4,9 — 5,2
Kaliglimmer.	2,76 — 3,1	Magneteisenerz	4,9 — 5,2

Es sind auch noch andere spezifisch schwere Flüssigkeiten zur Trennung der Mineralien in Vorschlag gebracht worden, so von D. Klein (403) eine Lösung des Kadmiumborowolframats =



welche 3,28 spezifisches Gewicht erreicht. Bei 75° C schmilzt dieses Salz in seinem Kristallwasser und liefert eine Lösung

von 3,3—3,6 spezifischem Gewicht, greift jedoch Karbonate und Sulfide an. C. Rohrbach (404) hat eine Flüssigkeit von 3,588 spezifischem Gewicht hergestellt, indem er Bariumquecksilberjodid auflöste. Auf der kalten Lösung schwimmt Topas (spezifisches Gewicht 3,4—3,6). 100 Teile Jodbarium, 130 Teile Jodquecksilber und 20 ccm Wasser werden bei 150—200° C auf dem Ölbade erhitzt und die Flüssigkeit nach dem Absitzen durch Glaswolle filtriert. R. Brauns hat das Methylenjodid für Trennungszwecke eingeführt, das das Kadmium an Dichte erreicht, dagegen dünnflüssiger ist und sich mit Benzol sehr bequem mischen läßt. Zur Abtrennung schwerer Mineralien über 3,3 hat man auch leicht schmelzbare Salze, wie Silbernitrat, Quecksilbernitrat und Thalliumsilbernitrat, in Anwendung gebracht. Das Thalliumsilbernitrat schmilzt bei 75° C; die Schmelze hat ein spezifisches Gewicht von 5 und läßt sich mit Wasser verdünnen.

Statt des Thouletschen Apparates (Abb. 42) hat Brögger (398) einen Scheideapparat in Vorschlag gebracht, der 2 große Glashähne besitzt und oben luftdicht verschließbar ist (Abb. 43). Seine Länge beträgt 46 cm, der größte Durchmesser im oberen Raume *a b* 3,5 cm, während die Bohrung des größten Hahnes 2 cm weit ist. Der Kubikinhalt des Apparates beträgt,



Abb. 42.

Abb. 43.
Scheidetrichter
nach Brögger-
Harradas.

im Raume oberhalb desselben 75 ccm. Die Bohrungen der Hähne entsprechen genau der Weite des Rohres.

Nachdem der Apparat, wie dies die Abbildung zeigt, mit Thouletscher Lösung gefüllt ist, wird der zu untersuchende Sand eingeführt, während der Hahn *b* geöffnet, der Hahn *c* geschlossen ist. Nach eingetretener Sonderung des Materials wird der Hahn *b* geschlossen, der Apparat umgekehrt und durch tüchtiges Schütteln eine weitere Trennung des Materials in den Abteilungen *ab* und *bc* bewirkt. Indem man nun den Apparat vorsichtig neigt und den oberen Hahn *b* langsam öffnet, kann man eine Vereinigung der zwei leichteren und zwei schwereren Proben herbeiführen, so daß sich beim Aufrichten des Apparates

erstere im Teile *ab*, letztere im Teile *bc* befinden. Die Operation wird nach Schließung des Hahnes *b* nochmals wiederholt, bis eine vollständige Trennung des Materials erzielt worden ist.

Durch Öffnen des untersten Hahnes können nur die schwersten Mineralien in das darunter stehende Becherglas abgelassen werden.

Die Bestimmung des Quarzgehaltes.

Da es häufig von Interesse sein kann, den Quarzgehalt des Sandes sowie auch des Staubes und der feinsten Teile festzustellen, so ist zu ihrer Ermittlung durch J. Hazard (402) eine indirekte Bestimmungsmethode in Vorschlag gebracht worden, weil man bisher kein Mittel kennt, den Quarz im Gemenge mit Orthoklas, Albit und Oligoklas direkt abzuscheiden. Er wird bei der Aufschließung der genannten Silikate stets mit angegriffen.

Das sehr fein gepulverte Material wird nach Hazard mit zwei Teilen konzentrierter Schwefelsäure und einem Teile destilliertem Wasser in einer Kaliglasröhre eingeschmolzen und sechs Stunden lang im Röhrenofen einer Temperatur von 250° C ausgesetzt. Dadurch wird etwa vorhandener Muskovit, Biotit, Granat, Turmalin, Kalk, Hornblende, Hypersthen, Diallag und Pyroxen vollständig aufgeschlossen, während Orthoklas, Albit und Oligoklas unzersetzt zurückbleiben. Der Inhalt des Glasrohres wird in eine Schale gebracht und die an den Glaswänden haftenden Teilchen mittelst eines mit einem Stückchen Kautschukschlauch versehenen Glasstabes entfernt. Vor dem Abfiltrieren wird die Flüssigkeit stark verdünnt. Der oberflächlich ausgewaschene Rückstand wird darauf nebst dem Filter in mäßig verdünnte Kalilauge gebracht, um die aus den Silikaten ausgeschiedene Kieselsäure zu lösen, und eine Stunde lang auf dem Wasserbade digeriert. Die mit Wasser verdünnte Lösung wird abfiltriert und die Substanz auf dem Filter anfangs mit heißer verdünnter Kalilauge, später mit heißer verdünnter Salzsäure ausgewaschen. Das gut getrocknete Filter wird mit seinem Inhalt im Platintiegel verascht und gewogen.

Darauf verfährt man ganz so wie bei der Silikatanalyse, indem man das im Platintiegel befindliche Pulver mit der fünffachen Menge von wasserfreiem Natriumkarbonat vermischt und anfangs über einem gewöhnlichen Brenner, später über dem Gebläse mit aufgelegtem Deckel erhitzt, bis die Masse ruhig fließt und sich keine Kohlensäurebläschen mehr ent-

wickeln. Den heißen Tiegel stellt man auf eine kalte Eisenplatte, wodurch sich infolge der starken Abkühlung die erkaltete Masse leicht von den Wänden des Tiegels ablöst. Man bringt die Schmelze, sowie auch den Tiegel selbst in ein Becherglas, gießt destilliertes Wasser darauf und erhitzt letzteres bei aufgedecktem Uhrglase bis zum Kochen. Nun fügt man mittelst einer durch den Ausguß des Becherglases eingeführten Pipette in kleinen Portionen konzentrierte Salzsäure im Überschuß hinzu und erhitzt die Flüssigkeit so lange, bis kein Aufbrausen mehr stattfindet. Darauf fügt man einige Tropfen Salpetersäure hinzu und dampft die Flüssigkeit samt der ausgeschiedenen Kieselsäure in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade bis zur staubförmigen Trockne ein. Sobald die Flüssigkeit dickflüssig wird, muß man sie beständig mit einem Glaspistill umrühren, so daß keine größeren Kochsalzwürfel entstehen können. Um die Kieselsäure als ein in Säuren völlig unlösliches Pulver abzuscheiden, ist es nötig, die Salzsäure möglichst vollständig zu verjagen. Man erreicht dies am besten dadurch, daß man, sobald das Pulver in der Schale trocken wird, etwas heißes Wasser hinzufügt und wiederum unter Umrühren zur staubförmigen Trockne eindampft. Darauf erwärmt man die Schale in einem Luftbade einige Zeit auf höchstens 120° C. Nach dem Erkalten wird das Pulver mit Salzsäure befeuchtet, mit heißem Wasser übergossen und die Kieselsäure, nachdem sie mehrmals mit heißem Wasser in der Schale ausgewaschen worden ist, auf das Filter gebracht. Hier muß die Kieselsäure so lange mit heißem Wasser ausgespült werden, bis ein ablaufender Tropfen mit Silbernitrat keine Trübung mehr zeigt. Die Kieselsäure bringt man feucht, mit dem Filter umhüllt, in den Platintiegel und verkohlt das Filter zuerst bei kleiner Flamme, bis man bei größerer Flamme verascht und zuletzt etwa 10 Minuten auf dem Gebläse glüht. Nur auf diese Weise ist es möglich, ein Zerstäuben der Kieselsäure zu verhindern. Die Kieselsäure muß nach dem Wägen durch Abdampfen mit Flußsäure und einigen Tropfen Schwefelsäure, Abrauchen und Glühen auf ihre Reinheit geprüft werden.

In dem Filtrat von der Kieselsäure bestimmt man die Tonerde und Kalkerde durch sukzessive Fällung mit Ammoniak und Ammoniumoxalat nach den in einem späteren Abschnitte besprochenen Methoden.

Hazard hat nun für den Orthoklas und Albit, deren

Kieselsäure sich in der aus der Sodaschmelze erhaltenen Gesamtkieselsäuremenge befindet, die äquivalente Kieselsäuremenge aus der gefundenen Tonerde berechnet und von der Gesamtkieselsäure in Abzug gebracht. Der Rest ergibt den im Boden vorhandenen Quarz. Für Orthoklas und Albit ist das Verhältnis Tonerde zu Kieselsäure = 1 : 3,545 99.

Ist Kalk vorhanden, so wird nach der Tschermakschen Konstitutionsformel für den Anorthit die dem Kalk äquivalente Tonerdemenge berechnet nach dem Verhältnis von 1 Kalkerde : 1,825 Tonerde. Die so erhaltene Tonerde wird von der gewogenen Gesamttonerde in Abzug gebracht und zu dem Tonerderest die für Albit und Orthoklas erforderliche Kieselsäuremenge berechnet. Für die Anorthittonerde berechnet man die zugehörige und von der Gesamtkieselsäure abzuziehende Kieselsäuremenge aus dem Verhältnis 1 Tonerde : 1,182 Kieselsäure.

E. Die Ermittlung der Elementarzusammensetzung des Bodens durch die Bauschanalyse.

Ist der zu untersuchende Boden von homogener Beschaffenheit, was beispielsweise bei den im Untergrunde der Ackerkrume auftretenden reinen Tonen, Mergelsanden oder Sanden der Fall sein kann, so ist es in vielen Fällen von Interesse, die elementare Zusammensetzung des Gesamtbodens kennen zu lernen. Dabei ist es notwendig, nebeneinander eine Aufschließung durch Natriumkarbonat, sowie eine solche mit Flußsäure auszuführen. In ersterer bestimmt man die Kieselsäure (eventuell auch noch Eisenoxyd und Tonerde), in letzterer Eisenoxyd, Tonerde, Kalk, Magnesia und die Alkalien.

a. Die Aufschließung mit Natriumkarbonat.

Zur Aufschließung mit Natriumkarbonat verwendet man 1—2 g des staubfein im Achatmörser gepulverten und bei 100° C getrockneten Gesamtbodens, die man aus einem Wägeröhrchen in einen Platintiegel hineinschüttet und mittelst eines Platinspatels mit der 5—6fachen Gewichtsmenge wasserfreien Natriumkarbonates mischt. Die Masse wird zuerst über einem gewöhnlichen Brenner bei aufgelegtem Deckel anhaltend erhitzt und schließlich über dem Gebläse geschmolzen, bis sie ruhig fließt und keine Kohlensäure mehr entweicht. Der glühende Tiegel wird auf eine kalte Eisenplatte gestellt, damit die Schmelze schnell erstarrt und sich nachher leicht aus dem Tiegel ablösen

läßt. Die Lösung der Schmelze in Salzsäure und die Abscheidung der Kieselsäure geschieht in der S. 95 angegebenen Weise. Im Filtrat von der Kieselsäure bestimmt man Tonerde, Eisenoxyd, Manganoxyd, ferner Kalkerde und Magnesia nach den unten beschriebenen Methoden. Die gewöhnlich nur in geringen Mengen im Boden vorkommenden Substanzen, wie Titansäure, Chlor und Phosphorsäure, lassen sich in der angewandten Menge nicht hinreichend genau bestimmen und können daher füglich unberücksichtigt bleiben.

Ist die angewandte Substanz frei von organischen oder kohligten Stoffen, so kann man ihren Gehalt an Eisenoxydul dadurch ermitteln, daß man eine besondere Probe des Gesamtbodens in einem zugeschmolzenen Glasrohr mit Schwefelsäure aufschließt (s. S. 80), den Rückstand durch Filtrieren in einem Kohlensäurestrom von der Flüssigkeit trennt und in letzterer das Eisenoxyd durch Titrieren mit Chamäleonlösung bestimmt (S. 84ff.).

b) Die Aufschließung mit Flußsäure.

Die Aufschließung mit Flußsäure geschieht am besten in der Weise, daß man zugleich eine Glühverlustbestimmung damit verbindet. Man verwendet hierzu 1–2 g der bei 105° C getrockneten, möglichst fein gepulverten Substanz, die man zuerst gelinde in einem Platintiegel erhitzt und sodann stark über dem Gebläse glüht. Nach dem Erkalten im Exsikkator ermittelt man den Glühverlust durch Wägung. Die zusammengesinterte und bei Anwesenheit von Kalk häufig geschmolzene Masse wird mit destilliertem Wasser angefeuchtet und darauf mit starker Flußsäure und so viel konzentrierter Schwefelsäure übergossen, daß letztere reichlich genügt, um alle in der Substanz vorhandenen Basen in Sulfate überzuführen. Man deckt nun den Tiegel zu, stellt einen kleinen Platinspatel, den man sich aus starkem Platindraht anfertigt, und an dessen Griff man einen Kork befestigt, hinein und läßt die Säure unter häufigem Umrühren 2–3 Tage lang auf die Substanz einwirken, bis sie breiartig zergangen ist. Darauf dampft man den Inhalt des Tiegels unter mehrfachem Umrühren auf dem Wasserbade bis zur Trockne ein, um die Kieselsäure als Fluorsilizium zu vertreiben. Der Überschuß der Schwefelsäure wird durch Erhitzen des schräg gestellten Tiegels verjagt, indem man ein ganz kleines Flämmchen vom Rande aus einwirken läßt, so daß kein Verspritzen

der Substanz stattfinden kann. Nachdem die Masse trocken geworden, wird sie sehr schwach geglüht, um die gebildeten Fluoride vollständig zu zersetzen und in Sulfate überzuführen, sodann mit Salzsäure und Wasser vom Tiegel abgelöst und mit Hilfe einer Spritzflasche in ein Becherglas übergeführt. Bei anhaltendem Kochen mit aufgedecktem Uhrglase muß sie sich vollkommen klar lösen. Darauf fügt man zur Oxydation des Eisenoxyduls etwas Bromwasser hinzu, kocht die Flüssigkeit bis zur völligen Austreibung des überschüssigen Broms und bestimmt Tonerde, Eisenoxyd, Manganoxyd, Kalkerde, Magnesia, Kali und Natron.

Hat man eine Platinschale zur Verfügung, so bewirkt man den Aufschluß mit Flußsäure und Schwefelsäure besser in dieser, da das Abrauchen der Schwefelsäure im Tiegel immer mit der Gefahr des Spritzens verbunden ist.

Biblioteca UȘV IASI

III. Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe.

Bei der Bestimmung der Pflanzennährstoffe (vgl. S. 11) kann man von verschiedenen Gesichtspunkten ausgehen, indem man entweder die im Boden zurzeit vorhandenen verfügbaren und die erst nach und nach verfügbar werdenden Nährstoffe getrennt ermitteln, oder indem man von vornherein die Gesamtsumme aller vorhandenen und erst durch die Verwitterungs- und Vegetationsprozesse in absehbarer Zeit in Wirksamkeit tretenden Nährstoffe feststellen will. In ersterem Falle wird man die in der Natur vor sich gehenden Vorgänge möglichst nachzuahmen haben und erreicht dies annähernd dadurch, daß man den Boden sukzessive mit immer stärker wirkenden Agentien behandelt.

A. Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe in Bodenauszügen.

Den schon angedeuteten Anforderungen entsprechen am besten folgende Flüssigkeiten, die man dem besonderen Zwecke der Bodenuntersuchung entsprechend auf den Boden einwirken läßt:

1. kaltes destilliertes Wasser,
2. kaltes destilliertes Wasser, welches mit Kohlensäure gesättigt ist,
3. verdünnte Essigsäure zur Bestimmung der assimilierbaren Phosphorsäure,
4. Kalkwasser zur Bestimmung des leichtlöslichen Kalis,
5. kalte konzentrierte Salzsäure (1,15 spezifisches Gewicht),
6. kochende konzentrierte Salzsäure.

Vergleichende Untersuchungen über die Löslichkeitsverhältnisse des Bodens in Wasser, CO_2 -haltigem Wasser, Zitronen-

säure und Salzsäure stellte Engels (109) an, auf dessen Arbeit hier verwiesen sei.

In dem Falle, wo es sich darum handelt, nur die Gesamtsumme der vorhandenen, je nach der Verwitterungsfähigkeit der Gesteinselemente des Bodens in längerer oder kürzerer Zeit in Wirksamkeit tretenden Pflanzennährstoffe festzustellen, wird man den Boden unter Fortlassung der übrigen Auszüge direkt mit kochender konzentrierter Salzsäure zu behandeln haben.

Versuche, die für die Pflanzen aufnehmbaren Nährstoffe des Bodens mittels Dialyse zu bestimmen, wie sie von Petermann angestellt wurden, haben nach König u. a. (330) infolge der mannigfachen Ungenauigkeiten der Methoden bisher zu keinen brauchbaren Ergebnissen geführt.

I. Der Auszug des Bodens mit kaltem destillierten Wasser.

Durch die Behandlung des Bodens mit kaltem destillierten Wasser wird man naturgemäß nur seine im Wasser löslichen Bestandteile extrahieren können. Es sind dies, abgesehen von einigen humosen Substanzen, der Hauptsache nach Chloride, Sulfate und Nitrate von Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium, so daß es demnach nur darauf ankommt, diese Stoffe zu bestimmen.

Man bereitet den Wasserauszug des Bodens in der Weise, daß man 50 g lufttrockenen Feinboden (unter 2 mm D.) in einen mit Kautschukstopfen verschließbaren Glaskolben von 2 Liter Inhalt bringt und mit 1000 ccm destilliertem Wasser übergießt, abzüglich des Volumens, welches bei dem Trocknen bei 100° C aus 500 g Feinboden entweichen würde.

Zu diesem Zwecke bestimmt man zu gleicher Zeit in etwa 20 g desselben Feinbodens das bei anhaltendem Trocknen entweichende Wasser. Die Probe wird zuerst im lufttrocknen Zustande im Wägegläschen gewogen, dann auf einem Uhrglase möglichst flach ausgebreitet und zwei Stunden lang bei 105° C im Trockenschränke erhitzt. Nun führt man die getrocknete Substanz in heißem Zustande in das ebenfalls erwärmte Wägegläschen mit Hilfe eines Pinsels über, verschließt letzteres luftdicht und läßt es im Wageraume erkalten. Die Bestimmung des bei 105° C entwichenen (hygroskopischen und chemisch gebundenen) Wassers ist erst dann zuverlässig, wenn man bei wiederholter Trocknung und abermaliger Wägung keine bemerkenswerte Gewichts Differenz erhält. Nach Albert und

Böden sind Sandböden meist nach drei Stunden, Lehm- und Tonböden nach sechs Stunden, Moorböden erst nach acht Stunden Erhitzung gewichtskonstant.

Man läßt nun den zum Wasserauszuge abgewogenen Boden unter häufigem Umschütteln zwei Tage lang mit dem Wasser in Berührung und hebt dann, nachdem er sich gesetzt hat, die überstehende Flüssigkeit mittels eines mit Ansaugerohr versehenen Hebers (Abb. 44) ab. Dieser Heber hat nicht nur am unteren Ende des langen Schenkels, sondern auch nach der Angabe Wahnschaffes am unteren Ende des Ansaugerohrs einen Glashahn (c). Durch rechtzeitiges Schließen des zuletzt genannten Hahnes vermeidet man den Rückstoß der angesaugten Flüssigkeit in den Kolben hinein, sowie das damit verbundene Aufrühren des Bodens. Die abgehobene Flüssigkeit filtriert man durch ein trockenes Filter in zwei Maßkolben von je 500 und 300 ccm hinein.

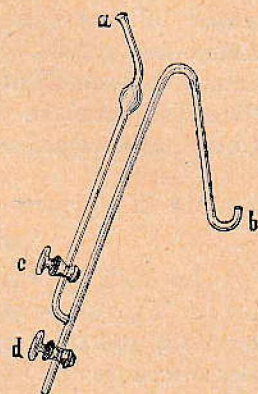


Abb. 44. Heber mit Ansaugerohr.

Von den Sulfaten wiesen Brown und Kellogg (84) nach, daß sie durch 7–8stündige Aufschüttelung mit Wasser sämtlich in Lösung gehen, was mit verdünnter Salzsäure nicht zu erreichen sei.

1. Die Bestimmung der Basen im Wasserauszuge.

Die 300 ccm des Wasserauszuges, welche 150 g bei 100° C getrocknetem Feinboden entsprechen, dampft man in einer gewogenen kleinen Platinschale auf dem Wasserbade ein, trocknet den Rückstand bei 100° C, läßt ihn im Exsikkator erkalten und wägt ihn sodann. Darauf wird das Platinschälchen schwach geglüht und nach dem Erkalten im Exsikkator wieder gewogen. Man erfährt so die Gesamtsumme der im Wasser gelösten Substanzen sowie auch ihre unverbrennlichen Stoffe. Beträgt die Menge der letzteren weniger als 0,5 g, so ist die Trennung der Alkalien und alkalischen Erden wegen der geringen Quantität, die man auf die Wage bringen kann, nicht genau auszuführen, und man tut daher gut, den Wasserauszug mit einer derartigen Menge Feinboden zu wiederholen, daß das zur Bestimmung der Basen zu verwendende Quantum des Wasserauszuges mindestens 1–0,5 g gelöste Substanz enthält.

Der Glührückstand wird unter Zusatz von etwas Salzsäure in destilliertem Wasser gelöst und, falls sich Spuren von Kieselsäure finden sollten, filtriert. Die Lösung wird bis zum Kochen erhitzt und Spuren von Eisen und Tonerde, die meist nur durch trübes Filtrieren in die Flüssigkeit hineingelangt sind, durch Ammoniak gefällt. Über die Bestimmung der im Filtrat vorhandenen Basen Kalk, Magnesia, Kali, Natron siehe weiter unten. (Das Kali kann in diesem wässerigen Auszuge auch nach der Überehlorsäuremethode bestimmt werden.)

2. Die Bestimmung der Säuren im Wasserauszuge.

Die Bestimmung des Chlors.

Ist keine Schwefelsäure oder nur eine geringe Spur von ihr im Wasserauszuge des Bodens enthalten, was man dadurch ermittelt, daß man eine kleine Probe des klaren Filtrats mit etwas Salpetersäure und Chlorbariumlösung versetzt, so kann man das Chlor zuerst bestimmen. Im anderen Falle wird zuerst die Schwefelsäure ausgefällt.

Man versetzt die S. 101 erwähnten 500 ccm des Wasserauszuges mit einer geringen Menge von ganz reinem Natriumkarbonat und dampft sie bis auf etwa 100 ccm ein. Die Flüssigkeit wird nun, falls sich etwas abgeschieden haben sollte, filtriert, das Filtrat mit Salpetersäure versetzt und erhitzt. Aus der kochend heißen Flüssigkeit wird das Chlor durch eine Lösung von Silbernitrat ausgefällt, indem man fortwährend mit einem Glasstabe umrührt, bis der Niederschlag sich zusammenballt und die Flüssigkeit sich vollständig klärt. Das so erhaltene Chlorsilber (AgCl) wird abfiltriert, mit heißem Wasser ausgewaschen, bei 100°C getrocknet und darauf in einen zuvor gewogenen Porzellantiegel gebracht, indem man es möglichst vom Filter ablöst. Das Filter wird für sich auf dem Deckel des Porzellantiegels verascht und erst dann mit dem übrigen Chlorsilber im Tiegel vereinigt. Da durch die Filterkohle die am Filter haften gebliebenen Teile des Chlorsilbers zum Teil zu Silber reduziert worden sind, so durchtränkt man die Filterasche mit einem Tropfen Salpetersäure, welchen man von einem Glasstabe in den Tiegel hineintropfen läßt. Darauf erwärmt man etwas, um das Silber zu lösen, und fügt dann einen Tropfen Salzsäure hinzu.* Nun wird der Tiegel zuerst ganz schwach, nachher immer stärker erwärmt, und wenn keine Dämpfe von salpetriger Säure mehr entweichen, so weit erhitzt,

bis das Chlorsilber zu einem Regulus zusammenschmilzt. Als dann läßt man den Tiegel im Exsikkator erkalten und wägt ihn. Die Menge des gefundenen Chlorsilbers mit dem Faktor 0,247 multipliziert gibt die gesuchte Menge des im Wasserauszuge (500 ccm entsprechend 250 g bei 100° C getrocknetem Boden) enthaltenen Chlors. Anstatt die geringe Menge des beim Veraschen des Filters reduzierten Silbers wieder in Chlorsilber überzuführen, kann man auch das ganze Chlorsilber durch längeres Glühen im Wasserstoffstrom vollständig zu metallischem Silber reduzieren und dieses wägen.

Die Bestimmung der Schwefelsäure.

Sind Sulfate in dem Wasserauszuge des Bodens enthalten, so wird, wie bereits erwähnt, die Schwefelsäure vor dem Chlor ausgefällt. Man dampft die Seite 101 erwähnten 500 ccm auf 100 ccm ein, säuert mit Salzsäure an, filtriert eventuell und fällt die Schwefelsäure mit Bariumnitratlösung aus kochend heißer Lösung.

Da der schwere, aus Bariumsulfat bestehende Niederschlag gewöhnlich noch andere Salze mit niederreißt, so muß man ihn, nachdem er mit heißem Wasser ausgewaschen, getrocknet und gewogen ist, nochmals auf dem Wasserbade mit verdünnter Salzsäure längere Zeit digerieren. Darauf gießt man die überstehende Salzsäure durch ein ganz kleines Filterchen und wäscht den Niederschlag, ohne ihn aus dem Tiegel herauszubringen, durch Dekantieren mit heißem Wasser aus. Filtrat und Waschwasser dampft man in einer Platinschale fast bis zur Trockne ein und bringt sodann den dabei abgeschiedenen Niederschlag ebenfalls auf das Filterchen. Nachdem letzteres ausgewaschen, getrocknet und verascht ist, fügt man es zu dem übrigen Niederschlage im Platintiegel hinzu und glüht diesen bei mäßiger Rotglut. Nach dem Erkalten im Exsikkator wird der Tiegel gewogen.

Um das Bariumsulfat auf Schwefelsäureanhydrid (SO_3) zu berechnen, multipliziert man es mit dem Faktor 0,343.

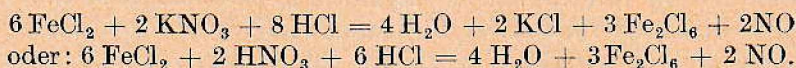
Die Bestimmung der Salpetersäure.

Da die im Boden vorkommenden Nitrate im Wasser sehr leicht löslich sind, so enthalten die Bodenarten gewöhnlich nur ganz geringe Mengen derselben, denn der von den Pflanzen nicht

verbrauchte Rest wird durch die Atmosphärien zum größten Teile in den Untergrund hinabgeführt. Die Methoden, welche wir zur Bestimmung der Salpetersäure anwenden, sind jedoch so scharf, daß sich selbst die kleinsten Mengen dieser Säure mit großer Genauigkeit im Boden bestimmen lassen.

Tausend Gramm des lufttrockenen Feinbodens werden in einem großen Kolben mit 2000 ccm destilliertem Wasser übergossen, abzüglich der aus der Bestimmung des hygroskopischen Wassers zu berechnenden Wassermenge, die aus 1000° g Boden beim Trocknen bei 100° C entweichen würde. Der Boden wird 48 Stunden lang mit dem Wasser unter häufigem Umschütteln in Berührung gelassen. Darauf hebt man die über dem Boden stehende klare Flüssigkeit mittels eines mit Ansaugerohr versehenen Hebers (Abb. 44) ab und filtriert sie durch ein trockenes Filter in einen Literkolben hinein. Ein Liter dieses Bodenextraktes entspricht 500 g bei 100° C getrockneten Bodens. Man versetzt dieses Quantum des Wasserauszuges mit einer geringen Menge von reinem Natriumkarbonat und dampft es auf dem Wasserbade bis auf etwa 100 ccm ein. Sollte sich ein Niederschlag gebildet haben, so wird dieser abfiltriert, ausgewaschen und das Filtrat von neuem auf 100 ccm eingedampft.

Um hierin die Salpetersäure zu bestimmen, wendet man am besten die ursprünglich von Schlösing (242) und Grandeau (14) herrührende und später mannigfach modifizierte Methode an, welche darauf beruht, daß man die Salpetersäure durch eine salzsaure Lösung von Eisenchlorür zu Stickoxydgas (NO) reduziert und letzteres durch Kochen austreibt und auffängt. Der chemische Vorgang vollzieht sich dabei nach folgender Gleichung:



Die Methode wird besonders deshalb empfohlen, weil die Genauigkeit auch bei Anwesenheit von gelösten humosen Bestandteilen nicht beeinträchtigt wird.

Nach v. Momaski (200) ist die Nitronmethode von Buch wegen ihrer größeren Genauigkeit und Einfachheit gegenüber dem Verfahren von Schlösing-Grandeau zu empfehlen.

Allen (64) bestimmt den Salpetersäure-N. in Bodenauszügen nach Devarda mit einer Legierung 50% Cu, 45% Al und 5% Zn oder auch mit reinem Al. Eine Lösung mit $\frac{1}{10}$ norm. NaOH ist für die Reduktion am günstigsten.

Die Tiemannsche Modifikation der Schlösing-Schulzeschen Methode zur Bestimmung der Salpetersäure.

Die von Tiemann vorgeschlagene Modifikation der bereits in ihren Hauptzügen angedeuteten Methode bietet den Vorteil, daß sie bei der Einfachheit des dabei zu verwendenden Apparates sehr genaue und zuverlässige Resultate liefert.

Den auf 100 ccm eingedampften Wasserauszug (S. 104) des Feinbodens, entsprechend 500 g bei 100° C getrockneter Substanz, bringt man in ein Glaskölbchen (zweckmäßig Rundkolben aus Resistenzglas) (Abb. 45 A) von $\frac{1}{2}$ l Inhalt. Dieses wird mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstopfen verschlossen, in welchen zwei knieförmig gebogene Glasröhren recht genau hineinpassen. Die Röhre *abc* ist bei *a* in eine nicht zu feine Spitze ausgezogen und ragt etwa 2 cm unter dem Kautschukstopfen hervor, während *efg* genau mit der Unterfläche desselben abschneidet.

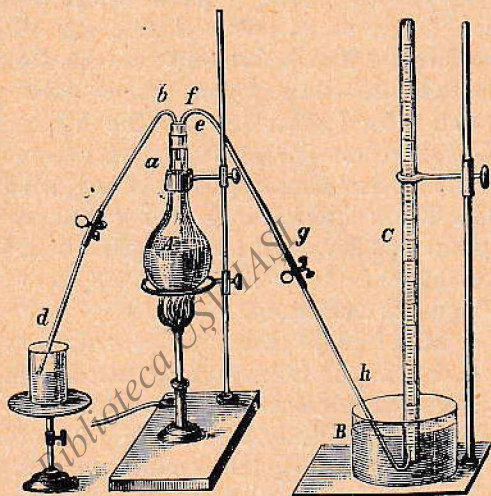


Abb. 45. Tiemannscher Apparat zur Bestimmung der Salpetersäure.

Die beiden genannten Röhren sind durch dünnen schwarzen Kautschukschlauch, welcher mit übersponnenem Kupferdraht festgeschnürt wird, mit den Röhren *cd* und *gh* verbunden. Durch zwei starke Quetschhähne *c* und *g* ist der Kautschukschlauch luftdicht verschließbar. Das Ende der Röhre *gh* mündet in eine sogenannte Kristallisationsschale von Glas *B* und ragt mit der aufwärts gebogenen und mit Kautschukschlauch überzogenen Spitze 2–3 cm in die Meßröhre *C* hinein. Letztere ist in Zehntelkubikzentimeter eingeteilt und wird ebenso wie die Glaswanne *B* mit ausgekochter 10% iger Natronlauge gefüllt, welche letztere man durch Auflösen von 12,9 Teilen Natriumhydrat (NaOH) in 100 Teilen Wasser erhält.

Die auf Salpetersäuregehalt zu untersuchende Flüssigkeit

wird anfangs bei geöffneten Röhren, und ohne daß gh in die Wanne B eintaucht, eine Stunde lang gekocht, um alle Luft aus dem Kölbchen A durch Wasserdampf zu verdrängen. Darauf bringt man das Ende der Röhre $efgh$ in die Natronwanne hinein, in welche jedoch das Meßrohr noch nicht eingesenkt worden ist, und läßt die Wasserdämpfe zum Teil durch die Natronlauge, zum Teil durch das Rohr $abcd$ entweichen. Nach einigen Minuten preßt man den Schlauch bei g mit den Fingern zusammen. War bereits alle Luft verdrängt, so wird die Natronlauge in den luftleeren Raum des Rohres gh zurückteigen, was sich durch einen leisen Schlag am Finger bemerkbar macht. Ist dies der Fall, so schließt man das Rohr hinter der zusammengepreßten Stelle mit dem Quetschhahn g und läßt die Dämpfe durch $abcd$ entweichen. Die Flüssigkeit wird so lange im Kochen erhalten, bis sie auf etwa 10 ccm eingedampft worden ist. Nun entfernt man den Gasbrenner, schließt unmittelbar darauf den Kautschukschlauch bei c mit dem Quetschhahn und spritzt das Rohr cd mit ausgekochtem Wasser voll. Bleibt ein Luftbläschen bei c zurück, so ist dies durch Drücken mit dem Finger zu entfernen.

Man füllt jetzt das Meßrohr mit ausgekochter Natronlauge, verschließt die Öffnung mit dem Daumen, so daß keine Luftblase mehr hineintreten kann, kehrt es um und senkt es über dem unteren Ende der Röhre gh in die Natronlauge ein.

Wenn die Schläuche c und g durch den äußeren Luftdruck zusammengepreßt sind, bringt man nahezu gesättigte, mit etwas Salzsäure versetzte Eisenchlorür- oder Eisenvitriollösung in ein Becherglas, in dessen oberem Raume 20 ccm durch zwei äußerlich aufgeklebte Papierstreifen abgeteilt sind. Ein zweites Bechergläschen wird mit konzentrierter Salzsäure vollgefüllt. Man senkt nun die Röhre cd in die Eisenchlorürlösung ein und läßt durch Öffnen des Quetschhahnes c 15–20 ccm in das Kölbchen einfließen. Darauf taucht man das Rohr cd in die konzentrierte Salzsäure und läßt diese zweimal in geringer Menge nachsteigen, bis alles Eisenchlorür aus der Röhre $abcd$ ausgespült ist. Bei b bildet sich häufig ein kleines Bläschen, das aus Chlorwasserstoffgas besteht und daher beim Erhitzen des Kölbchens wieder vollständig verschwindet. Nun erwärmt man das Kölbchen ganz gelinde, bis die Kautschukschläuche sich wieder etwas aufzublähen beginnen, ersetzt dann den Quetschhahn bei g durch die Finger und läßt, sobald der Gasdruck etwas stärker ist,

das durch die Erwärmung aus der Lösung ausgetriebene Stickoxydgas in die Meßröhre übersteigen. Das Kochen der Flüssigkeit wird so lange fortgesetzt, bis keine Zunahme des Gasvolumens in der Meßröhre mehr sichtbar ist. Durch die lebhaftes Absorption des Salzsäuregases von der Natronlauge entsteht ein knatterndes Geräusch, doch hat man dabei nicht zu befürchten, daß das Ende der Röhre *g h* zerbricht, da dieses, wie bereits angegeben, durch Kautschukschlauch geschützt ist.

Nach Beendigung der Operation entfernt man das Rohr *g h* aus der Wanne, schließt die Meßröhre unter der Natronlauge mit dem Daumen, schüttelt sie mit der noch darin befindlichen Natronlauge, um etwaige Spuren von Salzsäure zu entfernen, und taucht sie in einem großen Glaszylinder unter, der mit Wasser von $15-18^{\circ}\text{C}$ gefüllt ist.

Das Ablesen des Gasvolumens Stickoxyd kann nach Ablauf von 20 Minuten erfolgen. Man senkt zu diesem Zwecke die Meßröhre so weit in das Wasser des Zylinders ein, daß das Niveau der Flüssigkeit innerhalb der Meßröhre mit dem Niveau der Flüssigkeit außerhalb derselben gleich hoch steht. Das Stickoxydgas befindet sich in diesem Falle unter dem jeweiligen durch den Barometerstand angezeigten Druck der Atmosphäre.

Vor dem Ablesen des Gasvolumens ist die Meßröhre mittelst eines mit Muffe versehenen Stativs möglichst senkrecht aufzustellen, was man am besten dadurch erreicht, daß man sie zwischen zwei in einiger Entfernung aufgehängte Lote bringt und mit dem Auge einvisiert. Beim Ablesen des Gasvolumens nimmt man die Mitte der dunklen Zone, welche durch das am Glase sich hinaufziehende Wasser gebildet wird, als die wirkliche Oberfläche des Wassers an und notiert die entwickelte Menge Stickstoff in ganzen oder Zehntelkubikzentimetern.

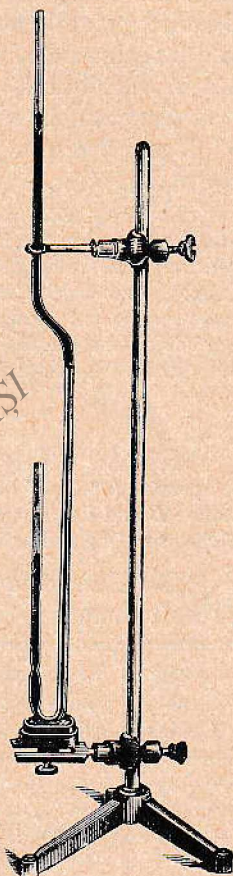


Abb. 46. Quecksilberbarometer nach Bunsen.

Das Volumen jedes über Wasser, mithin im feuchten Zustande gemessenen Gases ist abhängig von der Temperatur der Umgebung, dem Druck der Atmosphäre und der Tension des Wasserdampfes. Man notiert daher beim Ablesen des Gasvolumens die Temperatur des Wassers im Zylinder, sowie auch den Barometerstand nach einem Bunsenschen Barometer (Abb. 46) und berechnet das Volumen unter Berücksichtigung der Tension des Wasserdampfes auf 0° C und 760 mm Quecksilberdruck. Den Zustand, in welchem sich ein trockenes Gasvolumen bei 0° C und 760 mm Druck befindet, bezeichnet man als seinen Normalzustand.

Da nach dem Mariotteschen Gesetze das Volumen eines Gases im umgekehrten Verhältnis zu dem darauf lastenden Drucke steht und die Ausdehnung eines Gases durch die Wärme für jeden Grad Celsius $\frac{1}{273}$ des Volumens beträgt, den es bei 0° C einnimmt, so ergibt sich, da der durch den Feuchtigkeitszustand ausgeübte Druck, die Tension des Wasserdampfes, von dem jeweiligen Barometerstande in Abzug zu bringen ist, für die Berechnung des Gasvolumens auf den Normalzustand folgende Formel:

$$V_0 = \frac{V \cdot 273 \cdot (B - f)}{(273 + t) \cdot 760}$$

In dieser Formel bedeutet V_0 das Volumen des Gases bei Normaltemperatur (0° C), V das abgelesene Volumen des Gases bei dem Barometerstande B und der Temperatur t , während f die Tension des Wasserdampfes in Millimeter Quecksilberdruck bei t ° C anzeigt.

Die Tension des Wasserdampfes ist aus folgender Tabelle zu entnehmen.

Temperatur Celsius	Tension in mm Quecksilberdruck	Temperatur Celsius	Tension in mm Quecksilberdruck	Temperatur Celsius	Tension in mm Quecksilberdruck
0°	4,5	9°	8,5	18°	15,3
1°	4,9	10°	9,1	19°	16,3
2°	5,2	11°	9,7	20°	17,4
3°	5,6	12°	10,4	21°	18,5
4°	6,0	13°	11,1	22°	19,6
5°	6,5	14°	11,9	23°	20,9
6°	6,9	15°	12,7	24°	22,2
7°	7,4	16°	13,5	25°	23,5
8°	8,0	17°	14,4	26°	25,0

Hat man eine größere Anzahl von derartigen Berechnungen auszuführen, so empfiehlt es sich, zur Vereinfachung derselben die von Leo Liebermann gegebenen Tabellen (181) zur Reduktion der Gasvolumina auf den Normalzustand zu benutzen.

Um das gefundene Stickoxyd auf Salpetersäure in Gramm umzurechnen, muß man die Anzahl der auf den Normalzustand berechneten Kubikzentimeter Stickoxyd mit dem Faktor 0,002417 multiplizieren.

Noyes (210) bestimmt die Bodennitrate nach der Phenoldisulfosäuremethode kolorimetrisch. Eine Beschreibung der Methode findet sich im Chem. Zentralbl., 9, 1919.

Busvold (87) bestimmt die Nitrite, die nicht stark chlorhaltig sein dürfen, gewichtsanalytisch in der Weise, daß er Silberbromat verwendet, welches durch Nitrit zu AgBr reduziert wird; letzteres wird auf ein Filter gebracht, getrocknet und gewogen.

3. Besonderes Verfahren bei der Untersuchung der Moorböden.

Torfmoore, welche in Kultur genommen werden sollen, verlangen eine besondere Untersuchung. Von B. Tacke (24) sind für die Moorversuchsstation in Bremen den praktischen Bedürfnissen angepaßte Methoden für die physikalische und chemische Untersuchung der Moorböden ausgearbeitet worden, auf die hier verwiesen werden muß.

Schon die Entnahme der Proben erfordert besondere Vorschriften, da es vor allen Dingen darauf ankommt, Moorproben in ihrem natürlichen, also möglichst frischen Zustande bei der Untersuchung zu verwenden. Um die Güte und Kulturfähigkeit eines Moorbodens abschätzen zu können, ist es notwendig, Beobachtungen über den Grad seiner Zersetzung, über die Zusammensetzung der moorbildenden Pflanzen und über die gegenwärtige Pflanzendecke anzustellen.

Bei Moorböden einheitlichen Charakters, deren Kultivierung geplant ist, wird sich die Probeentnahme gleichmäßig über die ganze Fläche erstrecken, um den Charakter der Durchschnittsproben zu sichern. Die Anweisung der Moor-Versuchsstation Bremen zur Entnahme von Bodenproben gibt an, daß man an möglichst vielen Stellen die lebende Bodennarbe möglichst flach abschält und 1. Proben von etwa 1—2 kg von der Oberfläche bis zu 20 cm Tiefe, 2. Proben von etwa 1—2 kg von 20 cm Tiefe bis zur Sohlentiefe der vorhandenen oder noch zu ziehenden Entwässerungsgräben aushebt, 3. trifft man hierbei bereits den mineralischen Untergrund, so ist von diesem gesondert eine Probe zu entnehmen. Sämtliche Einzelproben aus der Oberflächenschicht (1.) werden sorgfältig miteinander vermischt, daraus eine Durchschnittsprobe von mindestens 2—3 kg entnommen und in einen reinen Beutel verpackt. Ebenso gewinnt man eine Durchschnittsprobe aus den tieferen Schichten (2. und 3.). Ist der Charakter der Moorländereien nicht einheitlich, so muß man auf jeder für sich gleichartigen Fläche, wie oben beschrieben, verfahren. Es sei auf die von den Moorversuchsstationen zu beziehenden Anweisungen und Fragebogen hingewiesen.

Für die Beurteilung der physikalischen Beschaffenheit ist die Bestimmung des scheinbaren spezifischen Gewichts oder des Volumengewichts von Wichtigkeit. Tarierte würfelförmige Blechgefäße, deren eine Wand durchlocht ist, von 10 cm Höhe, entsprechend einem Würfel von 1000 ccm Inhalt, werden, wenn dies angängig, an Ort und Stelle in den Moorboden eingedrückt, ausgehoben und die überschießenden Teile mit einem scharfen Messer abgeschnitten. Sodann wird der Würfel zusammen mit dem Blechgefäße gewogen. Danach wird die Moorprobe in einem Trockenschranke auf einer flachen Hürde ausgebreitet, bei 90° C getrocknet und nach dem Erkalten wieder gewogen.

Den Vertorfungsgrad bestimmt Keppeler (163), indem er in Moor- und Torfproben mit Schwefelsäure (72%ige) die unveränderten Polysaccharide in Lösung bringt und in der Lösung die entsprechenden Zuckermengen durch die Reduktion von Fehlingscher Lösung bestimmt, wobei bei der Berechnung angenommen wird, als ob die reduzierenden Stoffe Dextrose wären („Gesamtreduktion“). Es sei auf die diesbezügliche Arbeit Keppelers verwiesen.

Bei der chemischen Analyse der Moorproben ist auf die Bestimmung der Trockensubstanz, des Aschengehaltes und besonderer einzelner Bestandteile Gewicht zu legen.

Die Veraschung wird am besten in einer möglichst flachen geräumigen Platinschale ausgeführt. Die Hitze soll dabei die dunkle Rotglut nicht überschreiten. Der Kohlensäuregehalt der Asche ist durch Glühverlust zu bestimmen und von den Aschenprozenten in Abzug zu bringen. —

Soll die Analyse des Moorbodens lediglich Anhaltspunkte für die Beurteilung seiner Kulturfähigkeiten bieten, so begnügt man sich in den meisten Fällen damit, die Torfasche mit konzentrierter Salzsäure unter Zusatz von etwas Salpetersäure auszukochen und nach Abscheidung der Kieselsäure im Filtrat Kalkerde und Phosphorsäure zu bestimmen.

Bei genaueren Untersuchungen verwendet man ungefähr 10 g der Asche zu einem Wasserauszuge und bestimmt in diesem Kalkerde, Magnesia, Kali, Natron, Schwefelsäure und Chlor. Der beim Wasserauszuge verbleibende Rückstand wird mit konzentrierter Salzsäure ausgekocht und nach Abscheidung der Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd, Kalkerde, Magnesia, Kali, Natron und Phosphorsäure bestimmt. Der dabei verbleibende Rückstand wird nach Auskochung mit Natriumkarbonat als Sand bezeichnet.

Die Bestimmung einzelner Bestandteile hat sich namentlich auf Stickstoff, Schwefel, Gesamtphosphorsäure, pflanzenschädliche Stoffe, auf die Absorption wichtiger Pflanzennährstoffe und auf die absorptiv ungesättigten Humusstoffe, die sog. „freien Humussäuren“ zu erstrecken (vgl. Abschnitt über Bodensäure-Bestimmung).

v. Feilitzen (111) bestimmt in Moorböden nur organische Stoffe und Glührückstand, N, CaO, S-Verbindungen. P_2O_5 und K_2O sind meist in so geringen Mengen vorhanden, daß ihre Bestimmung überflüssig ist. Ferner bestimmt er das Volumsgewicht und ermittelt die prozentischen Gehalte auf 1 ha in einer 20 cm mächtigen Schicht. Die botanisch-mikroskopische Untersuchung läßt meist direkt einen Schluß auf die chemische Zusammensetzung zu.

II. Der Auszug des Bodens mit kohlensäurehaltigem Wasser.

Da sich der Bodenrückstand vom Wasserauszuge nur mühsam von dem noch nicht abgehobenen Wasser und den darin enthaltenen Bodensalzen trennen läßt, so verwendet man am besten bei dem Auszuge mit kohlensäurehaltigem Wasser eine neue Menge lufttrockenen Feinbodens.

Nach E. Wolff (202) übergießt man 1500 g des lufttrockenen Feinbodens in einer großen Flasche mit 6000 ccm des mit Kohlensäure bis zu $\frac{1}{4}$ gesättigten Wassers abzüglich der aus dem lufttrockenen Boden bei $105^\circ C$ entweichenden Wassermenge.

Mitscherlich (32) behandelt zur Bestimmung der „Sättigungskonzentration“ für die von ihm konstruierten Rührapparate den Boden mit der fünffachen Wassermenge, die mit Kohlensäure gesättigt ist. Die Rührzeit dauert 15 Stunden. Mitscherlich hat seine Methode in seinem Lehrbuche eingehend beschrieben und die von ihm benutzte Apparatur abgebildet.

In der durch Aufschließen mit kohlensäurehaltigem Wasser erhaltenen Bodenlösung bestimmt man Tonerde, Eisenoxyd, Phosphorsäure, Kalkerde, Magnesia, Schwefelsäure, Kali und Natron nach den weiter unten zu besprechenden Methoden. Es sei auch auf die von C. Wolff (202) und Mitscherlich (32) angegebenen Verfahren hingewiesen.

Der wiederholte Auszug des Bodens mit kohlen-
säurehaltigem Wasser.

Von verschiedenen Agrikulturchemikern, so von Ulbricht (267), W. Wolf (54), F. Schulze (244) und E. Wolff (282), ist ausdrücklich auf die Wichtigkeit hingewiesen worden, welche eine mehrmalige Wiederholung des Bodenausguges mit kohlenensäurehaltigem Wasser für die Beurteilung seiner Fruchtbarkeit besitzt. Der erste Auszug wird natürlich stets die größte Menge der verfügbaren Pflanzennährstoffe liefern, während die folgenden mit denselben Flüssigkeitsmengen und dem gleichen Bodenmaterial auszuführenden Extrakte hinsichtlich ihres relativen Gehaltes an Pflanzennährstoffen einen Maßstab abgeben werden zur Beurteilung der von der augenblicklichen Fruchtbarkeit und dem Düngungszustande unabhängigen, erst in Zukunft in Erscheinung tretenden Güte des Bodens.

Für diese sukzessive Extraktion des Bodens mit bis zu $\frac{1}{4}$ gesättigtem kohlenensäurehaltigen Wasser ist der F. Schulzesche Extraktionsapparat zweckmäßig zu verwenden. Dieser besteht aus einer dreihalsigen Woulfschen Flasche von 2 l Inhalt, in deren mittleren Tubus durch einen Kautschukstopfen ein Glas-
trichter luftdicht eingesetzt wird. Das untere Ende des Trichters wird an der Mündung durch Schmelzen an der Gasflamme etwas verengt. In das Trichterrohr bringt man ein Stückchen mit Salzsäure und destilliertem Wasser ausgekochten Badeschwamm, füllt darauf schichtweise gröberen und nach oben zu immer feiner werdenden Quarzsand, welcher mit Salzsäure längere Zeit ausgekocht, mit destilliertem Wasser ausgewaschen und geglüht sein muß. Bei dem Versuch bringt man 1000 g des zu extrahierenden Feinbodens auf den Trichter und übergießt ihn mit dem kohlenensäurehaltigen Wasser. Der eine seitliche Tubus wird darauf durch ein in einen Kautschukstopfen eingesetztes Rohr mit einer Bunsenschen Wasserluftpumpe in Verbindung gesetzt, während in den anderen seitlichen Tubus ein mit Ansaugerohr und 2 Glashähnen versehener Heber (Abb. 42) luftdicht eingefügt wird. Bei Beginn der Operation schließt man die Glashähne am Heberrohr, öffnet die Luftpumpe und reguliert den Druck derartig, daß man in je 24 Stunden ein Liter Extrakt erhält. Die auf diese Weise sukzessive zu erlangenden Auszüge werden gesondert für sich untersucht. In vielen Fällen wird man sich damit begnügen können, nur die Summe der gelösten

Substanzen durch Abdampfen in einem Platinschälchen festzustellen.

Biéler-Chatela'n (80) bestimmt das assimilierbare Kali in den Böden durch Digestion und Auslaugung mit CO_2 -haltigem Wasser und findet Werte, welche mit den Ergebnissen von Kulturversuchen besser übereinstimmen als die, welche durch konzentrierte und verdünnte Mineralsäuren erhalten werden.

III. Der Auszug des Bodens mit Zitronensäure oder Essigsäure zur Bestimmung der assimilierbaren Phosphorsäure.

Um die den Pflanzen unmittelbar zur Verfügung stehende Phosphorsäure im Boden zu bestimmen, hat man Bodenauszüge mit den verschiedensten Lösungsmitteln hergestellt. Th. Schlösing-fils (241) benutzte hierzu eine sehr stark verdünnte Salpetersäure, Gerlach (125) dagegen behandelte den Boden mit kohlensäurehaltigem Wasser; später verwandte er bei seinen Versuchen 1%ige Oxalsäurelösung und 2%ige Zitronensäurelösung. Von mehreren Bodenanalytikern sind Auszüge von einem oder mehreren Kilogramm Boden mit 1%iger Zitronensäure hergestellt worden. Engels (108) gibt einer 2%igen Zitronensäure den Vorzug und glaubt hiermit brauchbare Anhaltspunkte für die Beurteilung der Fruchtbarkeit der Ackerböden gefunden zu haben, sowohl für P_2O_5 wie K_2O . Déherain benutzte 1%ige Essigsäurelösung, und auch Pagnoul (213) bediente sich dieser Säure, um die assimilierbare Phosphorsäure im Boden zu bestimmen. Da die von letztgenanntem Forscher angewandte Methode leicht und bequem auszuführen ist, so soll sie hier näher angegeben werden.

Pagnouls kolorimetrische Methode zur Bestimmung der Phosphorsäure.

Pagnoul bedient sich einer Lösung, welche in 1000 ccm Wasser, 120 g wasserfreie Essigsäure, d. h. die zur Zersetzung von 100 g Kalziumkarbonat erforderliche Menge enthält, so daß 10 ccm Essigsäure 1 g Kalziumkarbonat entsprechen. 100 g eines Bodens mit 2% Kalziumkarbonat können also 20 ccm dieser Säure neutralisieren. Man bringt nun eine 10 g Trockensubstanz entsprechende Menge des Bodens, dessen Gehalt an CaCO_3 vorher, z. B. zu 2%, bestimmt wurde, in einen Kolben. In einen Meßkelch von 50 ccm bringt man in diesem Falle 10 + 2 ccm der Essigsäure, füllt zu 50 ccm auf und gießt das Ganze zu den 10 g Boden. Nach zweistündiger Einwirkung unter häufigem Schütteln filtriert man ab und bestimmt in 25 ccm, entsprechend 5 g Boden, die Phosphorsäure, und zwar durch folgende kolorimetrische Methode:

Zu dieser werden gebraucht:

- A. eine ammoniakalische Lösung, erhalten durch Auffüllen von 100 ccm Ammoniak auf 1000 ccm Wasser;

- B. eine Lösung von Schwefelsäure, enthaltend 70—80 cem Schwefelsäure auf 1000 cem Wasser;
- C. eine 10%ige Lösung von Ferrozyankalium;
- D. eine Phosphormolybdänsäurelösung, enthaltend genau 4 mg P_2O_5 , in 1000 cem.

Die Lösung D erhält man, indem man eine titrierte Lösung von phosphorsaurem Ammon oder Natron so weit verdünnt, daß sie genau 4 mg P_2O_5 enthält. Diese Lösung (30—40 cem) wird mit 2—3 cem Ammoniumnitrat, 10 cem Salpetersäure und 20 cem Ammoniummolybdatlösung versetzt und erhitzt. Der nach dem Erkalten ausgeschiedene Niederschlag wird filtriert und mit 10%iger Salpetersäure ausgewaschen, bis das Waschwasser mit Ferrozyankalium keine Braunfärbung mehr hervorruft. Man löst sodann mit obiger Ammoniaklösung A den Niederschlag von phosphormolybdänsaurem Ammonium auf und füllt die Auflösung mit gleicher Ammoniaklösung auf 1000 cem auf.

Nun fällt man in gleicher Weise in obigen 25 cem Essigsäurelösung (= 5 g Boden) die Phosphorsäure, die häufig nur in unwägbaren Spuren eines gelben Niederschlages besteht, löst in Lösung A und bringt die filtrierte Lösung auf höchstens 10—50 cem, je nach der Größe des Niederschlages, in ein graduiertes Meßröhrchen. Dieser graduierten, in Kubikzentimeter geteilten Meßröhrchen gebraucht man mehrere, damit man die später erscheinenden Färbungen auf weißem Grunde leicht und sicher beobachten kann.

Man bringt in eines dieser Röhrchen 5 cem der Lösung D, entsprechend 0,02 mg P_2O_5 , und in ein anderes 5 cem der Untersuchungsflüssigkeit. Sodann fügt man zu jeder 2 cem Ferrozyankaliumlösung und weiter tropfenweise die Schwefelsäurelösung B, bis man eine bleibende braune Färbung erhält. Man vermeidet jeden Überschuß der Säure, da ein solcher die Farbe ein wenig beeinflussen könnte.

Man füllt nun im ersten Meßröhrchen mit Wasser zu 10 cem auf und erhält so die Normalbraunfärbung. Die Flüssigkeit im zweiten Röhrchen verdünnt man mit Wasser, bis seine Farbe der Normalfarbe gleich ist. Es gelingt so die Bestimmung der Phosphorsäure in der Untersuchungsflüssigkeit ohne jede Schwierigkeit. Man liest nun das Volum V' der auf die Farbe der Normallösung verdünnten Versuchsflüssigkeit in Kubikzentimeter in der Meß-

röhre ab. Der Phosphorsäuregehalt (P_2O_5) beträgt darin: $0,02 \text{ mg} \cdot \frac{V'}{10}$, demnach in den 25 cem der angewandten essigsäuren Lösung V (entsprechend 5 g Boden): $0,02 \text{ mg} \cdot \frac{V'}{10} \cdot \frac{V}{5}$, und in 100 g Boden $0,4 \text{ mg} \cdot \frac{V'}{10} \cdot \frac{V}{5}$.

Ist die Farbe des zweiten Röhrchens zu stark, so braucht man nur an Stelle der 5 cem Untersuchungsflüssigkeit 1 oder 2 cem zu nehmen, doch muß man sodann mit der ammoniakalischen Flüssigkeit bis zu 5 cem auffüllen, ehe man Ferrozyankalium und Schwefelsäure zusetzt. Es ist dies unbedingt nötig, um vergleichbare Farben zu erhalten.

IV. Die Bestimmung des leicht löslichen Kalis.

Diese von A. Rümpler (236) angegebene Methode bezweckt, das gesamte durch Salzsäure lösliche Kali in leichter für die

Ernährung der Pflanze unmittelbar zur Verfügung stehendes und schwerer lösliches zu trennen. Das Verfahren beruht auf Ausziehen des Bodens mittels Ätzkalk oder Kalksalzen.

König und Hasenbäumer (167) stellen die Kalibedürftigkeit eines Bodens durch das Dämpfverfahren fest, wobei sie 800 g Boden mit 5 l destilliertem Wasser fünf Stunden bei fünf Atmosphären behandeln. Es sei auf die diesbezüglichen Originalarbeiten verwiesen.

V. Der Auszug des Bodens mit kalter konzentrierter Salzsäure.

Man übergießt in einem mit Glasstopfen verschließbaren Zylinder 200 g lufttrocknen Feinboden mit 400 g reiner konzentrierter Salzsäure und läßt letztere unter häufigem Umschütteln 48 Stunden lang bei Zimmertemperatur auf die Substanz einwirken. Darauf wird die Salzsäure stark verdünnt, durch ein Filter abgegossen und der Boden durch ein immerwährendes Dekantieren mit kochendem Wasser ausgewaschen, bis ein vom Trichter ablaufender Tropfen mit Silbernitrat keine Reaktion mehr zeigt.

Da die Abscheidung der gelösten Substanzen in ganz gleicher Weise geschieht wie bei dem sogleich zu besprechenden Bodenauszuge mit kochender konzentrierter Salzsäure, so kann darauf verwiesen werden.

VI. Der Auszug des Bodens mit kochender konzentrierter Salzsäure.

Nur in wenigen Fällen wird es möglich sein, die genannten Bodenauszüge gleichzeitig herzustellen, da sie sehr viel Mühe und Zeit erfordern. Man wird sich meist schon mit einem Auszuge begnügen müssen und wählt in diesem Falle am besten einen solchen mit heißer konzentrierter Salzsäure, welcher, wie bereits erwähnt, die Gesamtsumme aller gegenwärtig verfügbaren und erst in Zukunft nach und nach vermutlich in Wirksamkeit tretenden Pflanzennährstoffe enthält.

Über den Wert der Nährstoffanalyse, insbesondere auch der Salzsäuremethode, ist viel gestritten; es muß auf die diesbezügliche Literatur hingewiesen werden. Wenn es schon feststeht, daß sämtliche Methoden ihre mehr oder weniger großen Fehlerquellen besitzen, daß sie uns keine Rezepte liefern, so wissen wir doch aber auch, daß auch die gefundenen Annähe-

rungrswerte — wie das auch Ganssen u. a. betonen — trotz aller Mängel nicht unterschätzt werden dürfen, da sie Vergleichswerte mit den Analysenzahlen anderer Böden liefern. Auch v. Sigmond (256) weist darauf hin, daß der salzsaure Bodenauszug uns nicht nur ein treffendes Bild der klimatischen Bodentypen gibt, sondern auch Grenzwerte schafft, aus welchen der rohe Nährstoffvorrat des Bodens mit großer Annäherung bestimmt werden könne. O. Lemmermann (174) sagt, daß die Salzsäuremethode trotz aller ihrer Mängel in der Hand des erfahrenen Sachverständigen oft mehr leiste, als der Unkundige vielfach anzunehmen pflege, Hissink (143), daß die Salzsäuremethode nützlich sei für die Charakterisierung der Bodentypen, die Kenntnis der Menge und der Zusammensetzung des aktiven Bodenteils, der Verwitterungsvorgänge und des im Boden vorhandenen Nährstoffkapitals. Was die Deutung der Ergebnisse der Analysenzahlen und der von verschiedenen Forschern aufgestellten Grenzzahlen anbelangt, so sei auf die Lehrbücher der Bodenkunde hingewiesen. R. Ganssen hat der Nährstoffanalyse sozusagen einen neuen Inhalt gegeben, indem er der Untersuchungsmethode van Bemmels, welcher sich bei der Bestimmung der Art und des Grades der Verwitterung des Molekularverhältnisses $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ bedient, das molekulare Verhältnis der Basen hinzufügte, so daß die Nährstoffzahlen nur in ihren quantitativen Beziehungen zum Tonerde- und Kieselsäuregehalt zu bewerten sind, d. h. wir können aus diesen Verhältniszahlen erkennen, ob und in welchem Grade ein Boden sauer, d. h. absorptiv ungesättigt, oder ob er neutral, d. h. absorptiv gesättigt ist. Das Molekularverhältnis gibt uns also in dieser Form auch Auskunft über die Löslichkeit der Nährstoffe. Es sind Versuche im Gange, welche die Verwendungsmöglichkeit der molekularen Berechnung für praktische Düngungsversuche nachprüfen. Es sei auf die Originalarbeiten von Ganssen (120) verwiesen. —

Man wägt bei Sandböden 50, bei Tonböden 25 g des lufttrocknen Feinbodens ab und übergießt sie in einem Erlenmeyerschen Kochbecher mit 100 ccm konzentrierter reiner Salzsäure von 1,15 spezifischem Gewicht¹⁾. Den Kochbecher

¹⁾ Der Verband der Landwirtschaftl. Versuchsstationen (siehe Landwirtschaftl. Versuchsstat. 1891, Bd. 28, S. 293) empfiehlt: Auf 1 Gewichtsteil Boden sollen 2 Volumteile 10%iger Salzsäure (spezifisches Gewicht = 1,049) — unter Berücksichtigung der Karbonate des Bodens — unter häufigem Umschütteln drei Stunden lang am das Wasserbad einwirken.

stellt man auf ein Sandbad (Abb. 47), setzt ein kleines Trichterchen mit kurzer Trichterröhre (c) darauf, gebraucht jedoch die Vorsicht, zwischen dem Hals des Kochbechers und dem Trichter ein kleines Stückchen Glasstab (b), welches im Winkel von 45° gebogen ist, einzuschieben, damit die Dämpfe beim Kochen ungehindert entweichen können und ein Verspritzen der Flüssigkeit durch das Trichterrohr hindurch vermieden wird.

Der Boden wird nun genau eine Stunde lang mit der Säure gekocht. Darauf fügt man destilliertes Wasser in großem Überschuß hinzu, rührt mit einem Glasstabe um und läßt den Boden

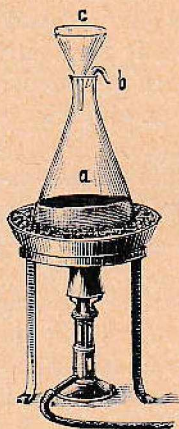


Abb. 47. Kochbecher für den Salzsäureauszug des Bodens.

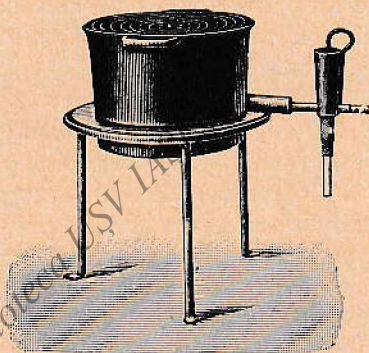


Abb. 48. Wasserbad mit konstantem Wasserzufluß nach R. Muencke.

sich absetzen. Nachdem die überstehende Flüssigkeit sich geklärt hat, gießt man sie durch ein Filter ab und wäscht den Boden im Kochbecher so lange durch Dekantieren mit heißem Wasser aus, bis ein vom Trichter ablaufender Tropfen keine Trübung mit Silbernitrat mehr gibt. Es ist nicht notwendig, den ganzen Boden auf das Filter zu bringen, weil man dadurch sein Auswaschen erschwert.

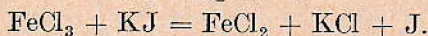
Das klare Filtrat bringt man auf 1000 ccm und entnimmt davon 300 ccm zur Analyse. Diese werden nach dem Vorschlage von R. Ganssen zunächst in einer Platinschale unter Zusatz von einer geringen Menge Flußsäure und so viel Schwefelsäure, als genügt, um alle Basen in Sulfate überzuführen, auf dem Wasserbade bis zur Trockne eingedampft, wozu man zweckmäßig das von R. Muencke (203) angegebene Wasserbad

benutzt, welches mit konstantem Wasserzufluß versehen ist, so daß ein Austrocknen nicht stattfinden kann (Abb. 48). Der Abdampfdruckstand wird in der Platinschale, um das Fluorsilizium zu verjagen, über einem kleinen Flämmchen vom Rande her mäßig erhitzt, bis die Salze trocken zu werden beginnen. Sodann glüht man bei ganz schwacher Rotglut. Die Entfernung der Kieselsäure durch Flußsäure ist deshalb notwendig, weil diese sonst die Phosphorsäurebestimmung fehlerhaft beeinflusst. Außerdem gewährt diese Methode den Vorteil, daß beim Erhitzen der Schwefelsäure die in Lösung gegangenen Humussubstanzen zerstört werden, die sonst bei den späteren Fällungen in dem direkt verwendeten salzsauren Bodenauszuge sehr störend sind.

Die Sulfate werden in der Platinschale mit konzentrierter Salzsäure benetzt und nach dem Verdünnen durch Kochen gelöst. Etwa vorhandene Kohleteilchen werden durch Filtrieren der Lösung beseitigt.

Das Filtrat versetzt man heiß mit verdünntem Ammoniak und fällt dadurch das Eisenoxyd, die Tonerde und Phosphorsäure. Man fügt sodann einige Tropfen Essigsäure hinzu, bis die Flüssigkeit schwach sauer reagiert und kocht sie darauf nochmals auf. Den meist ziemlich bedeutenden Niederschlag bringt man auf ein gut filtrierendes Filter und wäscht ihn mit kochendem Wasser gut aus. Den Niederschlag spült man, nachdem das Filter mit einem Glasstabe durchstoßen ist, in das Fällungsgefäß zurück, löst den am Filter haften gebliebenen Teil dazu, setzt Salzsäure zu zur vollständigen Lösung unter Erwärmen, filtriert nun in ein 500-ccm-Kölbchen und füllt bis zur Marke auf. Die filtrierte erkaltete Lösung füllt man in ein 500 ccm fassendes Kölbchen und hebt daraus mit der Pipette 100 ccm zur Bestimmung des Eisens auf maßanalytischem Wege und 100 ccm zur Bestimmung von Eisenoxyd, Tonerde und Phosphorsäure durch gemeinsame Wägung ab, während man die übrigbleibenden 300 ccm bis auf eine kleine Menge abdampft und in der auf Seite 128 angegebenen Weise zur Phosphorsäurebestimmung benutzt. In den 100 ccm fällt man das Eisenoxyd, die Tonerde und Phosphorsäure durch Ammoniak in schwach essigsaurer Lösung und wägt den geglühten Niederschlag. In den anderen 100 ccm bestimmt man das Eisen, indem man das Eisenchlorid durch Jodkalium reduziert und die Menge des ausgeschiedenen, im Überschusse von Jodkalium löslichen Jods durch Titrieren mit untergeschwefligsaurem Natron

unter Zusatz von Stärkekleister als Indikator bestimmt. Der chemische Prozeß ist dabei folgender:



Durch Einwirkung von Jod auf unterschweflige Salze bilden sich neben Metalljodüren tetrathionsaure Salze:



Um den Wirkungswert des unterschwefligsauren Natrons festzustellen, verwendet man zweckmäßig eine Lösung, die in 1000 cem ausgekochten destillierten Wassers 12 g des kristallisierten Salzes enthält. Man stellt nun eine Eisenchloridlösung in der Weise her, daß man 10,04 g blankgeputzten, dünnen, weichen Eisendraht (Blumendraht), entsprechend 10 g reinem Eisen, in einem schräggelegten, langhalsigen Kölbchen auf dem Wasserbade in reiner Salzsäure löst, die Lösung mit chlorsaurem Kali oxydiert, den Chlorüberschuß durch längeres mäßiges Kochen entfernt und die Lösung auf 1000 cem verdünnt. Ebenso schnell kommt man zum Ziel, wenn man in einem Teile einer käuflichen Lösung von reinem Eisenchlorid das Eisen durch Fällen mit Ammoniak und Wägen des Eisenoxyds bestimmt und dann einen Teil der Eisenchloridlösung derartig verdünnt, daß auf 1000 cem 10 g Fe kommen. Zwei Teile von je 10 cem dieser Eisenchloridlösung, welche je 0,1 g Fe enthalten, werden in weißen, geräumigen Porzellanbechern so lange mit verdünnter Natronlauge versetzt, bis eben Flocken von Eisenhydroxyd sich auszuschcheiden beginnen. Darauf fügt man 0,5–1 cem Salzsäure von 1,10 spezifischen Gewichtes hinzu, so daß die Lösung sich wieder klärt und schwach sauer reagiert. Zu der kalten Flüssigkeit bringt man nun je 3 g festes Jodkalium und rührt mit einem Glasstabe um, bis das Jodkalium sich gelöst hat und die anfangs gelbliche Farbe des Eisenchlorids einem tiefen Braunrot durch das ausgeschiedene Jod Platz gemacht hat. Man läßt nun aus einer graduierten Bürette so viel unterschwefligsaures Natron hinzufließen, bis die Flüssigkeit nur noch schwach weingelb erscheint. Darauf fügt man 0,5–1 cem ganz dünnen, frisch bereiteten Stärkekleister hinzu und läßt aus der Bürette langsam so viel unterschwefligsaures Natron zufließen, bis die schwarzblaue Farbe der Jodstärke eben verschwindet. Da aber die vollständige Reduktion des Eisenchlorids durch Jodkalium nur bei mäßiger Wärme stattfindet, so erwärmt man die Flüssigkeit im Porzellanbecher auf einem kleinen Flämm-

chen unter Einführung eines Thermometers bis auf $50-60^{\circ}\text{C}$. Die Flüssigkeit wird alsbald durch die neugebildete Jodstärke wieder dunkel gefärbt. Man läßt darauf tropfenweise aus der Bürette nochmals unterschwefligsaures Natron zufließen und erhält nun durch das plötzliche Verschwinden der Farbe eine scharfe und dauernde Endreaktion. Die verbrauchte Menge des unterschwefligsauren Natrons entspricht dem Jod, welches durch 0,1 g Eisen ausgeschieden ist und daher 0,1 g Eisen selbst, wenn dieses als Chlorid vorhanden war, demnach $0,1429\text{ Fe}_2\text{O}_3$.

Bei Bestimmung des Eisens in den 100 ccm der salzsauren Lösung verfährt man in ganz gleicher Weise. Die Tonerde erhält man aus der Differenz, indem man Eisenoxyd und Phosphorsäure von der Gesamtsumme abzieht.

Das gesamte Filtrat von dem zuerst erhaltenen Tonerde- und Eisenhydroxydniederschlag aus 300 ccm versetzt man bis zur Neutralisierung mit Ammoniak und sodann mit Schwefelammonium, wodurch das Mangan als Schwefelmangan gefällt wird. Nach 10 Minuten langem Kochen wird der Niederschlag abfiltriert, mit schwefelammoniumhaltigem Wasser ausgewaschen und nach dem Trocknen in einem gewogenen Glühiegel (Abb. 44) mit dem Filter verascht. Darauf fügt man etwas Schwefelblumen hinzu, erhitzt den Tiegel im Wasserstoffstrome und läßt ihn auch darin erkalten. Der grüne Rückstand im Tiegel besteht aus Mangansulfür (MnS), welches nach dem Erkalten im Exsikkator gewogen wird. Man berechnet das Mangansulfür auf die äquivalente Menge Manganoxyduloxyd, indem man es mit dem Faktor 0,877 multipliziert.

Mitscherlich, welcher das Eisen mit Natriumazetatlösung ausgefällt hat, scheidet das Mangan nach Versetzung des Filtrats mit Bromsalzsäure mit Ammoniak als Mangansuperoxydhydrat aus (32). v. Horvath (148) empfiehlt die kolorimetrische Bestimmung des Mangans; dieses wird durch Ammoniumpersulfat zu Permangansäure oxydiert, deren Konzentration dann durch Vergleich mit einer Permanganatlösung bekannter Stärke kolorimetrisch bestimmt wird. Gortner und Rost (126) bestimmen das Gesamt-mangan in Ackerböden in der Weise, daß sie mit Na_2CO_3 aufschließen, die Lösung der Schmelze mit H_2SO_4 ansäuern und mit wismutsaurem Natrium oxydieren. Es wird so das gesamte Mangan zu Permanganat oxydiert und als solches leicht kolorimetrisch bestimmt.

Bei manganarmen Böden kann man die Fällung des Mangans unterlassen. Man muß aber dann den Kalk- und Magnesia-niederschlag auf seine Reinheit prüfen, indem man ihn nach dem Wägen in Essigsäure löst und das zurückbleibende Mangan nach dem Glühen als Mn_3O_4 wägt.

Da sich bei obiger Methode die Kalkerde als Gips in Lösung befindet, so hat man bei größeren Kalkmengen darauf zu achten, daß das Flüssigkeitsvolumen, in welchem Eisenoxyd, Tonerde und Phosphorsäure gefällt wird, mehr als hinreichend ist, um allen Gips in Lösung zu erhalten.

Das Filtrat vom Schwefelammonium-Niederschlag wird unter einem Abzuge mit Salzsäure übersättigt und so lange gekocht, bis der anfangs milchig ausgeschiedene Schwefel sich am Boden zusammengeballt hat, so daß die überstehende Flüssigkeit klar ist. Der Schwefel wird abfiltriert, das Filter ausgewaschen und im Filtrat die Kalkerde, die Magnesia und die Alkalien, von denen die letzteren durch Abdampfen der Lösung und Glühen des Rückstandes als Sulfate gewogen werden, in folgender Weise bestimmt.

Das mit Wasser stark verdünnte Filtrat wird bis zum Kochen erhitzt, mit einigen Tropfen Ammoniak versetzt und der Kalk durch Ammoniumoxalat gefällt. Nach 12 Stunden langem Stehen hat sich der weiße Niederschlag von Kalziumoxalat völlig abgesetzt. Man gießt die überstehende Flüssigkeit durch ein Filter ab, wäscht den Niederschlag durch mehrmaliges Dekantieren mit kochendem Wasser im Becherglase aus und bringt ihn zuletzt auf das Filter. Die am Glase anhaftenden Teilchen des Niederschlags werden mit einem Glasstabe, über den man unten ein Stückchen schwarzen Kautschukschlauch oder eine Kautschukfahne gezogen hat, entfernt. Nun wird das Filter unter Anwendung der Spritzflasche mit kochendem Wasser ausgewaschen. Man ist fertig, wenn ein ablaufender Tropfen beim Verdampfen auf dem Platinblech keinen merklichen Rückstand hinterläßt.

Der oxalsaure Kalk wird getrocknet, dann vom Filter ab-

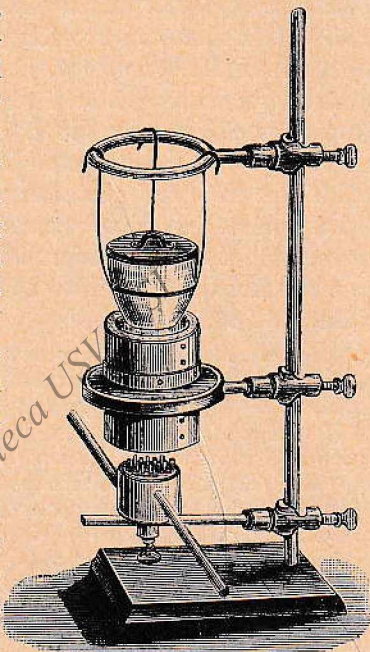


Abb. 49. Gebläsebrenner nach Sonnenschein.

gelöst und in einen gewogenen Platintiegel gebracht, während man das Filter zusammenfaltet und auf dem Deckel des Tiegels für sich verascht. Darauf bringt man die Asche in den Platintiegel hinein, was am besten mit Hilfe eines Pinsels geschieht, und erwärmt den Tiegel bei aufgelegtem Deckel ganz allmählich bis zum Glühen. Um das bei schwachem Glühen gebildete Kalziumkarbonat völlig in Kalziumoxyd überzuführen, ist es notwendig, den Tiegel 10 Minuten lang einer starken Rotglut über dem Gebläse auszusetzen (Abb. 49). Der heiße Tiegel muß im Exsikkator erst völlig erkaltet sein, ehe man ihn wägt. Da der Ätzkalk hygroskopisch ist, so muß die Wägung möglichst schnell geschehen. Man tut überhaupt gut, bei allen hygroskopischen Substanzen die Wägung zweimal auszuführen, indem man die Gewichte der ersten Wägung auf der Wage stehen läßt, den Tiegel mit der Substanz nochmals erhitzt und ihn nach dem Erkalten im Exsikkator zum zweiten Male wägt. Um die entsprechende Menge Kalziumkarbonat zu erfahren, multipliziert man die Anzahl der gewogenen Gramme Kalziumoxyd mit dem Faktor 1,786.

Da der Ätzkalk sehr hygroskopisch ist, empfiehlt Mitscherlich (32) bei sehr exakten Kalkbestimmungen die Überführung desselben in kohlensauren Kalk und die Wägung als solchen. Zu dem Zweck wird der oxalsaure Kalk im Rose-Tiegel im CO_2 -Strome geglüht. Multipliziert man die Menge des gefundenen kohlensauren Kalks mit 0,56, so erhält man die Ätzkalkmenge.

Goy (127) beläßt das Ammonoxalat auf dem Wasserbade bis zum völligen Absetzen, filtriert in den gewogenen Goochtiegel und wäscht mit heißem Wasser zwei- bis viermal aus, bis keine Oxalatreaktion mehr im Filtrat eintritt. Dann trocknet man bei 105°C , wozu 4—5 Stunden genügen, und rechnet die gefundene Menge $\text{Ca}(\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O}$ (= 146,07) auf CaO um (Faktor 0,3838).

Das Filtrat vom oxalsauren Kalk wird in einem geräumigen Platintiegel eingedampft und nach dem Trocknen, das man durch fortwährendes Umrühren der Salze mit einem Platinspatel wesentlich beschleunigen kann, zur Vertreibung des überschüssigen Salmiaks schwach geglüht. Den verbleibenden Rückstand übergießt man, ohne ihn in Wasser aufzunehmen, mit einer gesättigten Lösung von Ammoniumkarbonat im Überschuß und zerrührt ihn fleißig mit dem Glasstabe, damit sich der feste Rückstand in der Flüssigkeit gleichmäßig löse. Man bereitet die Lösung in der Weise, daß man 230 g sublimiertes anderthalbkohlensaures Ammoniak in 180 ccm Ammoniak von 0,92 spezifischem Gewicht löst und so viel Wasser hinzufügt, daß die Flüssigkeit gerade 1 Liter beträgt. Ist viel Magnesia vor-

handen, so entsteht zuerst ein voluminöser Niederschlag, der sich jedoch beim Umrühren wieder vollständig löst. Man läßt nun die Flüssigkeit 24 Stunden lang unter einer Glasglocke an einem kühlen Ort ruhig stehen, während welcher Zeit sich ein feiner kristallinischer Niederschlag abscheidet, der aus einem kohlensauren Doppelsalze von Ammonium und Magnesium besteht:

$$(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{CO}_3)_2 + 4 \text{H}_2\text{O}.$$

Das Salz wird abfiltriert, mit obiger Lösung von kohlensaurem Ammoniak ausgewaschen und, wenn ein ablaufender Tropfen beim Verdampfen auf dem Platinbleche keinen Rückstand mehr hinterläßt, im Trockenschränke bei 100°C getrocknet. Der Niederschlag wird mit dem Filter im Platintiegel erhitzt und, nachdem das Filter verkohlt ist, stark geglüht, wobei man dem Tiegel eine schräge Lage gibt. Der Niederschlag, welcher aus Magnesia besteht, muß nach dem Glühen völlig weiß aussehen. Er enthält jedoch häufig, besonders wenn man den Boden nicht mit Wasser, sondern mit Salzsäure ausgezogen hat, Verunreinigungen von geringen Mengen Tonerde, Kieselsäure, Manganoxhydroxydul, Platin usw. Um die Magnesia hiervon zu befreien, übergießt man den geglühten Niederschlag im Platintiegel mit starker Essigsäure und erwärmt ihn mehrere Stunden auf kochendem Wasserbade. Die Essigsäure löst die Magnesia, man verdünnt mit heißem Wasser, setzt Chlorammonium hinzu, neutralisiert mit Ammoniak, filtriert, verascht, glüht und wägt die restierenden Verunreinigungen, welche man vom Gesamtgewicht in Abzug bringt.

Das Filtrat von dem Ammonium-Magnesiumkarbonatniederschlage enthält die Alkalien. Man bringt es in eine geräumige Platinschale, welche mit einem Uhrglase überdeckt und auf dem Wasserbade erhitzt wird. Sobald die Zersetzung des Ammoniumkarbonats eintritt, stellt man die Flamme etwas kleiner, um ein etwaiges Übersäumen der Flüssigkeit zu vermeiden, und erhitzt letztere so lange, bis keine Kohlensäurebläschen mehr aus ihr entweichen. Darauf entfernt man das Uhrglas, spritzt es mit destilliertem Wasser ab und dampft die Flüssigkeit in einer kleineren gewogenen Platinschale auf dem Wasserbade ein. Den Rückstand befeuchtet man mit einigen Tropfen Salzsäure, dampft wieder ein und trocknet die bedeckte Platinschale im Trockenschränke bei allmählich bis zu 200°C gesteigerter Temperatur. Dadurch vermeidet man, daß beim Glühen des Salzes im Platinschälchen durch das Verpuffen de

im Kochsalz eingeschlossenen Wassers ein Verlust entsteht. Man glüht den Platintiegel nur schwach, da die Chloride der Alkalien schon bei starker Rotglut flüchtig sind, und wägt ihn nach dem Erkalten im Exsikkator. Dieses schwache Glühen der Alkalichloride hat man zu wiederholen, bis Gewichtskonstanz eintritt. Auf diese Weise erfährt man die Summe der Chloride von Kalium und Natrium.

Um das Kalium vom Natrium zu trennen, nimmt man die Chloride mit einigen Tropfen Wasser auf, und fügt eine Lösung von Platinchlorid im Überschuß hinzu. Darauf dampft man die Flüssigkeit in einer ammoniakfreien Atmosphäre auf

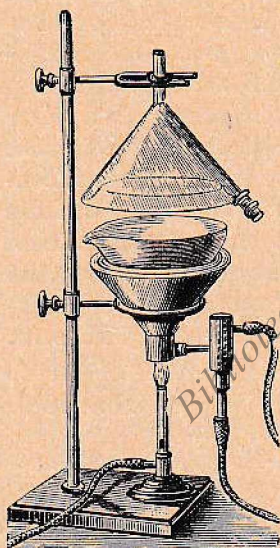


Abb. 50. Bedecktes Wasserbad mit konstanter Wasserzuleitung.

einem bedeckten Wasserbade¹⁾ (Abbildung 50) ein, bis sie Sirupkonsistenz besitzt und das Platinchlorid sich in ihr kristallinisch auszuschcheiden beginnt. Nach dem Erkalten fügt man einen Teil einer Mischung von 55 cem absolutem Alkohol und 15 cem Äther hinzu und läßt die Flüssigkeit unter mehrfachem Umrühren mit einem Glasstabe 12 Stunden lang unter einer Glasglocke stehen. Darauf filtriert man sie durch ein gewogenes Filter und wäscht den darauf zurückbleibenden Niederschlag mit etwas ätherhaltigem Alkohol aus, bis die ablaufende Flüssigkeit nicht mehr gefärbt ist. Ammoniakdämpfe in der Luft wirken bei der Fällung mit PtCl_4 nachteilig.

Eine größere Anzahl gewogener Filter läßt sich am besten in der Weise herstellen, daß man mehrere zuerst mit verdünnter Salzsäure behandelte und nachher mit destilliertem Wasser völlig ausgesüßte Filter anhaltend im Trockenschranke bei 100°C trocknet, dann heiß in ein ebenfalls auf 100°C

¹⁾ Das Abdampfen auf bedecktem Wasserbade ist überhaupt sehr zu empfehlen, da in den Abdampfäumen leicht Substanzen in die Abdampfschalen hineinfallen können. Die kondensierten Wasserdämpfe aus der Abdampfschale verdichten sich zum Teil in dem übergehängten Glastrichter, können jedoch nicht in die Schale hineintropfen, da der Trichterrand nach innen zu umgebogen ist und das kondensierte Wasser sich in der dadurch gebildeten Rinne ansammelt. Aus dieser muß es von Zeit zu Zeit abgelassen werden.

erhitztes Wägegläschen bringt und letzteres nach dem Erkalten wägt. Durch sukzessives Herausnehmen der Filter und jedesmaliges Zurückwägen des Gläschens erhält man die Gewichte der Filter, die man zweckmäßig mit Bleistift darauf schreibt.

Der auf dem Filter gut ausgewaschene Niederschlag von Kaliumplatinchlorid (Pt_6ClK_2) wird bei 100°C getrocknet, mit dem Filter heiß in ein Wägeröhrchen eingeschlossen und nach dem Erkalten gewogen. Zieht man das Gewicht des Wägeröhrchens und des Filters von dem zuletzt erhaltenen Gewichte ab, so erhält man die Menge des vorhandenen Kaliumplatinchlorids. Um die ihm äquivalente Menge Kali zu erhalten, multipliziert man mit dem Faktor 0,194.

Anstatt das Kaliumplatinchlorid auf einem gewogenen Filter zu wägen, kann man dieses Salz auch zersetzen und das Kali aus dem erhaltenen Platin bestimmen. Man fügt in diesem Falle zu dem im Filter befindlichen Niederschlage etwas reine Oxalsäure hinzu und verglüht die Masse in einem gewogenen Porzellan-
glühtiegel mit Deckel (Abb. 51), indem man zuletzt, um alles Platin zu reduzieren, einen Wasserstoff- oder Leuchtgasstrom darauf leitet und die Substanz in diesem erkalten läßt. Das Platin wird, um das Chlorkalium zu entfernen, mit Wasser durch mehrmaliges Dekantieren oder durch Absaugen des Waschwassers mit einer Pipette im Tiegel ausgewaschen und nach dem Trocknen und abermaligen Glühen gewogen. Man muß das Platin mit dem Faktor 0,484 multiplizieren, um die äquivalente Menge Kali (K_2O) zu erhalten.



Abb. 51. Porzellan-
glühtiegel mit durch-
lochtem Deckel.

Um das Natron zu erfahren, berechnet man das Kali auf Chlorkalium, indem man es mit dem Faktor 1,582 multipliziert, zieht das Chlorkalium von der Summe der Chloride ab und multipliziert das so erhaltene Chlornatrium mit dem Faktor 0,531.

Sind viel Sulfate unter den im Wasser löslichen Bodensalzen vorhanden, was bei stark gipshaltigen Böden der Fall sein kann, so tut man besser, nach dem Ausfällen der Magnesia mit Ammoniumkarbonat und nach dem Abdampfen der Lösung dieser ein paar Tropfen Schwefelsäure hinzuzufügen und darauf im gewogenen Platinschälchen stark zu glühen. Um die sauren schwefelsauren Salze der Alkalien in neutrale überzuführen,

bringt man einige Kristalle Ammoniumkarbonat in das Schälchen, erwärmt erst gelinde, dann glüht man. Das Glühen kann zuletzt bis zur angehenden Rotglut geschehen, da die Sulfate der Alkalien sehr feuerbeständig sind. Nach dem Wägen löst man die Sulfate im Wasser, versetzt sie mit Platinchlorid und dampft die Lösung auf dem Wasserbade bis zur Sirupkonsistenz ein. Darauf löst man die Masse nach Finkeners (7) Vorschrift in einer Mischung, welche auf 30 ccm Salzsäure 150 ccm absoluten Alkohol und 35 ccm wasserfreien Äther enthält. Nachdem das Ganze eine Stunde gestanden, wird der Niederschlag auf ein gewogenes Filter gebracht und mit einem Gemisch von Salzsäure, Alkohol und Äther in dem angegebenen Verhältnis ausgewaschen, bis die Flüssigkeit klar abläuft. Darauf wäscht man, um die Salzsäure zu entfernen, mit ätherhaltigem Alkohol nach, trocknet das Filter bei 100°C und wägt es mit dem darauf befindlichen Kaliumplatinchlorid in der Seite 125 angegebenen Weise.

Um in diesem Falle das Natrium zu erfahren, multipliziert man das Kali mit dem Faktor 1,849, zieht das so erhaltene Kaliumsulfat von der Summe der Sulfate ab und multipliziert das restierende Natriumsulfat mit dem Faktor 0,437.

Anstatt in beiden Fällen das Kaliumplatinchlorid mit dem Filter direkt zu wägen, kann man auch folgende Methode einschlagen, besonders, wenn man sieht, daß das Kaliumplatinchlorid durch Beimengungen verunreinigt ist.

Man löst das Kaliumplatinchlorid auf dem Filter durch heißes Wasser und filtriert in ein Becherglas. Zu der heißen Lösung setzt man gelbes Schwefelammonium, kocht auf und fügt Salzsäure in solchem Überschuß hinzu, daß sie mehr als doppelt genügt, um das vorhandene Schwefelammonium zu zersetzen. Dann kocht man weitere zehn Minuten, filtriert den ausgeschiedenen Niederschlag ab und glüht ihn im Porzellantiegel, wobei man reines Platin erhält.

G. Rotter (235) bestimmt das Kali jodometrisch, eine Methode, die nach Mitscherlich (32) vielleicht zur Bestimmung geringer Mengen von Kali brauchbar sein dürfte. Es sei auf die diesbezügliche Literatur verwiesen.

Marshall (186) bestimmt das Kalium in Bodenausügen nach folgender Methode: Die von sonstigen Basen, P_2O_5 und SiO_2 freie Lösung, in der die Alkalien nur als Chloride enthalten sein dürfen, wird zu einem aliquoten Teil (etwa 0,05 K_2O entsprechend) in ein Becherglas pipettiert und auf dem Wasserbade zur Trockne eingedampft. Den Rückstand löst man in möglichst wenig Wasser (2—3 Tropfen) und fällt kalt mit einem Überschuß an 2%iger alko-

holischer Weinsäure (20 cem), die mehrere Tage über festem Kaliumbitartrat (unter häufigem Umschütteln) gestanden hat und dann abfiltriert wurde. Nach dem Fällen gibt man noch 10 bis 20 cem 96%igen kalibitartrathaltigen Alkohol zu und kocht etwa 10 Minuten lang auf dem Wasserbade auf, sodann läßt man das Becherglas unter mehrfachem Umschütteln 24 Stunden lang bedeckt stehen, filtriert dann durch einen gewogenen Goochtiigel, wäscht mit kalibitartrathaltigen Alkohol und zuletzt mit reinem Alkohol aus, trocknet bei 80° C und wägt als Kalibitartrat. Durch Division mit 3,992 erhält man die entsprechende Menge K_2O .

Nach O. M. Shedd (249) wird das Gesamtkali nach folgender Schnellmethode bestimmt: 1 g des fein gemahlenden Materials wird mit 1 g Chlorammonium und 8 g Kalziumkarbonat innig vermischt und im Platintiegel erhitzt. Die Masse wird dann mit heißem Wasser aufgenommen, ein beliebiger Teil des Filtrates mit einem Gehalte von etwa 0,01—0,02 g K mit Essigsäure angesäuert und auf ein Volumen von 10—15 cem eingedampft. Hierauf fällt man mit 10 cem Kobaltnitrit, setzt 25 cem kaltes Wasser hinzu, filtriert, wäscht aus und oxydiert mit einem gemessenen Überschuß von $\frac{1}{10}$ n-Kaliumpermanganatlösung. Die dunkle Lösung, in der Manganhydroxyd suspendiert ist, wird mit einem gemessenen Überschuß von $\frac{1}{10}$ n-Oxalsäure erwärmt, bis sie völlig farblos ist. Schließlich wird wiederum mit $\frac{1}{10}$ n-Permanganatlösung zurücktitriert.

Wityn (280) hat vergleichende Untersuchungen über die Bestimmung des Kalis mittels Überchlorsäure- und Natriumkobaltnitritmethode angestellt.

Will man die Menge der beim Salzsäureauszug in löslicher Form abgeschiedenen Kieselsäure ermitteln, so muß man sowohl diejenige Kieselsäure wägen, welche in der Salzsäure gelöst und beim Abdampfen derselben unlöslich abgeschieden worden ist, als auch diejenige, welche in löslicher Modifikation im Boden zurückgeblieben ist. Man kocht zu diesem Zwecke den Bodenrückstand vom Salzsäureauszuge 15 Minuten lang auf dem Wasserbade mit einer 5%igen Natriumkarbonatlösung aus, der man 0,5% Ätznatron beigefügt hat. Darauf wird der Boden abfiltriert und das Filtrat mit Salzsäure übersättigt, indem man ein Uhrglas darüber deckt und die Säure langsam zutropfeln läßt. Der zur staubigen Trockne abgedampfte, kurze Zeit im Luftbade auf 120° C erhitzte Rückstand wird mit Salzsäure aufgenommen, mit destilliertem Wasser verdünnt und die unlöslich abgeschiedene Kieselsäure in der S. 94—95 angegebenen Weise gegluht und gewogen.

Will man in einem aliquoten Teile des meist stark eisenhaltigen Auszuges des Bodens mit kochender konzentrierter Salzsäure den Schwefelsäuregehalt bestimmen, so empfiehlt es sich, nach den Versuchen von Th. Pfeiffer und R. Riecke (217), die filtrierte Flüssigkeit zuvor mit Zink unter Zusatz einiger Tropfen Platinchlorid zu reduzieren und dann erst die

Schwefelsäure mit Chlorbarium zu fällen, weil beim Vorhandensein reichlicher Mengen von Ferrichlorid unlösliche Doppelverbindungen von Barium-Ferrisulfat sich abscheiden. Der Niederschlag von BaSO_4 wird zur Entfernung der geringen Mengen von Eisen und Zink in dem zur Fällung benutzten Becherglase durch wiederholtes sorgfältiges Dekantieren mit heißem Wasser ausgewaschen, der Rückstand mit konzentrierter Salzsäure längere Zeit im Wasserbade digeriert, die Säure verjagt und das Filtrat nach Hinzufügen von 200–300 ccm heißen Wassers und 20 Tropfen BaCl_2 in gewöhnlicher Weise behandelt. Der etwa noch entstehende Niederschlag wird zum ersterhaltenen hinzugefügt.

de Sornay (258) bestimmt die Schwefelsäure in Böden, indem er 10 g Boden mit 1 g KNO_3 und 5 ccm Wasser mischt, auf dem Sandbade zur Trockne eindampft, glüht und den Rückstand mit 25 ccm HCl auf dem Sandbade zur vollständigen Trockne bringt. Sodann wird mit 20 ccm HCl und 5 ccm Wasser wieder aufgenommen, stark erhitzt, jedoch nicht ganz bis zur Trockne 30–45 Minuten auf dem Sandbade filtriert und bis zur Gesamtmenge von 100–125 ccm ausgewaschen. Man fügt dann BaCl_2 zu, erhitzt, konzentriert ein wenig und verfährt weiter wie üblich.

Die Bestimmung der Phosphorsäure.

a) Die Fällung der Phosphorsäure mit Ammoniummolybdat und Wägung als Magnesiumpyrophosphat.

Die zur Fällung der Phosphorsäure erforderliche Lösung von Ammoniummolybdat erhält man dadurch, daß man 40 g dieses Salzes ($[\text{NH}_4]_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} + 4 \text{H}_2\text{O}$) in 80 ccm konzentriertem Ammoniak und 320 ccm destilliertem Wasser auflöst und die Flüssigkeit in eine Mischung von 480 ccm Salpetersäure (1,18 spezifisches Gewicht) und 120 ccm Wasser langsam unter stetigem Umrühren hineingießt.

Von der so dargestellten Lösung gibt man eine reichliche Menge zu der zu untersuchenden Flüssigkeit hinzu und läßt die Mischung 12 Stunden lang stehen. Während dieser Zeit hat sich die Phosphorsäure als phosphormolybdänsaures Ammoniak in Form eines gelben körnig-kristallinen Niederschlages abgeschieden. Man hebt nun von der überstehenden klaren Flüssigkeit einen kleinen Teil ab und prüft, ob bei nochmaligem

Zusatz von Molybdänlösung und längerem Stehenlassen sich abermals ein Niederschlag bildet. Ist dies der Fall, so schüttet man die Probe zum Ganzen, fügt aufs neue Molybdänlösung hinzu und läßt wiederum 12 Stunden lang stehen.

Die überstehende Flüssigkeit wird sodann durch ein kleines Filterchen abgossen und der Niederschlag im Becherglase durch wiederholtes Dekantieren mit einer Mischung von 100 Teilen Molybdänlösung, 20 Teilen Salpetersäure von 1,2 spezifischem Gewicht und 80 Teilen Wasser ausgewaschen. Das zuletzt durch das Filter ablaufende Waschwasser darf, wenn man sicher sein will, daß sich alles Eisen im Filtrat befindet, beim Versetzen mit Ammoniak keinen Niederschlag geben. Man stellt nun das Becherglas, welches den ausgewaschenen Niederschlag enthält, unter den Trichter, löst den auf dem Filter befindlichen Teil des Niederschlages in ein paar Tropfen konzentriertem Ammoniak auf und wäscht das Filter mit einer Mischung von 1 Volum Ammoniak und 3 Volum Wasser aus. Löst sich der im Becherglase befindliche Niederschlag nicht völlig klar auf, so muß man die Flüssigkeit nochmals durch das Filter gießen, ehe man es auswäscht. Löst sich der gelbe Niederschlag nicht völlig in NH_3 auf, so kann nach Hornberger (147) die Ausscheidung von Titansäure herrühren, deren quantitative Bestimmung am besten nach der auf die Titan-Wasserstoffsuperoxyd-Reaktion begründeten Methode von A. Weller — vgl. Geilmann (124) — geschieht. Zu dem klaren Filtrat setzt man tropfenweise Salzsäure hinzu, bis der dabei entstehende gelbe Niederschlag erst nach wiederholtem Umschütteln wieder verschwindet. Darauf fällt man die Phosphorsäure mit Magnesiamixtur als phosphorsaure Ammoniakmagnesia. Die Magnesiamixtur erhält man durch Auflösen von 1 Teil kristallisiertem Magnesiumsulfat, 2 Teilen Chlorammonium, 8 Teilen Wasser und 4 Teilen Ammoniak. Der Niederschlag wird, wie dies S. 63 angegeben worden, mit ammoniakhaltigem Wasser ausgewaschen, getrocknet, geglüht und als pyrophosphorsaure Magnesia gewogen. Um daraus die Phosphorsäure (P_2O_5) zu berechnen, multipliziert man die gewogene Menge mit dem Faktor 0,638.

Bei titanhaltigen Böden bestimmt man die Phosphorsäure zweckmäßig nach den Berger (78), welcher den mit NH_3 gefällten Niederschlag des salzsauren Bodenextrakts (vgl. S. 118) trocknet und mit Soda schmilzt. Auf dem Filter bleiben nach dem Auswaschen Fe_2O_3 und alles Titan in Form von saurem

Natriumtitanat zurück, und zwar frei von Phosphorsäure. Letztere wird im Filtrat nach der üblichen Methode bestimmt.

Auld (68) löst den Phosphormolybdänsäure-Niederschlag in verdünntem NH_3 und fällt im Filtrat durch Zusatz von HNO_3 (1 S. : 2 W.) im Überschuß und läßt nochmals einige Zeit mit 5 cem NH_3 -Molybdänsäurelösung stehen. Dann wird schnell durch einen Goochtiiegel filtriert, mit 1%iger HNO_3 nachgewaschen, getrocknet und gegläht, bis der Rückstand eine gleichmäßig blaue Färbung und konstantes Gewicht erlangt hat. Der Faktor zur Umrechnung des erhaltenen Gewichts beträgt im Mittel 0,0396, entsprechend der Formel $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{Mo}_3\text{O}_8 \cdot 21\text{MoO}_3$.

β) Die Bestimmung der Phosphorsäure nach R. Finkener als phosphormolybdänsaures Ammonium.

Bei dieser Methode (112) umgeht man die Fällung der Phosphorsäure durch Magnesiamixtur und hat außerdem den Vorteil, daß man bei Anwesenheit von sehr geringen Mengen Phosphorsäure immer noch ein verhältnismäßig hohes Gewicht auf die Wage bringt.

Man dampft die phosphorsäurehaltige Lösung nach Abscheidung etwa vorhandener Kieselsäure ein, nimmt den Rückstand mit so viel Wasser und Salpetersäure (eventuell unter Zugabe weniger Tropfen Salzsäure) auf, daß er selbst in der Kälte gelöst bleibt. Nun fügt man zu der kalten Lösung je nach der Menge der Phosphorsäure 25–100 cem Molybdänsäurelösung und läßt, ohne zu erwärmen, ungefähr eine Stunde lang stehen. Die Molybdänsäurelösung darf nach Finkener höchstens zu $\frac{2}{3}$ ihres Gehaltes zur Bildung des phosphormolybdänsauren Ammoniums verbraucht werden. Alsdann setzt man so viel festes Ammoniumnitrat hinzu, daß auf 1000 cem der Lösung mindestens 25 g kommen. Nach 12–18 Stunden hat sich die Phosphorsäure als phosphormolybdänsaures Ammonium vollständig ausgeschieden. Man bringt nun den Niederschlag auf ein kleines Filter und wäscht ihn mit einer Lösung von Ammoniumnitrat aus, welche 20 % dieses Salzes enthält, und welche man zu Anfang mit $\frac{1}{33}$ Volum Salpetersäure vermischt. Das Auswaschen ist beendet, wenn die ablaufende Lösung durch Ferrozyankalium nicht mehr gefärbt wird.

Nachdem man den größten Teil des Ammoniumnitrates durch Auswaschen mit wenig Wasser entfernt hat, spritzt man den Niederschlag mittels einer Spritzflasche vom Filter in einen gewogenen Porzellantiegel hinein, löst das am Papier Anhaftende mit etwas erwärmter Ammoniakflüssigkeit, konzentriert diese Lösung durch Eindampfen, übersättigt sie mit Salpetersäure

und bringt sie ebenfalls in den Porzellantiegel hinein. Nachdem die Flüssigkeit zuerst auf dem Wasserbade eingedampft ist, setzt man den Tiegel mittels eines Dreiecks auf ein Finkenersches Trockenstativ (Abb. 52), bei welchem die Flamme durch drei übereinander befindliche verschiedene Drahtnetze abgekühlt wird. Um das Ammoniumnitrat zu vertreiben, braucht man nur gelinde zu erhitzen. Die Operation ist beendet, wenn ein über das Tiegelchen gedecktes reines Uhrglas nicht mehr beschlägt. Das im Tiegel zurückbleibende phosphormolybdänsaure Ammonium enthält auf 1 Teil Phosphorsäure (P_2O_5) 24 Teile Molybdänsäure (MoO_3). Es wird noch heiß in einen mit Schwefelsäure gefüllten Exsikator gestellt und nach dem Erkalten schnell gewogen, da es hygroskopisch ist. Um das Salz auf die entsprechende Menge Phosphorsäure (P_2O_5) zu berechnen, multipliziert man die gewogene Menge mit dem Faktor 0,03794.

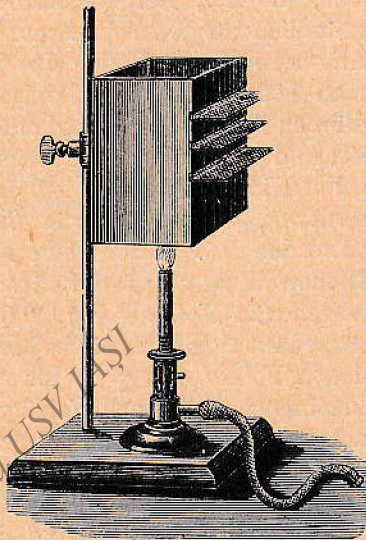


Abb. 52. Trockenstativ nach Finkener.

Ähnlich ist die Methode von Prescott (225), der aber u. a. die Phosphorsäure bei $55^\circ C$ fällt.

γ) Die Bestimmung der Phosphorsäure nach
E. A. Mitscherlich.

Mitscherlich (32) engt die Phosphorsäurelösung auf etwa 25ccm ein, erhitzt zum Sieden und versetzt mit 25ccm Molybdänlösung langsam unter ständigem Umschwenken der Flüssigkeit. (Er bedient sich hierbei einer Modifikation der Stutzer-Wagnerschen Molybdänlösung, um an Reagenzien zu sparen, indem er 300 g molybdänsauren Ammons mit etwa 1,5 l destilliertem Wasser zum Sieden erhitzt, bis zur völligen Lösung des Salzes.) Diese Lösung wird sodann in 2 l Salpetersäure von 1,19 spez. Gew. eingegossen (nicht umgekehrt!). Man fügt dann 400 g festes Ammonnitrat dazu und füllt das Ganze zu 4 l auf. Die Flüssigkeit wird darauf im Wasserbade langsam auf 60° erhitzt.

Man läßt sie dann erkalten und filtriert sie durch eine Pukallsche Zelle. Nach der Fällung der Phosphorsäure durch Molybdänlösung ist das Umschwenken der Flüssigkeit noch wenigstens 2 Minuten lang fortzusetzen. 2 Stunden nach der Fällung darf man dann frühestens den Niederschlag in einen Platin-Neubauer-Tiegel überführen. Auf diesem wird er mit einer Waschflüssigkeit, die 1% Salpetersäure und 5% Ammonitrat enthält, gründlich ausgewaschen und zum Schluß mit einigen Tropfen Alkohol auf den Boden des Tiegels gespült. Den Tiegel setzt man sodann in einen weiten Porzellantiegel, der mit einer dünnen Asbestschicht und einem kleinen Porzellanrost beschickt ist, und glüht über dem Bunsenbrenner erst allmählich, bis der gelbe Niederschlag rot ist, dann bei voller Flamme unter Bedeckung, bis er blaugrün (in sehr dünner Schicht gelbgrün) geworden ist. Nach dem Erkalten im Exsikkator wird der Niederschlag als molybdänsaures Phosphorsäureanhydrit gewogen ($24 \text{ MoO}_3, \text{P}_2\text{O}_5$). $0,03946 = \text{P}_2\text{O}_5$. — 1 mg Phosphorsäure läßt sich nach dieser Methode noch mit einem wahrscheinlichen Fehler von ± 1 bis $\pm 2\%$ bestimmen. — Sollte kein Platingoochtiegel zur Verfügung stehen, so daß die Filtration durch einen mit Asbest beschickten Neubauer-Porzellantiegel erfolgen muß, so empfiehlt Stutzer, nach dem Auswaschen das Wasser durch Alkohol aus Niederschlag und Asbestschicht zu verdrängen und den Tiegel dann 30 Minuten lang bei 105°C zu trocknen und zu wiegen. Der Faktor zur Umrechnung des gelben Niederschlags auf P_2O_5 ist dann 0,03513. Durch die geringere Erhitzung soll ein Bersten der Tiegel vermieden werden.

B. Die Bestimmung einiger für die Pflanzenernährung wichtiger Stoffe, welche in den angegebenen Bodenauszügen nicht oder nur teilweise bestimmt werden können.

1. Die Bestimmung des Gesamtstickstoffes im Boden.

a. Die Kjeldahlsche Methode.

Die von J. Kjeldahl (164) angegebene, von Wilfart (278) verbesserte Methode beruht darauf, daß die trocken anzuwendende Substanz durch das längere Kochen mit einer reichlichen Menge konzentrierter Schwefelsäure derartig verändert wird,

daß bei der darauffolgenden Oxydation mit trockenem, pulverförmigem Kaliumpermanganat sämtlicher Stickstoff in Ammoniak übergeführt wird. Die Methode ist von Wahnschaffe der Bodenuntersuchung angepaßt worden.

Die bei 100° C getrocknete Substanz wird aus einem langen, dünnen Wägeröhrchen durch schräge Neigung in einen 100 ccm enthaltenden Kolben aus Resistenzglas hineingeschüttet, wobei man möglichst vermeidet, daß etwas Substanz im Halse hängen bleibt. Man wendet bei Humus- und Torfböden 0,5–1, bei humosen Sandböden und Schlickten 2–5 g des feingepulverten Bodens an. Darauf fügt man 20 ccm

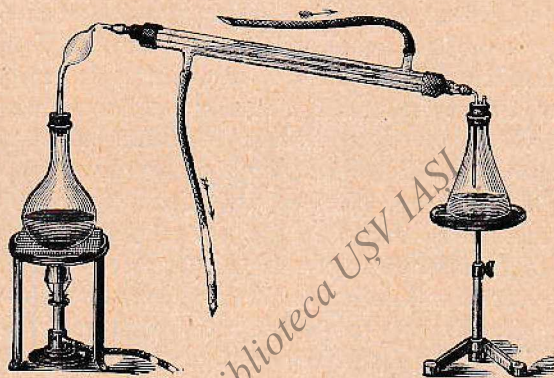


Abb. 53. Destillierapparat mit Glaskühler.

eines Gemisches von 16 Vol. reiner konzentrierter Schwefelsäure, 4 Vol. reiner rauchender Schwefelsäure und 2 g Phosphorsäureanhydrid hinzu und kocht die Flüssigkeit auf dem Sandbade, indem man das Kochfläschchen in eine schräge Lage bringt, so lange, bis sie eine weingelbe Farbe angenommen hat. Darauf entfernt man die Flamme, läßt etwas abkühlen, und fügt zu der noch heißen Lösung trocknes, pulverförmiges Kaliumpermanganat in ganz kleinen Portionen im Überschuß hinzu, bis die Lösung eine blaugrüne Farbe angenommen hat.

Durch eine von Gunning (162) angegebene und von Atterberg (71) erprobte Modifikation der Kjeldahlschen Stickstoffbestimmungsmethode wird die Oxydation der organischen Substanz und die Überführung des organisch gebundenen Stickstoffs in Ammoniumsulfat beschleunigt. Danach werden 1–2 g der Substanz mit 20 ccm konzentrierter Schwefel-

säure im 250-cem-Kölbchen bis zum Kochen erhitzt und sodann 15—18 g Kaliumsulfat sowie 1 g Quecksilber hinzugefügt. Die Flüssigkeit hat sich bereits nach 30 Minuten geklärt, wird aber noch 15 Minuten lang erhitzt, wodurch die Überführung des gesamten organischen Stickstoffs in Ammoniumsulfat gewährleistet ist. Die Verwendung des Quecksilbers bei der Oxydation erfordert den Zusatz von Schwefelkalium vor dem Abdestillieren des Ammoniaks.

Nach dem Erkalten wird die konzentrierte schwefelsaure Lösung in eine 1 l fassende Kochflasche übergeführt (Abb. 53) und mit destilliertem Wasser bis auf 200 cem verdünnt. Die Kochflasche wird mittelst eines Kautschukstopfens mit einer schräg ansteigenden, sich birnenförmig erweiternden Glasröhre verbunden, welche in einen Glaskühler einmündet. Vom anderen Ende des Kühlers führt ein Rohr in einen Erlenmeyerschen Kochbecher hinein. In dem Kochbecher befindet sich etwas verdünnte reine Salzsäure, in die man das Rohr jedoch nicht eintauchen läßt. Man öffnet nun den Kautschukstopfen, gießt zu der Flüssigkeit 80 cem Natronlauge hinzu, welche 50 g Ätznatron enthält, und setzt den Stöpsel schnell wieder auf die Kochflasche. Um das Stoßen beim Kochen zu vermeiden, dient ein Zusatz von feingranuliertem Zink. Nun destilliert man die Flüssigkeit eine halbe Stunde lang ab, während welcher Zeit das Ammoniak völlig ausgetrieben und von der in der Vorlage befindlichen Salzsäure aufgenommen wird. Letztere dampft man auf dem Wasserbade fast bis zur Trockne ein, spült sie mit 10 cem destilliertem Wasser in das Entwicklungsgefäß des Knop-Wagnerschen Azotometers und bestimmt den Stickstoff volumetrisch, indem man den Salmiak durch Bromlauge zersetzt (vgl. S. 141).

Bei salpetersäurehaltigen Böden muß man eine Modifikation der Methode nach Jodlbaur (157) in Anwendung bringen. Er benutzt eine Mischung von 1 l konzentrierter Schwefelsäure, 200 g Phosphorsäureanhydrid und 40 g Phenol. Er erreicht durch den Zusatz von Phenol, daß die Salpetersäure beim Kochen mit Schwefelsäure nicht flüchtig fortgeht, sondern auf das Phenol einwirkt, so daß Nitrophenol entsteht. Letzteres reduziert er dann durch Zusatz von Zinkstaub zu Amidophenol.

Förster (117) sucht dem Verluste von Nitrat durch weiteren Zusatz von unterschwefligsaurem Natron vorzubeugen, da er bei Anwendung von Phenolschwefelsäure allein immer noch zu geringe Werte erhielt.

Hat man den Stickstoffgehalt von einer größeren Reihe Moor- oder Torfböden zu bestimmen, so benutzt man am besten den in Abb. 54 abgebildeten Apparat. Das Kühlgefäß beim Destillieren wird durch einen mit Wasser gefüllten Kasten gebildet. In die Erlenmeyerschen Kochbecher bringt man zweckmäßig je 20 ccm titrierte $\frac{1}{10}$ Normalschwefelsäure, die bei Anwendung von 0,5 g bei 100° C getrockneter Ausgangssubstanz stets ausreichen, um alles entweichende Ammoniak zu binden.

Die Darstellung der Normalschwefelsäure geschieht in der Weise, daß man mittelst eines Aräometers sich eine Mischung von Wasser und Schwefelsäure herstellt, deren spezifisches Gewicht zwischen 1,032 und 1,033 liegt. Von der



Abb. 54. Apparat zur Kjeldahlschen Stickstoffbestimmung.

gut durcheinandergemischten und in einer verschlossenen Glasflasche aufzubewahrenden Säure werden, nachdem diese auf die Temperatur von 17,5° C gebracht ist, zweimal je 20 ccm aus einer Quetschhahnbürette möglichst genau entnommen und ihr Gehalt an Schwefelsäureanhydrid durch Fällung mit Chlorbarium in salzsaurer Lösung bestimmt. Erhält man bei beiden Analysen eine hinreichende Übereinstimmung, so nimmt man aus ihnen das Mittel und berechnet, wieviel Kubikzentimeter Wasser man zu einer abgemessenen Menge der Säure hinzusetzen muß, damit 1000 ccm genau 40,03 g Schwefelsäureanhydrid enthalten.

Die Verdünnung geschieht in der Weise, daß man einen Literkolben bis an die Marke mit der Säure füllt, deren Gehalt man durch die Analysen ermittelt hat. Die Temperatur der Säure wird auf 17,5° C gebracht. Darauf gießt man sie vor-

sichtig in eine große trockne Flasche, bringt die zur richtigen Verdünnung erforderliche Wassermasse in den Literkolben, schüttelt diese um und gießt die Flüssigkeit in die Glasflasche zurück. Nun bringt man die Hälfte der Flüssigkeit wieder in den Kolben, schwenkt ihn um, schüttet seinen Inhalt in die Flasche zurück und wiederholt dies noch zwei- bis dreimal, so daß die Flüssigkeit gleichmäßig gemischt wird.

Wird die so erhaltene Normalschwefelsäure derartig verdünnt, daß in 1000 ccm $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{10}$ äquivalente Schwefelsäureanhydrid in Grammen auf Wasserstoff = 1,01 bezogen enthalten sind, so bezeichnet man diese Verdünnung als $\frac{1}{5}$ oder $\frac{1}{10}$ Normalschwefelsäure.

Zur Sättigung der Normalschwefelsäure bedarf man einer Normalnatronlauge, d. h. einer Lauge von bekanntem Wirkungswert. Man löst 32–34 g reines kohlensäurefreies Natriumhydrat in einem Liter Wasser auf und versetzt 100 ccm davon mit 900 ccm Wasser. Darauf füllt man eine Quetschhahnbürette mit $\frac{1}{10}$ Normalschwefelsäure und eine andere mit der verdünnten Natronlauge. Man läßt nun genau 20 ccm Schwefelsäure in ein Becherglas ausfließen, verdünnt sie mit 100 ccm Wasser und versetzt die Flüssigkeit mit einigen Tropfen reiner Lackmüstinktur, bis sie schwach weinrot gefärbt ist. Mit gutem Erfolg wurde auch eine verdünnte Lösung von alizarinsulfonsaurem Natrium als Indikator benutzt. Dieses hat den Vorteil großer Unempfindlichkeit gegen die Kohlensäure und die bei der Destillation zuweilen nicht zu vermeidenden geringen Mengen Schwefelwasserstoff. Darauf läßt man unter stetigem Umrühren so viel Natronlauge zufließen, bis 1 Tropfen genügt, die Flüssigkeit im Becherglase eben blauviolett zu färben. Der Versuch wird so oft wiederholt, bis man genau dieselbe Anzahl Kubikzentimeter Natronlauge zur Hervorrufung der Farbenreaktion gebraucht. Man verdünnt nun die Natronlauge derartig, daß 1 ccm derselben 1 ccm $\frac{1}{10}$ Normalschwefelsäure sättigen.

Hat man nun bei Anwendung der Kjeldahlschen Methode während der Destillation des Ammoniaks 20 ccm $\frac{1}{10}$ Normalschwefelsäure und einige Tropfen der Indikatorlösung zur besseren Kontrolle im Erlenmeyerschen Kochbecher vorgelegt, so würden diese gerade 20 ccm Normalnatronlauge zu ihrer Sättigung erfordern. Nach der Ammoniakdestillation wird man beim Titrieren so viel Natronlauge weniger gebrauchen,

als Schwefelsäure an Ammoniak gebunden worden ist. Man kann daher aus der verbrauchten Menge Natronlauge das Ammoniak berechnen.

100 ccm der $\frac{1}{10}$ Normalschwefelsäure entsprechen 0,4003 g Schwefelsäureanhydrid und somit 0,1707 g Ammoniak oder 0,1404 g Stickstoff.

Seales und Harrison (239) schließen die Böden bei der Kjeldalmethode mit konzentrierter H_2SO_4 unter Zusatz von 1 g Salizylsäure auf 25 ccm H_2SO_4 auf. Nach $\frac{1}{2}$ stündigem Erhitzen gibt man 0,5 g Fe- oder Zn-Staub und 5 g einer Mischung von 20 K_2SO_4 , 2 $FeSO_4$, 1 $CuSO_4$ hinzu und kocht bis zum völligen Aufschluß. Das Destillat wird in Borsäurelösung aufgefangen und direkt mit H_2SO_4 gegen Bromphenolblau titriert.

E. A. Mitscherlich (32) hält folgende Methode für die beste: Eine abgewogene Menge Boden (5–10 g) + 20 ccm Wasser oder eine bestimmte Menge (bis 800 ccm) des N-haltigen Bodenausguges werden mit 3 g Devardaslegierung in einem 1 l fassenden Kjeldahlkolben gebracht. Dieser (Abb. 55a) wird mit einem doppelt tubulierten Gummistopfen versehen, durch dessen eine Tube ein Einfülltrichter (b) und durch dessen andere Tube ein Kugelrohr (c) durchgeführt wird, dessen freies Ende in ein nach unten gebogenes Rohr ausläuft, welches bis auf den Boden eines zweiten $\frac{1}{2}$ l-Kjeldahlkolbens (d) reicht. Bei der Einführung dieses Rohres in den zweiten Kolben wird ein Destillationskugelschluß (e) eingeschaltet. Der Kolben d wird mit der zum späteren Aufschluß erforderlichen Menge (z. B. 60 ccm) konzentrierter Schwefelsäure beschickt. Derselben müssen jedoch, um Glasbruch zu vermeiden, zuvor 20 ccm Wasser zugesetzt werden. Sodann wird in den ersten Kolben (a) durch den Aufsatz die erforderliche Menge (z. B. 50 ccm) konzentrierter Natronlauge

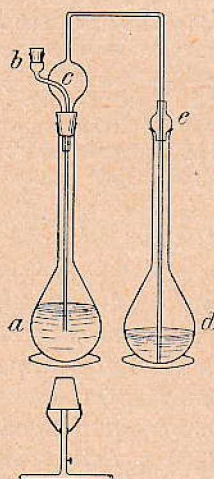


Abb. 55.

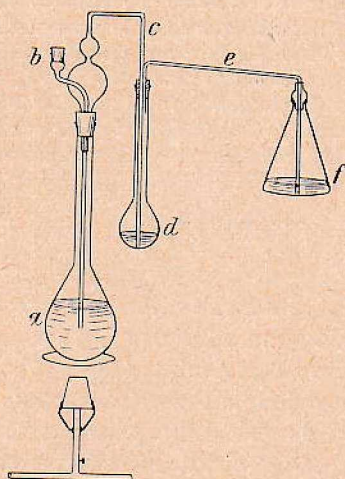


Abb. 56.

Apparate zur Stickstoffbestimmung im Boden (nach Mitscherlich).

eingbracht. Dieser Kolben (a) wird darauf (antangs mit sehr kleiner Flamme) erhitzt, und die Flüssigkeit möglichst weit abdestilliert. Sodann wird die Flamme entfernt. Die Schwefelsäure aus Kolben d steigt nun langsam und ruckweise in Kolben a zurück. Ist dieser Prozeß beendet, so erhitzt man den Kolben a noch wiederholt, treibt das überschüssige Wasser weg und spült gleichzeitig mit dem Dampf den Vorlegekolben d dreimal gründlich aus, indem man das kondensierte Wasser jedesmal zurücksteigen läßt. Man nimmt jetzt Kolben a ab und erhitzt die Flüssigkeit in ihm so lange, bis sie ganz klar und blaugrün geworden ist. Während in dem ersten Prozeß die Salpetersäure quantitativ in Ammoniak übergeführt wurde, werden nun durch Zerstörung der organischen Substanzen auch die organischen N-Verbindungen ganz in Ammoniak verwandelt, so daß sich jetzt im Kolben der gesamte Stickstoff in Form von schwefelsaurem Ammoniak befindet. Die so erhaltene Schmelze wird mit einem bestimmten Volumen (z. B. genau 600 ccm) destillierten Wassers versetzt und in diesem unter vorsichtigem Erwärmen gelöst. Bei der Bestimmung des Gesamtstickstoffs im festen Boden empfiehlt es sich, von diesem Volumen nur einen aliquoten Teil abzudestillieren, da hierdurch weniger Salze in den Destillationskolben gebracht werden.

Der Kolben wird dann durch den Hugershoffschen Aufsatz mit der erforderlichen Menge (z. B. 120 ccm) konzentrierter Natronlauge beschickt, das überdestillierende Ammoniak in einem Erlenmeyerkölblehen mit $\frac{1}{50}$ Normal-schwefelsäure aufgefangen. Das erste mit überdestillierte Wasser kondensiert sich in einem zwischengeschalteten Kölblehen (Abb. 56d) und dient hier für alle Dämpfe als Waschwasser, so daß Alkali aus der Natronlauge nicht mit herübergerissen werden kann. Durch das vorgelegte Quarzrohr (e) wird die Trübung der Resultate durch aus dem Apparate gelöste Alkalimengen ausgeschlossen. Mitscherlich hat nach dieser Methode auch bei den geringsten Mengen Stickstoff die besten Resultate erzielt.

Lipman und Pressey (182) bestimmen den Stickstoff im Humus, indem sie den üblich hergestellten Humusextrakt mit 1 g MgO in einem 500 ccm-Kjedahlkolben bis zum Aufhören der NH_3 -Entwicklung kochen, sodann nach Zugabe von 30 ccm konzentrierter H_2SO_4 bis zum Entweichen von SO_3 -Dämpfen erhitzen. Nach Zusatz von 12 g einer Mischung von 12 Teilen H_2SO_4 , 1 Teil FeSO_4 und $\frac{1}{2}$ Teil CaSO_4 wird bis zur Beendigung des Aufschlusses erhitzt und nach Verdünnen mit Wasser in bekannter Weise NH_3 überdestilliert. Der Aufschluß geht in kürzester Zeit, höchstens in 15 Minuten, vor sich.

b. Die Stickstoffbestimmung durch Verbrennen mit Natronkalk.

Zu dieser Bestimmung verwendet man eine aus schwer schmelzbarem Kaliglas bestehende Röhre, welche die nachstehende Form besitzt (Abb. 57). Das Rohr wird vor dem Ausziehen gründlich gereinigt und nach dem Erwärmen durch Aussaugen der Luft getrocknet. Man schiebt nun zunächst in das Rohr einen Pfropfen von ausgeglühtem Asbest bis zu dem schnabelförmigen Ende lose hinein und füllt eine Schicht von 3—4 cm völlig salpetersäurefreiem Natronkalk, der zuvor

in einer Porzellanschale mäßig erhitzt worden ist und beim Gebrauch etwa eine Temperatur von $40-50^{\circ}\text{C}$ besitzt, darauf. Zum Einschütten verwendet man zweckmäßig einen neusilbernen weiten Trichter mit kurzem Trichterrohr. Nun bringt man etwas warmen Natronkalk in eine trockne auf dem Sandbade angewärmte Porzellanreischale und schüttet aus einem zuvor gewogenen Wägeröhrchen 1–10 g sehr fein gepulverten und bei 100°C getrockneten Feinboden darauf. Der Natronkalk wird unter Hinzufügung von ungefähr einem halben Gramm reinen Rohrzucker schnell mit der Substanz innig verrieben und dann ebenfalls noch warm in das Verbrennungsrohr eingefüllt. Das sogleich wieder geschlossene Wägeröhrchen wird erst nach der völligen Füllung des Verbrennungsrohrs zurückgewogen. Die in der Reischale hängengebliebenen Teilchen der Substanz werden mit trockenem Natronkalk verrieben und mit Hilfe eines Metallpinsels in das Verbrennungsrohr eingefüllt. Dadurch, daß man

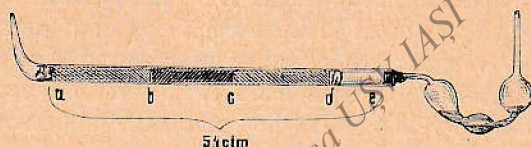


Abb. 57. Gefülltes Verbrennungsrohr zur Stickstoffbestimmung nach Will-Varrentrapp.

dieses Nachspülen mit trockenem Natronkalk zwei- bis dreimal wiederholt, wird man alle Teile der Substanz aus der Reischale entfernen. Auf die Spülmasse schüttet man noch eine Schicht von 10 cm reinen körnigen Natronkalk, setzt einen Asbestpfropfen lose darauf und läßt vorn 4 cm des Rohres frei. In das Rohr schiebt man mittels eines Kautschukstopfens das Ende eines Will-Varrentrapp'schen Kugelapparates recht fest hinein, welcher zuvor mit reinem destillierten Wasser und 1 cm reiner konzentrierter Salzsäure bis zu $\frac{1}{4}$ seines Volumens, wie dies die Abb. 57 zeigt, mittels einer in eine feine Spitze ausgezogenen Pipette gefüllt worden ist. Die zur Anwendung kommende Salzsäure muß zuvor auf ihre Reinheit geprüft werden. Sie darf nach dem Abdampfen mit Platinchlorid und Aufnehmen der Masse mit Alkohol keinen Rückstand hinterlassen.

Vor dem Einlegen in den Verbrennungssofen wird das Rohr in wagerechter Richtung auf die Tischplatte gestoßen, damit sich im Innern ein Kanal über der Substanz bildet, durch welchen die Verbrennungsgase entweichen können. Man leitet die Ver-

brennung ganz langsam, indem man zuerst den reinen Natronkalk hinten und dann vorn bis zum Glühen erhitzt und darauf durch allmähliches Öffnen der Gashähne die Flammen der Substanz nähert. Der Zusatz von Zucker soll die Überführung des Stickstoffs in Ammoniak begünstigen. Die Verbrennung ist beendet, wenn in der Substanz keine schwarzen kohlenstoffhaltigen Teile mehr sichtbar sind. Man kneift nun die Spitze der aufsteigenden Röhre ab, schließt den Gashahn und läßt mittels eines mit dem Ende des Will-Varrentrappschen Kugelapparates durch Kautschukschlauch verbundenen Aspirators einen langsamen Luftstrom durch den Apparat hindurchgehen. Darauf gießt man die Flüssigkeit aus dem Kugelapparat in eine Porzellanschale, spült mit Wasser nach und dampft bis auf wenige Tropfen, jedoch nicht bis zur völligen Trockne ein. Wenn man den Rückstand mit etwas Wasser aufnimmt, so bleiben die bei der Verbrennung entstandenen Teerprodukte zum größten Teile in der Schale zurück. Die den Salmiak enthaltende Flüssigkeit wird in einem kleinen Schälchen auf dem Wasserbade bis auf wenige Tropfen abgedampft und der Stickstoff nach den hierunter beschriebenen Methoden entweder volumetrisch im Knop-Wagnerschen Azotometer bestimmt oder als Platinsalmiak gewogen. Ebenso kann man auch die S. 135 bis 136 beschriebene Titrimethode anwenden, wenn man den im Kugelapparat enthaltenen Salmiak mit Natronlauge abdestilliert und das Destillat in 20 ccm $\frac{1}{10}$ Normalschwefelsäure auffängt. Letztere wird dann unter Anwendung von Lackmuskintur oder alizarinsulfonsaurem Natrium als Indikator zurücktitriert.

α) Die Bestimmung des Chlorammoniums als Platinsalmiak.

Das obige Destillat, welches den Salmiak enthält, wird auf dem Wasserbade auf ein geringes Volumen eingedampft und mit einer reinen salpetersäurefreien Platinchloridlösung im Überschuß versetzt. Darauf verdampft man das Ganze auf einem Wasserbade fast bis zur Trockne und fügt dann eine Mischung von 2 Vol. absolutem Alkohol und 1 Vol. Äther hinzu. Der als schweres hellgelbes Pulver ungelöst bleibende Rückstand wird auf ein bei 100° C getrocknetes und gewogenes Filter gebracht und mit ätherhaltigem Alkohol von der angegebenen Zusammensetzung ausgewaschen, bei 100° C getrocknet und im tarierten Wägegläschen gewogen.

Will man das metallische Platin wägen, so braucht man den Platinsalmiak nur in einem mit Deckel verschlossenen Tiegel zu erhitzen. Die Erhitzung muß jedoch allmählich geschehen, da die dabei entweichenden Dämpfe von Chlor und Chlorammonium leicht unzersetztes Doppelsalz und Platin- teilchen mit fortreißen. Das Filter wird nach möglichster Ab- lösung des Niederschlages für sich verascht und erst dann zu der übrigen Masse hinzugefügt. Den erhaltenen Platinsalmiak bzw. das Platin muß man mit dem Faktor 0,244 bzw. 0,555 multiplizieren, um die äquivalente Menge Salpetersäure (N_2O_5) zu erhalten.

β) Die volumetrische Bestimmung des Stickstoffes im Chlorammonium durch das Knop-Wagnersche Azotometer.

Die Methode beruht auf dem Vorgange, daß eine Salmiak- lösung durch eine Lösung von unterbromigsaurem Natrium bei Freiwerden des Stickstoffs zersetzt wird: $3 (NaBrO) + 2 (NH_4Cl) = 3 (NaBr) + 3 (H_2O) + 2 (HCl) + 2 N$.

Die Lösung des unterbromigsauren Natriums bereitet man in der Weise, daß man 100 g Ätznatron in 1250 cem destilliertem Wasser auflöst, die Lösung stark abkühlt und unter fort- währendem Umschütteln 25 cem Brom hinzufügt. Diese Lauge muß in einer dunklen Flasche aufbewahrt werden, da sie sich sonst am Lichte allmäh- lich zersetzt. 50 cem der Lauge vermögen 130—150 cem Stickstoff aus einer Salmiak- lösung zu entwickeln.

Das Knop-Wagner- sche Azotometer (Abb. 58) besitzt folgende Einrich- tung (273):

Von dem unten in einen Metallring eingekitteten und mit Blei beschwer- ten Entwicklungsgefäße (links), dessen Innenraum durch eine nicht bis oben hinaufreichende Glas-

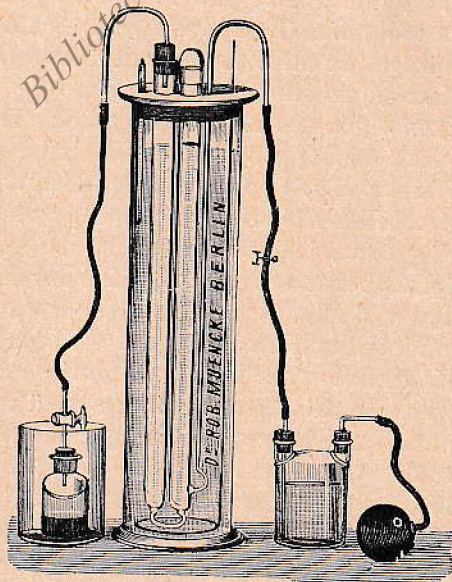


Abb. 58. Knop-Wagnersches Azotometer.

wand in zwei Teile geteilt wird, füllt man die eine Abteilung mit Salmiaklösung, die andere mit Bromlauge. Es ist notwendig, ein bestimmtes Volumverhältnis der beiden Flüssigkeiten stets festzuhalten. Man dampft daher die Flüssigkeit in einem Porzellanschälchen fast bis zur Trockne ab, füllt eine 10-ccm-Pipette mit destilliertem Wasser, läßt einige Tropfen zur Lösung des Salmiaks zufließen, gießt diese Lösung durch ein langes Trichterrohr in die eine Abteilung des Entwicklungsgefäßes hinein und spült mit dem in der Pipette zurückgebliebenen Wasser Porzellanschale und Trichterrohr aus. In die andere Abteilung läßt man mittels einer Pipette 50 ccm Bromlauge, welche nach oben angegebener Vorschrift bereitet worden ist, einfließen. Nachdem das Entwicklungsgefäß mit einem Kautschukstopfen verschlossen worden ist, senkt man dieses in das Kühlgefäß so tief ein, daß der Kautschukstopfen gerade noch mit Wasser bedeckt wird. Dieses Kühlgefäß, sowie auch der lange Glaszylinder werden mit kühlem Leitungswasser womöglich von gleicher Temperatur gefüllt. Durch den Kautschukstopfen des Entwicklungsgefäßes geht ein mit Glashahn versehenes Glasrohr hindurch, welches durch Kautschukschlauch mit dem graduierten Glasrohr im zylindrischen Standgefäße in Verbindung steht. Der Glashahn wird gelockert oder herausgezogen und die im Glaszylinder eingeschlossenen kommunizierenden Röhren durch Zusammendrücken des mit Loch versehenen Kautschukballes (rechts) unter gleichzeitigem Öffnen des Quetschhahnes mit Wasser gefüllt. Durch Ablassen des Wassers durch den Quetschhahn stellt man den unteren Meniskus des Wasserspiegels genau auf den Nullpunkt der graduierten Röhre ein. Nach Ablauf von 5 Minuten wird der Glashahn wieder fest eingesetzt, jedoch so gestellt, daß das Entwicklungsgefäß mit dem graduierten Rohr in Kommunikation bleibt. Man wartet darauf 5 Minuten lang und beobachtet, ob der Wasserspiegel im graduierten Rohr infolge der durch die Abkühlung bewirkten Kontraktion der Luft noch gestiegen ist. Wenn dies der Fall, so wird der Glashahn nochmals gelüftet, wieder fest eingedrückt und der Wasserstand im graduierten Rohr nach Ablauf von 5 Minuten abermals beobachtet. Dies wiederholt man so oft, bis das Wasserniveau konstant auf dem Nullpunkte einsteht. Man nimmt nun das Entwicklungsgefäß aus dem Kühlzylinder heraus und läßt, nachdem man durch den Quetschhahn 20 bis 30 ccm Wasser hat abfließen lassen, allmählich durch Neigen

des Entwicklungsgefäßes die Bromlauge zur Salmiaklösung überfließen. Die Entwicklung des Stickstoffs wird durch Schwenken des Glases befördert. Darauf schließt man den Glashahn, schüttelt die Entwicklungsflasche kräftig um, öffnet dann den Hahn wieder, um das entwickelte Stickgas in die gradierte Röhre übertreten zu lassen und wiederholt diese Operation dreimal. Nun wird das Entwicklungsgefäß wieder in den Kühlzylinder zurückgestellt und durch den Glashahn mit der gradierten Röhre in Kommunikation gebracht. Nach Verlauf von 15 Minuten hat dieses die frühere Temperatur wieder angenommen, und man läßt nun durch den Quetschhahn so viel Wasser ab- bzw. zufließen, daß das Niveau in den beiden kommunizierenden Röhren gleich hoch steht. Darauf liest man die Anzahl der entwickelten Kubikzentimeter Stickstoff, die Temperatur des im Zylinder befindlichen Thermometers, sowie den jeweiligen Barometerstand ab.

Dietrichsche Tabelle für die Absorption des Stickgases

in 60 cem Entwicklungsflüssigkeit (50 cem Bromlauge und 10 cem Wasser) bei einem spezifischen Gewicht der Lauge von 1,1 und einer Stärke, daß 50 cem 200 cem Stickstoff entsprechen bei einer Entwicklung von 1—100 cem Stickgas.

Entwickelt : cem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Absorbiert : cem	0,06	0,08	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23	0,26	0,28
Entwickelt : cem	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Absorbiert : cem	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51	0,53
Entwickelt : cem	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Absorbiert : cem	0,56	0,58	0,61	0,63	0,66	0,68	0,71	0,73	0,76	0,78
Entwickelt : cem	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Absorbiert : cem	0,81	0,83	0,86	0,88	0,91	0,93	0,96	0,98	1,01	1,03
Entwickelt : cem	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Absorbiert : cem	1,06	1,08	1,11	1,13	1,16	1,18	1,21	1,23	1,26	1,28
Entwickelt : cem	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Absorbiert : cem	1,31	1,33	1,36	1,38	1,41	1,43	1,46	1,48	1,51	1,53
Entwickelt : cem	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Absorbiert : cem	1,56	1,58	1,61	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,76	1,78
Entwickelt : cem	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Absorbiert : cem	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	1,93	1,96	1,98	2,01	2,03
Entwickelt : cem	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Absorbiert : cem	2,06	2,08	2,11	2,13	2,16	2,18	2,21	2,23	2,26	2,28
Entwickelt : cem	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Absorbiert : cem	2,31	2,33	2,36	2,38	2,41	2,43	2,46	2,48	2,51	2,53

Da in der Flüssigkeit des Entwicklungsgefäßes eine nicht unerhebliche Menge Stickstoff absorbiert wird, so ist es notwendig, diese bei der Berechnung mit zu berücksichtigen. Um hierbei die beifolgende Dietrichsche Tabelle (103) benutzen zu können, ist es notwendig, stets genau 10 ccm der zu untersuchenden Flüssigkeit und 50 ccm Bromlauge von der angegebenen Konzentration zu verwenden, da sich die Menge des absorbierten Gases bei Änderung der Konzentration und des Flüssigkeitsquantums ebenfalls ändert.

Man berechnet nun zuerst das in der graduierten Röhre abgelesene Stickstoffquantum unter Berücksichtigung der Tension des Wasserdampfes auf den Normalzustand nach der S. 108 angegebenen Formel und entnimmt darauf aus der Dietrichschen Tabelle die bei dem entwickelten Volum absorbiert gebliebene Menge Gas. Man addiert diese zu dem auf den Normalzustand berechneten Stickstoffquantum und erhält die äquivalente Menge Salpetersäure (N_2O_5) in Gramm, wenn man es mit dem Faktor 0,0048367 multipliziert.

2. Die Bestimmung des im Boden befindlichen Ammoniaks.

Ammoniakgas und Ammoniaksalze sind meist nur in geringer Menge im Boden enthalten, da sie gewöhnlich sehr rasch zu Salpetersäure oxydiert werden. Bei ihrer Bestimmung tut man am besten, den vom Acker in seinem natürlichen Feuchtigkeitszustande entnommenen Boden in eine luftdicht verschließbare Glasflasche mit weitem Halse zu füllen und möglichst bald nach der Entnahme, wenn irgend tunlich in unveränderter Form, zur Analyse zu verwenden. Kurz erwähnt sei hier die Methode von Potter und Snyder, welche das NH_3 auch im salzsauren Bodenauszuge, der etwa 60—70 % der NH_3 -Verbindungen des Bodens enthält, nach der Folinschen Methode (219) bestimmen.

Die Methoden, welche darauf beruhen, den mit Wasser versetzten Boden mit Natronlauge oder Magnesiumoxyd abzudestillieren und das entweichende Ammoniak in einer Vorlage aufzufangen, liefern keine genauen Resultate, da nach dem Austreiben des fertig gebildeten Ammoniaks auch die stickstoffhaltigen organischen Substanzen angegriffen werden und fortwährend geringe Mengen Ammoniak liefern. Aus diesem Grunde liefert auch die Methode Boussingault viel zu hohe Zahlen.

Zu empfehlen ist dagegen die Schlösingsche Methode welche darauf beruht, daß bei der Behandlung des Bodens mit Salzsäure seine Absorptionsfähigkeit gegen Ammoniak und Ammoniaksalze völlig aufgehoben wird, so daß demnach ein Salzsäureauszug des Bodens die ganze Menge des Salmiaks gelöst enthält. Diese von Wahnschaffe modifizierte, sowie auch noch eine andere, ebenfalls von Schlösing herrührende Methode, die jedoch nur annähernde Resultate liefert, sollen hier besprochen werden.

Die modifizierte Schlösingsche Methode zur genauen Bestimmung des Ammoniaks im Boden.

Man bringt 100 g Gesamtboden in einen Literkolben hinein, während man zu gleicher Zeit von etwa 20 g der angewandten Probe das bei 105° C entweichende Wasser aus dem Verlust bestimmt, so daß man später den Ammoniakgehalt auf bei 105° C getrocknete Substanz berechnen kann.

Den Boden im Kolben übergießt man nun mit 100 ccm destilliertem Wasser und läßt aus einer Bürette so lange konzentrierte Salzsäure hinzufließen, bis die etwa vorhandene Kohlensäure vollständig ausgetrieben ist und die Flüssigkeit einen Überschuß an Salzsäure besitzt. Zu der gemessenen Menge Salzsäure, die zuvor durch Abdampfen mit Platinchlorid auf ihre Reinheit zu prüfen ist, fügt man noch so viel destilliertes Wasser hinzu, daß die Flüssigkeit gerade 400 ccm beträgt. Darauf verschließt man den Literkolben mit einem Kautschukstopfen, schüttelt tüchtig um und läßt den Boden sich klar absetzen, wozu etwa 6—12 Stunden erforderlich sein werden. Tarasoff weist darauf hin, daß ein vollständiges Auflösen des Ammoniaks nur durch wiederholte Behandlung des Bodens mit HCl-Lösung erreicht wird. Die überstehende klare Lösung wird schnell durch ein trockenes Faltenfilter gegossen und aus dem Filtrat werden 200 ccm, welche 50 g des angewandten Bodens entsprechen, mit der Pipette entnommen. Diese werden in einem ammoniakfreien Raume bis auf 10 ccm eingedampft und in einen halben Literkolben hineingespült, so daß die Flüssigkeit etwa 100 ccm beträgt. Nun fügt man so viel konzentrierte Natronlauge hinzu, bis diese im Überschuß vorhanden ist, bringt etwas granuliertes Zink in den Kolben hinein und destilliert die Hälfte der Flüssigkeit durch einen Kühler in einen Erlenmeyerschen Kochbecher ab, der etwas verdünnte

Salzsäure zur Aufnahme des Ammoniakgases enthält. Nach Beendigung der Destillation wird das Destillat fast bis zur Trockne eingedampft und der Stickstoff im Knop-Wagnerschen Azotometer volumetrisch bestimmt (S. 141).

Wenn man die auf den Normalzustand berechneten Kubikzentimeter Stickstoff mit dem Faktor 0,001525 multipliziert, so erhält man in Gramm den Gehalt an Ammoniakgas (NH_3) in 50 g angewandtem Boden.

Biblioteca UȘV IAȘI

IV. Die Bestimmung der für das Wachstum der Pflanzen schädlichen Stoffe des Bodens.

Das Vorhandensein gewisser Stoffe im Boden kann das Pflanzenwachstum wesentlich beeinflussen, ja sogar in manchen Fällen vollständig unmöglich machen. Zu diesen sogenannten Giften der Kulturpflanzen sind zu rechnen: sauer reagierende Humusstoffe, zu große Mengen Kochsalz, freie Schwefelsäure, schwefelsaures Eisenoxydul und Schwefeleisen. In vielen Fällen genügt überhaupt schon der Nachweis dieser Stoffe, ohne daß eine quantitative Bestimmung derselben erforderlich wäre. Ihr Vorhandensein kann zum Teil bei der Herstellung des Wasserauszuges zur Ermittlung der Pflanzennährstoffe festgestellt werden.

1. Der Nachweis der sogenannten „freien Humussäure“ im Boden und der Bodenreaktion.

Reagiert der Wasserauszug eines humosen Bodens gegen Lackmuspapier deutlich sauer, ohne daß sich Schwefelsäure durch Bariumchlorid nachweisen läßt, so wird die saure Reaktion auf absorptiv ungesättigte humose Substanz zurückzuführen sein. Die Bodenarten, welche diese Erscheinung zeigen, werden gewöhnlich auch an großer Nässe leiden, und es wird die Aufgabe des Landwirtes sein, den Acker durch Gräben genügend zu entwässern oder durch Sandauffuhr zu erhöhen. Kalk- und Mergeldüngung werden zur absorptiven Sättigung beitragen. (Vgl.: Die Bestimmung der „freien Humussäuren“, Abschnitt V).

Über die Bestimmung der Bodenreaktion auch bei Mineralböden, die ebenfalls sehr wichtig ist, siehe ebendasselbst.

2. Die Bestimmung des Kochsalzgehaltes im Boden.

Völkers (271) und Grandeaus (128) Untersuchungen haben gezeigt, daß ein Ackerboden gänzlich unfruchtbar wird, wenn sein Gehalt an Kochsalz 0,1 % übersteigt. Es ist bereits bei Besprechung des Wasserauszuges zur Ermittlung der Pflanzennährstoffe auf die Bestimmung des Chlor- und Natriumgehaltes Rücksicht genommen worden. Man wird in den meisten Fällen die gefundene Menge Chlor auf Natrium direkt verrechnen können.

Will man NaCl nach der titrimetrischen Methode mit $\frac{1}{10}$ -Normal-Silbernitratlösung und Kaliumchromatlösung als Indikator benutzen, so muß die Bodenlösung filtriert werden, was sehr zweckmäßig durch die Pasteur-Chamberlainsche Filtrierkerze geschieht. Die Amerikaner haben sich dazu einen Filtrierapparat konstruiert, welcher die Bodenlösung unter Druck durch das Tonfilter preßt und die Arbeit sehr beschleunigt. Genauere Angaben über diese Methode gibt A. v. Sigmond (255).

3. Die Bestimmung des schwefelsauren Eisenoxyduls, der freien Schwefelsäure und des Schwefeleisens.

Nennenswerte Mengen von Ferroverbindungen erscheinen in normalen Böden unwahrscheinlich. Das Vorkommen von Eisenvitriol oder freier Schwefelsäure ist abhängig von dem Vorhandensein des Schwefeleisens im Boden. Der Eisenkies, der sich nach Fleischers Untersuchungen im Boden zuweilen findet, liefert bei seiner Oxydation durch Sauerstoff freie Schwefelsäure und Eisenvitriol = $\text{FeS}_2 + 7 \text{O} = \text{SO}_2 + \text{FeSO}_4$. Diese Verbindungen werden sich stets dann bilden, wenn nicht genügende Basen, vor allen Dingen Kalk, zu ihrer Sättigung vorhanden sind. Das Vorhandensein von Schwefeleisen in den unter den Torfmooren auftretenden Sanden hat bei der Anlage von Rimpauschen Moordammkulturen, bei denen jener Sand auf das Moor aufgebracht wurde, mehrfach vollständige Mißerfolge herbeigeführt. Daher ist es von großem Wert, sowohl den zu kultivierenden Moorboden als auch den zu verwendenden Sand auf jene schädlichen Stoffe zu untersuchen und ihre nachteiligen Folgen durch geeignete Maßregeln zu beseitigen.

In der Preußischen Moor-Versuchsstation zu Bremen sind folgende Methoden (115) angewandt worden:

Von dem zu untersuchenden Moore oder Sande wird ein Wasserauszug hergestellt und auf das Vorhandensein von Eisenoxydul dadurch geprüft, daß man eine Lösung von rotem Blutlaugensalz dazu setzt. Das Eisenoxydul gibt sich dann sofort durch die blaue Färbung der Flüssigkeit zu erkennen. Eine etwaige saure Reaktion wird durch Lackmuspapier festgestellt.

In dem Wasserauszuge von 100 g Boden werden Kali, Natron, Kalkerde, Magnesia, Eisenoxydul bzw. -oxyd, Chlor und Schwefelsäure bestimmt und die Basen auf die vorhandenen Säuren berechnet. Der Überschuß an Schwefelsäure kann als frei vorhanden bezeichnet werden.

Charitschkoff (90) bestimmt das Eisenoxydul, indem er mittels einer Lösung von Naphthensäure in Benzin oder Petroläther aus neutraler oder schwach saurer Lösung quantitativ auszieht. Dies Verhalten der Eisenoxydulsalze läßt sich auch zu einer schnellen und scharfen Trennung von Eisen und Tonerde verwerten. Es sei auf die Arbeit des Verfassers verwiesen. Brown und Kellog (84) bestimmen die „sulfatbildende Fähigkeit“ des Bodens, die auf Oxydation organischer Schwefelverbindungen, Sulfiden und freiem Schwefel beruht, indem sie den Boden mit Na-Sulfid behandeln, im Filtrat mit BaCl_2 fällen und die Menge des ausgefallten BaSO_4 mit Hilfe des S-Photometers bestimmen. Über die Bestimmung des Oxydationsgrades von Eisenverbindungen in humushaltigen Bodenextrakten gibt Mäkinen (184) eine Methode an.

a. Die Bestimmung des Schwefelgehaltes im Boden durch Glühen.

20 g des mit Wasser extrahierten und getrockneten Feinbodens werden in einem aus böhmischen Glase bestehenden Rohre im Luftstrome geglüht, wobei etwa vorhandener Eisenkies zersetzt und der Schwefel in Schwefelsäure und schweflige Säure übergeführt wird.

Man schiebt zuerst in das Rohr einen Glaswollepfropfen hinein (Abb. 59), schüttet dann die Substanz lose darauf und fügt einen zweiten Glaswollepfropfen hinzu. Am hinteren Ende steht das Rohr mit einem mit Wasser gefüllten Gefäße in Verbindung, welches zur Kontrolle des bei der Verbrennung anzuwendenden Luftstromes dient. Vorn ist das Rohr ausgezogen, rechtwinklig nach unten umgebogen und mit einem Absorptionsgefäße verbunden, welches mit schwefelsäurefreier Kalilauge gefüllt wird. Ein an das Absorptionsgefäß sich anschließender Aspirator ermöglicht das konstante Durchleiten eines Luftstromes durch das Verbrennungsrohr. Zwischen Absorptionsgefäß und Aspirator befindet sich zunächst ein Trichterrohr mit

Glasperlen, die mit Kalilauge befeuchtet sind, und sodann ein Kugelrohr, in welches etwas neutrale Lackmuslösung eingefüllt wird. Diese darf während der Operation die Farbe nicht verändern. Das Rohr wird in einen Verbrennungsofen eingelegt und, während ein beständiger Luftstrom hindurchstreicht, von hinten nach vorn fortschreitend bis zur Rotglut erhitzt. Ist es im vollen Glühen, so werden schließlich noch mittelst einer Flamme die im ausgezogenen Röhrenteil sich verdichtenden Destilla-

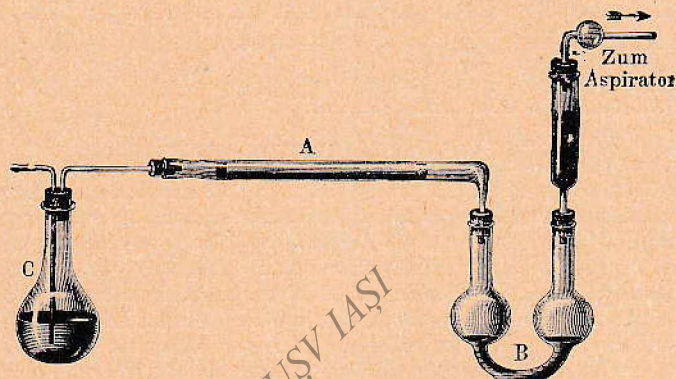


Abb. 59. Apparat zur Schwefelbestimmung nach Fleischer.

tionsprodukte möglichst weit nach unten getrieben, so daß sie sich nach Beendigung der Operation mittelst der Spritzflasche leicht herausspülen lassen. Die Kalilauge wird mit Salzsäure übersättigt, mit Brom versetzt, um die schweflige Säure in Schwefelsäure überzuführen, und das Brom durch Kochen entfernt. Darauf fällt man die Schwefelsäure mit Chlorbarium aus und beobachtet die S. 103 angegebenen Vorsichtsmaßregeln, da der schwere Niederschlag in der konzentrierten Kochsalzlösung gewöhnlich Alkali mit niederreißt. Bei Torfen empfiehlt es sich, die Substanz im Sauerstoffstrom zu glühen.

Man erhält beim Glühen des Bodens im Rohr nicht die gesamte im Boden enthaltene Schwefelsäure, was Fleischer auf die Angreifbarkeit des Glasrohrs zurückführt, doch hat sich die Methode bei den Untersuchungen der Moorversuchsstation in Bremen als ausreichend bewährt.

Aus den angegebenen Methoden berechnet Fleischer die in pflanzenschädlicher Form vorhandene Schwefelsäure folgendermaßen:

1. Als freie Schwefelsäure vorhanden (der Schwefelsäurerest, welcher nach Verrechnung auf die Basen des Wasserauszuges übrigbleibt);
2. Schwefelsäure in Eisenvitriol enthalten (berechnet aus dem Eisenoxydulgehalt des Wasserauszuges);
3. Schwefelsäure, welche aus Schwefeleisen entstehen kann (durch Glühen des mit Wasser extrahierten Bodens erhalten).

b. Die Bestimmung des Schwefelgehaltes im Boden durch Aufschließung mit Brom.

Eine von Wahnschaffe erprobte Methode, durch welche man den Schwefelgehalt des Bodens neben vorhandener Schwefelsäure genau ermitteln kann, möge hier ebenfalls Erwähnung finden.

5–10 g des mit Wasser extrahierten und feingepulverten Bodens werden mit 20 ccm destilliertem Wasser und 5 ccm reinem schwefelsäurefreien Brom in einer böhmischen Glasröhre eingeschmolzen und in einem Wasserbade allmählich unter häufigem Umschütteln bis auf 70° C erhitzt. Durch das Brom wird der vorhandene Schwefel zu Schwefelsäure oxydiert. Die Röhre wird nach dem völligen Erkalten in der S. 80 angegebenen Weise geöffnet, ihr Inhalt in ein Becherglas hineingespült, mit Wasser verdünnt und so lange erhitzt, bis kein Bromgeruch mehr wahrnehmbar ist. Darauf filtriert man den Boden ab und fällt die Schwefelsäure im Filtrat in der oben angegebenen Weise. Die aus dem Wasserauszug erhaltene Schwefelsäure zieht man darauf von der Gesamtschwefelsäure ab und berechnet den Rest auf Schwefel, indem man ihn mit dem Faktor 0,399 multipliziert.

Bei Anwesenheit von großen Mengen Gips ist die Methode nicht anwendbar, da in diesem Falle nicht alle Sulfate durch den Wasserauszug extrahiert werden.

V. Die Ermittlung verschiedener Eigenschaften des Bodens, welche theils auf physikalischen, theils auf chemischen Ursachen beruhen.

A. Das Gewicht des Bodens.

Wir unterscheiden das relative oder spezifische und das absolute, Volum- oder Litergewicht des Bodens. Für deren Bestimmung eignen sich folgende Methoden:

1. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes.

Ein aus dünnem Glase bestehendes, etwa 10 ccm enthaltendes Kölbchen, welches mit eingeschliffenem und in eine offene Kapillarröhre ausgezogenem Glasstöpsel (Pyknometer) versehen ist, wird mit destilliertem Wasser von 16°C bis zum Ende des Kapillarrohres gefüllt, indem man den letzten austretenden Tropfen mit einem Tuche abwischt. Der zuvor mit einem Lederlappen sorgfältig gereinigte Kolben wird auf einer chemischen Wage genau gewogen. Nach der Entleerung des Gefäßes bringt man eine abgewogene Menge des bei 100°C getrockneten Bodens (etwa 20 g), nachdem er mit destilliertem Wasser in einer Schale aufgeköcht war, nach völliger Abkühlung durch einen Trichter hinein und fügt so viel destilliertes Wasser von 16°C hinzu, bis das Kölbchen wieder ganz gefüllt ist. Alsdann wird es gewogen. Addiert man das Gewicht des angewandten Bodens zu dem Gewichte des mit Wasser gefüllten Kölbchens und zieht hiervon das Gewicht des mit Wasser und Boden gefüllten Kölbchens ab, so drückt die Differenz das Gewicht eines Volumens Wasser aus, welches dem der angewandten Bodenmenge gleich ist. Da man also hierdurch das Verhältniß der Gewichte gleicher Volumina Boden und Wasser erfährt, so kann man daraus das spezifische Gewicht des Bodens ableiten, wenn man das Gewicht des Bodens durch das Gewicht des Wassers, welches er verdrängt hat, dividirt.

Eine genaue Beschreibung der Bestimmung des spezifischen Gewichts bei festen Bodenteilchen mit etwas abgeändertem Apparate gibt E. A. Mitscherlich (32).

Albert und Bogs (63) empfehlen den von v. Wrochem (397) modifizierten Apparat von Erdmenger und Mann, der im Prinzip darauf beruht, daß der Boden bei einer Verteilung in Terpentinöl von der eingeschlossenen Luft befreit wird. Die Methode wird als befriedigend exakt und daher namentlich bei Massenbestimmungen anwendbar erklärt.

2. Die Bestimmung des Volumgewichtes und Porenvolumens.

Die Bestimmung des Volumgewichtes und des Porenvolumens der Böden gibt uns sehr oft über viele andere physikalische Eigenschaften des Bodens Aufschluß. Die Methoden lassen sich in zwei Gruppen teilen, von denen die eine solche Untersuchungen umfaßt, bei denen die ursprüngliche Struktur des Bodens verändert wird, die zweite solche, welche die natürliche Struktur bestehen lassen.

Es kann gar keinem Zweifel unterliegen, daß die Methoden der letzteren Gruppe den Vorzug verdienen, und daß die der ersten Gruppe nur als Notbehelf aufzufassen sind.

Bei den Methoden der ersten Gruppe schüttet man den Boden in lufttrockenem Zustande in ein Meßgefäß oder schwemmt ihn mit Wasser in dieses ein.

Bei Bodenarten von geringem Humusgehalte wird man nach den Versuchen von R. Heinrich (17) nur die Methode des Einschüttens anzuwenden brauchen, da sie nahezu die gleichen Resultate liefert wie das Einschwemmen.

Man füllt zu diesem Zwecke einen 100 ccm enthaltenden Maßzylinder mit lufttrocknem, in einer Reibschale möglichst gleichmäßig zerriebenem Boden, indem man ihn in kleinen Portionen einträgt und durch sanftes Aufschlagen des Gefäßes auf einer Korkunterlage so lange verdichtet, bis eine Volumverringerung nicht mehr stattfindet. Man wird hierzu je nach der Bodenart eine halbe bis eine Stunde Zeit gebrauchen und muß dafür Sorge tragen, daß das Gefäß während der Behandlung immer wieder bis zur Marke mit dem Boden aufgefüllt wird. E. Krüger (335) erzielte mit dem von ihm erprobten Rüttelverfahren — nach jeder Teilfüllung 300 weiche und 200 harte Stöße — genügend genaue Ergebnisse. Von einer besonderen Probe wird zu gleicher Zeit das bei 100° C entweichende

hygroskopische Wasser bestimmt und das durch Wägung ermittelte Litergewicht stets auf bei 100° C getrocknete Substanz bezogen.

Um das Volumen zu bestimmen, welches ein mit Wasser völlig aufgeschlämmter Boden besitzt, schüttelt man nach E. Wolff (282) 25–30 g der lufttrocknen, feingepulverten Erde, deren Litergewicht man bereits kennt, in einem graduierten Rohre tüchtig mit Wasser, welches 1% Salmiak enthält, und läßt darauf absetzen. Die Ablesung des Volumens geschieht nach 24 Stunden. Bei der Berechnung stellt man das Verhältnis fest, welches zwischen dem Volumen des Bodens im aufgeschlämmten Zustande und dem gleichen Volumen Boden in trockenem Zustande besteht, indem man letzteres als Einheit zugrunde legt.

Die zweite Gruppe von Methoden verlangt, daß die Bestimmung des Volumgewichtes und Porenvolumens an Böden unveränderter Struktur vorgenommen wird, was eine sehr sorgfältige Probeentnahme und sofortige Untersuchung, am besten an Ort und Stelle, voraussetzt. Derartige Methoden sind von E. Ramann (39), Albert, Kopecký (333) u. a. vorgeschlagen; sie beruhen darauf, daß Metallrohre in den Boden eingetrieben werden, denen dann die Bodenprobe bestimmten Rauminhaltes zur Untersuchung entnommen wird. R. Trnka (383) ist der Ansicht, daß auch bei diesen Methoden die ursprüngliche Struktur Schaden erleide, und schlägt vor, das Volumgewicht mittels der Erdschollen zu bestimmen, welche aus dem Boden in der Natur, also aus der natürlichen Lagerung derselben, entnommen worden sind. Ein Teil dieser in seiner Struktur unveränderten Scholle wird zwecks Bestimmung der Größe der Scholle bei 100 bis 104° C getrocknet, sodann in geschmolzenes Paraffin getaucht, wodurch die Scholle mit einem dünnen Häutchen überzogen und so das Eindringen des Wassers verhindert wird, und endlich das verdrängte Wasservolumen durch das vom Autor konstruierte „Volumenometer“ bestimmt. Den Einwendungen Trnkas gegen die Zylindermethode ist aber entgegenzuhalten, daß die Fehlerquelle so gering ist, daß sie als belanglos angesehen werden kann. Man sollte daher an der Zylindermethode nach Kopecký, die auch von Krauß und Burger erprobt wurde, festhalten. (Siehe diesb. Literatur.)

Wird das Litergewicht des Bodens durch das Gewicht des gleichen Volumens Wasser dividiert, so erhält man das „scheinbare spezifische Gewicht“ des Bodens.

Dividiert man nun dieses scheinbare spezifische Gewicht des Bodens durch sein spezifisches Gewicht, so drückt der Quotient die Porosität des Bodens aus, d. h. den Raum, welcher bei Böden von trockner Beschaffenheit (sein Volumen gleich 1 gesetzt) durch Luftteilchen eingenommen wird. Diese Porosität wird häufig auf 100 Volumteile des Bodens berechnet.

Die Feststellung des Porenvolumens, d. h. der zwischen den einzelnen Bodenteilchen mit Luft oder Feuchtigkeit erfüllten Hohlräume (Hohlraumvolumen), ist in hygienischer und landwirtschaftlicher Hinsicht von Wichtigkeit. Die größere oder geringere Porenweite bewirkt Unterschiede in der Durchlüftungsfähigkeit (Permeabilität) des Bodens und beeinflusst sein Filtrationsvermögen für staubförmige der Luft beigemengte Teilchen. Die festen, staubförmigen Beimengungen der Luft werden beim Durchströmen eines Bodens mit weiten Poren



Abb. 60. Apparat zur Bestimmung des Porenvolumens nach Flüge.

weniger leicht zurückgehalten als von einem Boden mit engen Poren. Bei dem Verhalten des Bodens zum Wasser ist vor allen Dingen sein Porenvolumen in Betracht zu ziehen.

Bei Bestimmung des Porenvolumens wird oft derart verfahren, daß man zu 100 cem eines bei 100° C getrockneten, dicht geschichteten Bodens so viel Wasser zusetzt, bis alle Poren erfüllt sind. Die verbrauchte Wassermenge zeigt dann das Porenvolumen des angewandten Bodenvolumens unmittelbar an. Die Methode leidet jedoch an dem Fehler, daß sich die mit Luft erfüllten Poren nicht vollständig mit Wasser füllen.

Flüge (9) hat daher eine genauere Methode eingeführt, indem er die in den Poren vorhandene Luft durch Kohlensäure verdrängt und die ausgetriebene Luft in einer mit Kalilauge gefüllten Meßröhre mißt. Der von ihm konstruierte Apparat (Abb. 60) besteht aus einem Messingzylinder von 400—500 cem Inhalt. Die rechts und links des Zylinders abgebildeten Deckel sind durchlocht und je mit einem Ansatzrohre versehen. Die inneren Platten dieser Deckel liegen genau auf dem Rande des Messingzylinders auf und werden zum luftdichten Verschluß mit diesem mit Kautschukringen umgeben. Zur Entnahme des zur Untersuchung gelangenden Bodens dienen die beiden rechts und

links am Außencande der Abbildung befindlichen Ansätze; rechts ein mit Löchern versehener Deckel, der genau auf den Rand des Zylinders paßt, und links ein am unteren Rande zugeschärftes Ansatzstück. Bei der Entnahme der Bodenprobe wird das zugeschärftete Ansatzstück auf den Boden aufgesetzt und der mit durchlochten Boden versehene Deckel aufgesetzt. Darauf treibt man den Apparat durch gleichmäßige Schläge mit einem Holzhammer in den Boden hinein, bis letzterer in den Öffnungen des oberen Deckels sichtbar wird. Nachdem der Apparat herausgegraben ist, werden zuerst das untere Ansatzstück und dann der obere Deckel abgenommen, während man den Boden mit einem Spatel einebnet, so daß er genau mit den Rändern des Zylinders abschneidet, und dann die Deckel aufsetzt. Ihre Ansatzrohre werden durch Kautschukschläuche und Glasröhren mit einem Kohlensäureentwicklungsapparate und einem mit Kalilauge gefüllten Meßrohre, das aufrechtstehend in eine mit Kalilauge gefüllte Wanne eintaucht, verbunden. Nachdem man den Meßapparat mit dem Boden durch Quetschhähne abgesperrt und durch Zwischenschaltung eines T-Stückes die Luft in den Röhren und Schläuchen durch Kohlensäure ersetzt hat, leitet man den Kohlensäurestrom durch den Boden hindurch und verdrängt durch diese die in den Poren befindliche Luft. Diese fängt man in dem Meßrohre auf, mißt ihr Volumen und berechnet es auf die Temperatur des Bodens.

B. Das Verhalten des Bodens gegen Nährstofflösungen.

Die Fähigkeit des Bodens, einzelne ihm in Lösung dargebotene Substanzen zurückzuhalten, bezeichnet man als Absorption bzw. Adsorption. Lange Zeit hindurch sind die Ansichten der Agrikulturchemiker sehr geteilt darüber gewesen, ob diese Eigenschaft des Bodens auf chemischen oder auf physikalischen Ursachen beruhe, bis man in neuerer Zeit auf Grund sehr eingehender Untersuchungen wieder auf die älteren Anschauungen Ways zurückgekommen ist, die Absorption auf chemische Vorgänge zurückzuführen. Vor allem sind es die in Ton- und Lehm Böden meist in erheblicher Menge vorhandenen Kolloide der wasserhaltigen Doppelsilikate von Tonerde und Kalk, welche einen Austausch ihrer Basen ermöglichen. Wird beispielsweise eine Lösung von Chlorkalium mit einem Boden in

Berührung gebracht, der wasserhaltige Doppelsilikate von Tonerde und Kalk enthält, so bildet sich ein Tonerde-Kalisilikat, und eine äquivalente Menge Chlor findet sich nachher an Kalzium gebunden in der Lösung. Ebenso beruht die Absorptionsfähigkeit der Humusstoffe auf chemischen Umsetzungen der angewandten Salzlösungen. Eine Übersicht über die neueren Forschungen auf diesem Gebiete geben E. Ramann, E. A. Mitscherlich und H. Puchner in ihrer Bodenkunde, sowie die Arbeiten von Ganssen, Hissink u. a.

Die Aufnahme von Gasen, z. B. Ammoniakgas, durch den Boden faßt man als physikalische Anlagerung, als Adsorption, auf; sie wird in erster Linie durch die Bodenkolloide hervorgerufen.

Die mehr oder weniger hohe Absorption des Bodens steht meist in direktem Verhältnis zu seiner Fruchtbarkeit, und es ist daher von großem Wert, diese wichtige Eigenschaft zahlenmäßig festzustellen.

Um die Verhältnisse in der Natur möglichst nachzuahmen, muß man bei derartigen Versuchen stets sehr verdünnte Nährstofflösungen anwenden.

1. Die Prüfung der Absorption des Bodens mit $\frac{1}{10}$ - bzw. $\frac{1}{100}$ -Normallösungen.

Man verwendet zu diesen Absorptionsversuchen zweckmäßig die folgenden Salze: Chlorammonium, Kaliumnitrat, Kalziumnitrat, Magnesiumsulfat und Monokalziumphosphat (sauren phosphorsauren Kalk). Es sei auf die diesbezüglichen Arbeiten von Fesca (6), Pillitz (218), Zalomanoff (283) und Müller (204) verwiesen.

2. Die Knopsche Methode zur Bestimmung des Absorptionskoeffizienten.

Von Knop (22) ist für Bonitierungszwecke eine Methode in Vorschlag gebracht worden, die sich durch schnelle und leichte Ausführbarkeit sehr empfiehlt. Knop verwendet zu diesen Versuchen stets die lufttrockene Feinerde, worunter er denjenigen Teil des Bodens versteht, welcher durch ein Drahtnetz-sieb mit 400 Öffnungen auf 1 qm hindurchgegangen ist. Beim Gebrauch eines Rundlochsiebes ist meist nach dem Vorschlage Fescas der durch das 0,5 mm-Sieb gegebene Boden angewandt worden, wenngleich dieser auch ein wenig gröber ist als das von Knop verwendete Material.

Der Boden wird, falls er sehr bindig ist, mit Wasser aufgekocht und mit Hilfe eines steifen Pinsels durch das Sieb von 0,5 mm Lochweite hindurchgegeben. Zum Versuch verwendet man 50 oder 100 g der völlig lufttrocknen Feinerde und fügt je nachdem 5 oder 10 g Schlammkreidepulver hinzu. Diese Gemenge wird in einem gut verschließbaren zylindrischen Gefäße mit einer Lösung von Chlorammonium übergossen, welche so bereitet ist, daß 1 cem bei der Zersetzung mit unterbromigsaurem Natrium genau 1 cem Stickstoff (im Normalzustande) entwickelt. Man erhält diese Lösung, wenn man 5 g frisch sublimierten Salmiak genau abwägt und in 1040 cem Wasser von 17,5° C auflöst. Man setzt nun stets zu 50 g Feinerde 100, zu 100 g Feinerde 200 cem dieser Salmiaklösung hinzu und läßt den Boden unter häufigem Umschütteln 48 Stunden lang damit in Berührung. Darauf läßt man den Boden sich setzen und gießt die überstehende klare Flüssigkeit durch ein trocknes Filter. Aus dem Filtrat entnimmt man schnell mit der Pipette 20 oder 40 cem und dampft sie in einem kleinen Porzellanschälchen unter Zusatz von einem Tropfen reiner Salzsäure bis auf wenige Tropfen, doch nicht bis zur völligen Trockne, auf dem Wasserbade ein. Den im Porzellanschälchen zurückgebliebenen Salmiak spült man mit 10 cem Wasser in die eine Abteilung der Entwicklungsflasche des Knop-Wagnerschen Azotometers, zersetzt ihn mit 50 cem Bromlauge und bestimmt den Stickstoff volumetrisch. Das abgelesene Stickstoffvolumen wird unter Berücksichtigung der Tension des Wasserdampfes, des Barometerstandes und der Temperatur auf den Normalzustand berechnet und die in 60 cem Flüssigkeit absorbiert gebliebene Menge Stickstoff hinzugezählt (siehe S. 143 u. 144ff.). Falls der Boden keine Absorption besitzt, muß man 20 bzw. 40 cem Stickstoff erhalten. Knop versteht nun unter Absorption den Verlust an Stickstoff, welchen 200 cem Salmiaklösung von angegebener Konzentration bei Berührung mit 100 g Boden erfahren. Man muß daher die im Azotometer ermittelten Kubikzentimeter Stickstoff von der Anzahl der angewandten Kubikzentimeter Salmiaklösung abziehen und die Differenz auf 100 g lufttrocknen Boden unter 0,5 mm D. berechnen.

R. Ganß en verwendet bei den Absorptionsbestimmungen nach Knopscher Methode den durch das 2-mm-Sieb gegebenen Feinboden, einmal, weil dieser als Ausgangsmaterial für alle übrigen Bodenuntersuchungen dient, und zweitens, weil sich

größere Mengen Feinerde unter 0,5 mm D. wegen der Feinheit des Siebes nur mühsam herstellen lassen. Bei seiner Zusammenstellung von Ton- und Nährstoffanalysen (119) fand er, daß bei den diluvialen Böden an der Stickstoff-(Ammonium-)Absorption hauptsächlich Tonerde-Doppelsilikate beteiligt sind, welche Kalkerde als notwendigen Bestandteil enthalten müssen und welche die eine Hälfte ihrer Tonerde in lockrerer Bindung zu enthalten scheinen als die andere. Außerdem stellte er fest, daß der Humus der Sand-, Lehm- und Tonböden im allgemeinen nur in geringem Grade Ammoniak absorbiere, während der sogenannte „humussaurer Kalk“ mancher alluvialen Bildungen sehr starke Absorptionskraft zeigt.

Nun geht die Bindung des Kalkes durch ungesättigten Humus leicht vonstatten; außerdem ist die Bildung zeolithartiger Körper aus tonigen Substanzen durch Kalksalze beobachtet worden. Das sind aber die beiden Vorgänge, welche hauptsächlich bei der Absorption in Frage kommen und die man durch Zusatz von kohlensaurem Kalk zum Boden begünstigen würde. Ganßén hält aus diesem Grunde den Zusatz von kohlensaurem Kalk bei der Stickstoffabsorption für unzulässig.

Knop glaubte, daß bei der Absorption von Ammoniak aus Chlorammonium freie Salzsäure entstände, welche bei kalkarmen Böden mittels des Zusatzes von kohlensaurem Kalk unschädlich gemacht werden müsse, damit die Absorption wirklich zustande käme. Nach den Versuchen von Way beruht aber, wie oben angeführt (S. 156) worden ist, die Stickstoffabsorption auf einem Umtausch des Ammoniaks gegen Kalzium (bzw. Natrium, Magnesium) gewisser wasserhaltiger Tonerde-Doppelsilikate. Demnach würde ein Zusatz von kohlensaurem Kalk zum Boden bei der Knopschen Absorptionsbestimmung nicht erforderlich sein, da keine freie Salzsäure entstehen kann.

Jegorow (322) weist auf die Mikroflora des Bodens hin, die den Absorptionskoeffizienten beeinflussen könne. Er empfiehlt neben der gewöhnlichen Knopschen Methode Bestimmungen in Anwesenheit eines Antiseptikums (Toluol).

Die Bestimmung des Knopschen Absorptionskoeffizienten ist zur Beurteilung der Fruchtbarkeit eines Bodens von hohem Werte, denn wenn es auch in Ausnahmefällen, z. B. bei Auftreten pflanzenschädlicher Stoffe, vorkommen kann, daß ein ganz unfruchtbarer Boden eine hohe Absorption besitzt, so

wird doch niemals ein Boden von ganz geringer Absorption zu den sehr fruchtbaren Bodenarten gerechnet werden können. Knop bezeichnet die Absorptionen von 0—5 für ungenügende, von 5—10 für genügende, während die von 10 zu 10 höheren Grade fortschreitend den Wert des Bodens erhöhen. Nach den Untersuchungen von Ganßen schwankt die Absorption der Sandböden bis zu den schweren Tonböden bis zu 100—150 ccm; sie wurde mehr von den anorganischen als von den organischen Kolloiden begünstigt.

Bei der Bonitierung nach der Absorption muß man sich stets vergegenwärtigen, daß es völlig verkehrt wäre, den Boden nur nach dieser einen Eigenschaft beurteilen zu wollen, denn eine einzelne für den Boden günstige Eigenschaft kann durch andere ungünstig wirkende hinsichtlich ihres Wertes völlig aufgehoben werden.

Die Methode Hissink zur Trennung von kohlensaurem Kalk, adsorptiv gebundenen Basen und in Salzsäure löslichen Basen in Tonböden, die keine im Wasser löslichen Salze enthalten, beruht darauf, daß die adsorptiv gebundenen Basen des Bodens (Kalk, Magnesia, Kali und Natron und — falls vorhanden — auch Ammon) durch Auslaugung des Bodens mit Lösungen von NH_4Cl , KCl , NaCl quantitativ gegen die Kationen aus der Lösung austauschen, während die säurelöslichen Basen nicht angegriffen werden. Hissinks verdienstvolle Methode gestattet uns, die Mengen der adsorptiv gebundenen Basen genau zu bestimmen. Es sei auf die Originalarbeit des Verfassers (319) verwiesen, in der die Methode eingehend beschrieben wird.

C. Das Verhalten des Bodens gegen Wasser.

Der Boden ist das Wasserreservoir für die Pflanzen; aus ihm entnehmen sie durch die Wurzeln die zu ihrem Wachstum völlig unentbehrliche Wassermenge. Da das physikalische Verhalten der Bodenarten zum Wasser ein sehr verschiedenes ist, so wird dieser Umstand die Vegetation teils in günstiger, teils in ungünstiger Weise beeinflussen. Es ist daher von großem Werte, die Beziehungen des Bodens zum Wasser durch entsprechende Versuche zahlenmäßig festzustellen, weil dadurch ein wichtiger Maßstab zur Beurteilung der Güte des Bodens gewonnen wird.

Reiche Belehrung hierüber sowie überhaupt in betreff der physikalischen Eigenschaften des Bodens gewähren die von E. Wollny seit 1878 herausgegebenen „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikultur-Physik“.

1. Die Wasserkapazität.

Die Fähigkeit des Bodens, bei der Berührung mit Wasser eine gewisse Menge desselben zurückzuhalten, bezeichnet man als Wasserkapazität oder wasserhaltende Kraft.

Diese ist von sehr verschiedenen Eigenschaften der Ackerkrume und ihres Untergrundes abhängig: vor allen Dingen von der mechanischen Zusammensetzung, also der Korngröße des Bodens, wobei der Gehalt an feinsten Teilen eine wichtige Rolle spielt, sodann von dem Humusgehalt, durch den z. B. die Torfe ihre hohe Wasserkapazität erhalten, von der hohen oder tiefen Lage des Bodens und seinem Verhältnis zum Grundwassersande und endlich von den Lagerungsverhältnissen der Untergrundschichten.

Man hat die Wasserkapazität durch Versuche im Laboratorium und auf dem Felde zu ermitteln versucht. Infolge der sehr abweichenden Resultate jedoch, die man in beiden Fällen erhält, hat sich bereits Wolff (55), sodann Heinrich (140) und Kopecký (333) sehr bestimmt dahin ausgesprochen, daß die Kapazitätsbestimmung der Bodenarten für Wasser eigentlich nur mit dem Boden in seiner natürlichen Lagerung auf dem Felde ausgeführt werden dürfte, wenn man Zahlenverhältnisse erlangen will, welche für die Praxis der Pflanzenkultur verwertbar sind.

Obwohl wir uns dieser Ansicht anschließen, so sollen doch der Vollständigkeit wegen die bisher gebräuchlichen Methoden bei Versuchen im Laboratorium kurz besprochen werden.

a. Die Bestimmung der Wasserkapazität durch Versuche im Laboratorium.

In ein Porzellanschälchen werden 100 g des lufttrocknen Feinbodens mit 100 ccm destilliertem Wasser übergossen und seine vollständige Durchtränkung durch Umrühren mit einem Glasstabe bewirkt. Darauf spült man den Boden mit 100 ccm Wasser, die man aus einer Pipette ausfließen läßt, auf einen Trichter, auf welchem sich ein mit Wasser durchtränktes Filter befindet. Das ablaufende Wasser wird in einem graduierten

Zylinder von 200 ccm aufgefangen und seine Menge, wenn kein Abtropfen mehr stattfindet, in Kubikzentimeter abgelesen. Die Differenz zwischen der angewandten (200 ccm) und der aufgefangenen Wassermenge entspricht dem vom Boden zurückgehaltenen Wasserquantum. Dieses Verhalten des Bodens, welches seinem verhältnismäßig höchsten Auflockerungszustande entspricht, ist als größte oder volle Wasserkapazität bezeichnet worden. Man berechnet sie auf 100 Gewichtsteile sowie auf 1 l des bei 100° C getrockneten Bodens.

Man kann diese volle Kapazität auch in der Weise bestimmen, daß man 100 g des lufttrocknen Feinbodens (unter 2 mm D.) in der angegebenen Weise mit einer beliebigen Menge überschüssigen Wassers anrührt, das Ganze mit Hilfe einer Spritzflasche auf einen zuvor gewogenen Trichter bringt, in dessen Spitze sich ein kleines Filterchen befindet. Der mit einem Uhrglase zugedeckte Trichter wird gewogen, wenn nach längerem Stehen kein Abtropfen des Wassers mehr stattfindet. Diese beiden Methoden sind bei leicht durchlässigen Bodenarten ganz gut verwendbar, haben jedoch bei sehr tonigen und humosen Böden den Übelstand, daß das Abtropfen des Wassers schon aufhört, wenn sich die Masse noch in einem dünnbreiigen Zustande auf dem Filter befindet.

Da es, um genau vergleichbare Resultate zu erhalten, notwendig ist, daß sich die angewandten Bodenproben immer in demselben Auflockerungszustande befinden, so ist für den Laboratoriumsversuch von E. Wolff (282) eine Methode vorgeschlagen worden, die dies möglichst

zu erreichen sucht. Man benutzt hierzu zweckmäßig den in Abb. 61 dargestellten Apparat. Dieser besteht aus einem zylindrischen Glasrohre von 4 cm lichtem Durchmesser, welches 10 cm vom oberen Rande entfernt eingezogen ist, so daß dadurch an der Innenfläche eine wulstige, ringförmige Erhebung gebildet wird. Der untere Teil des Rohres vom Beginn der Einschnürung ab ist 2,5 cm lang und am unteren Rande mehrfach ausgeschweift, um beim Hineinstellen des

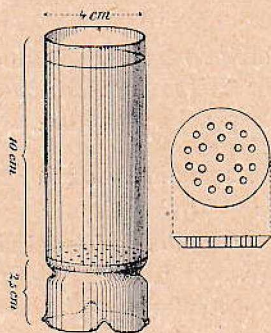


Abb. 61. Glaszylinder zur Bestimmung der Wasserkapazität nach Wagners Methode.

Apparates in Wasser seinen Eintritt von unten her zu erleichtern. Auf den ringförmigen Glaswulst legt man von oben eine runde, knapp in den Zylinder hineinpassende Glasscheibe von konischem Querschnitte, welche siebartig durchbohrt worden ist. Vor dem Gebrauche legt man ein Stück feiner Leinwand genau von der Größe des Siebbodens auf diesen, überbindet den Zylinder unten mit einem Stück Kautschuk und füllt zunächst seinen unteren Teil bis zum Siebboden mit Wasser, so daß die Leinwand eben angefeuchtet erscheint. Darauf gießt man 100 cem Wasser von 16° in den Zylinder hinein und bringt genau über dem Wasserspiegel an der Außenseite des Zylinders durch Einritzen mit einem Schreibdiamant eine Marke an. Dies geschieht aus dem Grunde, um den Zylinder, nachdem der angefeuchtete Leinwandlappen auf den Siebboden gelegt ist, zugleich zur Bestimmung des Volumgewichtes von 100 cem Boden benutzen zu können.

Bei Bestimmung der Wasserkapazität verfährt man nun in der Weise, daß man nach Entfernung des Kautschukverschlusses am unteren Ende das feuchte Leinwandlappchen auf den Siebboden legt, den Apparat in ein Schälchen stellt und ihn auf der Trierewage wägt. Darauf füllt man den Zylinder mit dem gleichmäßig zerteilten, lufttrocknen Feinboden unter immerwährendem Aufstoßen auf einer weichen Unterlage bis zum Striche an und ebnet die Oberfläche des Bodens mit einem glatten Pistill. Den abermals gewogenen Zylinder stellt man alsdann in eine Glaswanne, die mit Wasser gefüllt ist, so tief hinein, daß der Siebboden 5–10 mm tief in das Wasser eintaucht. Über die Röhren deckt man eine schwere Glasglocke, welche sie von der Luft abschließt

(Abb. 62). Auf diese Weise nun läßt man den Boden sich von unten her mit Wasser vollsaugen. Je nach seiner Beschaffenheit wird man nach längerer oder kürzerer Zeit seine Durchfeuchtung an der Oberfläche bemerken. Man läßt den Zylinder so lange unter der Glasglocke stehen, bis er bei wiederholtem Wägen, wobei man ihn in ein flaches Porzellanschälchen stellt, ein annähernd konstantes Gewicht besitzt. Temperatur und Barometerstand sind bei der Wägung zu bemerken. Die Gewichtszunahme des Zylinders

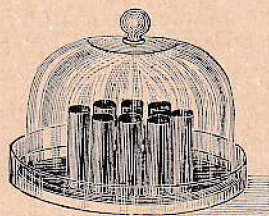


Abb. 62. Apparat zur Bestimmung der Wasserkapazität.

entspricht der gesamten Menge des absorbierten Wassers, welche direkt auf Bodenvolum berechnet werden kann.

Der Verband der landwirtschaftlichen Versuchsstationen in Österreich (30) schlägt zur Bestimmung der Wasserkapazität vor, einheitlich einen Nickelblechzylinder von 4 cm Durchmesser und 16 cm Höhe (Volumen = 201 ccm) zu benutzen. Die „Feinerde“ (< 1 mm) wird, wie oben angegeben, in den Zylinder gefüllt, der Boden dann von oben nach und nach mit Wasser übersättigt und das überschüssige Wasser abtropfen gelassen, wobei der Zylinder mit einem Uhrglase zu bedecken ist, um die Verdunstung hintanzuhalten. Die Gewichtszunahme, auf 100 Raum- oder 100 Gewichtsteile berechnet, ergibt die Wasserkapazität.¹

Ein anderes Verfahren, welches den natürlichen Verhältnissen noch mehr entspricht, ist von Ad. Mayer (343) angewandt worden. Er benutzt zwei Glasröhren von 0,75 und 0,25 m Länge, deren lichter Durchmesser 2 cm beträgt. Das obere, kürzere Ende ist mit dem längeren durch einen kurzen Kautschukschlauch verbunden. Das längere Rohr wird unten mit einem Stückchen Leinwand zugebunden. Die Rohre werden unter mäßigem Aufstoßen auf einer weichen Unterlage mit lufttrocknem Feinboden gefüllt. Darauf gießt man oben so viel Wasser darauf, daß vorübergehend die volle Wasserkapazität vorhanden ist. Wenn man nun einige Zeit wartet, so findet ein Abwärtssinken der Wassersäule statt. Tropft kein Wasser unten mehr ab, so wird der Kautschukverband unten gelöst, eine hinreichende Menge Boden an dieser Stelle herausgenommen, schnell gewogen und das von ihm festgehaltene Wasser durch Trocknen bei 100° C ermittelt. Mit Hilfe des scheinbaren spezifischen Gewichtes (S. 153) läßt sich die Wasserkapazität des Bodengewichtes auf Bodenvolum umrechnen. Mayer hat die so erhaltene geringste vom Boden festgehaltene Wassermenge als absolute Wasserkapazität bezeichnet. Bei sehr tonigen Bodenarten ist diese Methode wegen der sehr langsamen Durchdringbarkeit der ersteren nicht anzuwenden.

Auch auf den zur Bestimmung der Aufnahmefähigkeit des Bodens an Wasser sehr geeigneten Apparat von J. L. Beeson (76) soll hier noch hingewiesen werden. Dieser besteht aus einer graduierten Quetschhahn-Bürette mit seitlichem Ansatzrohr am unteren Ende, wodurch sie vermittels eines langen Kautschukschlauches mit dem unteren dünnen Ende einer Extraktionsröhre nach Stutzer verbunden werden kann. In letztere, die in ihrem engen Teile mit einer Marke versehen ist, bringt man einen siebartigen Glasboden,

durch dessen Mittelpunkt eine an beiden Enden offene und oben umgebogene dünne Glasröhre hindurchgeht und an diesen angeschmolzen ist. Der Siebboden wird mit einem Stückchen angefeuchteten Filtrierpapiers bedeckt und alsdann ein gewogenes Bodenquantum in das Rohr eingefüllt. Die mit Wasser erfüllte Bürette wird nun so gestellt, daß der Meniskus des Wasserspiegels auf dem oberen mit 0 cm bezeichneten Striche gerade aufsitzt, während der Wasserspiegel im Extraktionsrohre die Marke im unteren Teile erreicht. Darauf hebt man die Bürette so weit, bis das Wasser über dem Boden steht, und senkt sie nach einiger Zeit wieder, bis der Wasserspiegel an der Marke im Extraktionsrohre mit dem Stande in der Bürette gleiches Niveau hat. Die Differenz zwischen dem anfänglichen und nunmehrigen Wasserstande in der Bürette bezeichnet die Anzahl der Kubikzentimeter Wasser, welche vom Boden aufgenommen worden sind.

b. Die Bestimmung der Wasserkapazität des Bodens in seiner natürlichen Lagerung auf freiem Felde.

Das nachstehend beschriebene Verfahren wurde von R. Heinrich (17) angegeben und verdient den Versuchen im Laboratorium entschieden vorgezogen zu werden. Um den Boden in seiner natürlichen Lage auf dem Felde mit Wasser zu sättigen, wird ein runder Blechzylinder von 20 cm Durchmesser und 40 cm Höhe mit dem unteren, zugeschärfen und aus starkem Eisenblech bestehenden Rande 1—2 cm tief in den Boden eingetreten. Zu diesem Zwecke ist der Zylinder seitlich mit zwei Trittleisten versehen, während innerhalb in seinem oberen Teile ein feines Sieb angebracht ist, um den Fall des einzugießenden Wassers zu mildern und den Boden nicht mechanisch aufzuschlämmen. Nachdem der Zylinder fest eingetreten ist, so daß seitwärts kein Wasser ausfließen kann, wird er mit Wasser ganz vollgefüllt. Man läßt nun das Wasser in den Boden einziehen und bedeckt letzteren, um ihn gegen Verdunstung und andere Einflüsse zu schützen, mit einem Brett oder einem Bogen Pergamentpapier. Die Probeentnahme geschieht nach Verlauf von 18—24 Stunden, da erst dann nach den Versuchen von Heinrich die festgehaltene Wassermenge für längere Zeit konstant bleibt. Man sticht nach dem Herausnehmen des Zylinders die Erde mit einem Spaten bis zur Mitte der von dem Blechzylinder begrenzten Fläche heraus, gebraucht jedoch dabei

die Vorsicht, die Fläche des Spatens immer von der zu entnehmenden Probe sanft abzudrängen. Die oberste, 2–4 cm starke Bodenschicht wird entfernt und aus der Mitte der durchtränkten Oberkrume ein Stück mit dem Messer herausgeschnitten und in eine luftdicht verschließbare Pulverflasche von bekanntem Gewicht eingefüllt. Das Wasserquantum, welches der Boden zurückhält, wird durch anhaltendes Trocknen bei 100° C der in der Flasche gewogenen Probe ermittelt und auf 100 g sowie auf 1 l Boden berechnet. Die über 0,5 cm großen Steinchen, welche sich in der Probe befinden, werden späterhin ausgelesen und ihr Gewicht in Abzug gebracht. Die geringe Menge Wasser, welche diesen Steinen anhaftet, kann unberücksichtigt bleiben.

Die soeben beschriebene Methode ist später von Heinrich dahin abgeändert (16), daß der Boden bis zum Untergrunde ausgehoben und der Zylinder auf den Untergrund gesetzt wird. Die Ackerkrume wird dann außerhalb des Blechzylinders in ihre frühere Lage gebracht, dagegen der Rest der Krume durch das Sieb mit möglichst wenig Wasser eingeschlämmt, so daß alle größeren Steine zurückbleiben. Zur Wasserbestimmung wird der Boden nach etwa 24 Stunden mit einem Hohlbohrer ausgehoben, dessen untere Öffnung einer Fläche von 1 qcm entspricht.

J. Kopecký (333), welcher die Wasserkapazität nur durch eine einzige mathematisch absolute Größe ausgedrückt wissen will, hat ebenfalls die Bestimmung der Wasserkapazität dem praktischen Bedarf der direkten Untersuchung im Felde angepaßt und einen Probeentnahmeapparat konstruiert, mit Hilfe dessen es möglich ist, eine Erdprobe von bestimmtem Volumen dem Boden zu entnehmen. Der Apparat besteht aus einem 20 cm hohen Stahlrohr, welches unten mit einer Schneide versehen ist; in das Stahlrohr lassen sich kleine Messingringe einschieben, deren der Schneide zunächst gelegener die Probe zur Bestimmung der Wasserkapazität aufnimmt. Die Höhe dieses Ringes beträgt 35 mm, der Durchmesser 50,5 mm, der Inhalt demnach 70 ccm. Mit der so entnommenen Probe wird direkt an Ort und Stelle (neben den Bestimmungen des Porenvolumens, der Luftkapazität und des spezifischen Gewichtes) die Wasserkapazität bestimmt. Ein von Kopecký zusammengestelltes „pedologisches Feldlaboratorium“ enthält sämtliche für diese Untersuchungen nötigen Apparate. Ramann und Engler (298) ziehen ein 1 l haltendes Modell mit 100 qcm Querschnitt

dem kleinen von Kopecký vor, im Sinne des letzteren, der jetzt ebenfalls auch größere Rohre benutzt.

Es werden von jeder Stelle der Probeentnahme immer zugleich zwei Proben zu je 70 cem entnommen und mit Wasser gesättigt. Eine Probe kommt auf ungeleimtes Papier zu stehen, während die andere auf sie aufgesetzt wird, und zwar anfangs so, daß ein Sieb die Proben trennt. Auf diese Weise wird ein Aneinanderhaften beider Proben tunlichst vermieden. Nach zwei Stunden entfernt man das Sieb, und es kommt dann die obere Probe mit der unteren in direkte Berührung, so daß nunmehr das überschüssige Wasser, das die obere Probe vermöge der wasserhaltenden Kraft nicht mehr zu halten vermag, an die untere Probe abgegeben wird. Das Ganze geschieht unter einer Glasglocke, um eine Austrocknung zu verhindern; erst nach 24 Stunden erfolgt die Wägung der oberen Probe.

Eine genaue Beschreibung dieser Methode und der zu ihr erforderlichen Apparate gibt Kopecký in seiner diesbez. Schrift (333). Vgl. auch Kraus (334).

Burger (298) sättigt die nach Methode Kopecký ausgehobene Probe sofort im Wassertroge. Dehnt sich bei der Sättigung der Boden aus, so wird nacher der aufgequollene Boden mit einem Messer dem Zylinderrande nach scharf abgeschnitten. Aufquellungen von mehr als 10% konnte er nie feststellen. Im Gegensatz zu Kopecký läßt Burger seine Proben nach der Sättigung nur 24 Stunden vertropfen, um die Verdunstungsmengen möglichst zu reduzieren.

2. Die Verdunstungsfähigkeit des Bodens.

Bei der Bestimmung der Verdunstungsfähigkeit des Bodens muß man ebenfalls die natürlichen Verhältnisse möglichst nachzuahmen suchen, indem man eine hinreichend dicke Erdschicht dem wechselnden Einfluß der direkten Sonnenbestrahlung und der Beschattung aussetzt. Man verwendet hierzu zweckmäßig die bei der Bestimmung der Wasserkapazität beschriebenen zylindrischen Glasrohre mit Siebboden. Diese werden nach E. Wolffs Angabe mit einer engen Hülse von dicker Pappe umgeben und, gefüllt mit Boden im Zustande der vollen Wasserkapazität, nebeneinander in ein Holzkistchen gestellt, dessen verschiebbarer Deckel dem Durchmesser der Zylinder entsprechende Ausschnitte besitzt, so daß die seitliche Sonnenbestrahlung völlig abgehalten wird. Dieses Kistchen wird ins

Freie gestellt, während man alle 24 Stunden die Glaszylinder aus den Hüllen herausnimmt und ihre Abnahme durch Wägung ermittelt. Hierbei ist die Temperatur der umgebenden Luft, ihr Feuchtigkeitszustand, der jeweilige Barometerstand und die wolkige oder wolkenlose Beschaffenheit des Himmels zu notieren. Da das Gewicht der angewandten Menge des lufttrocknen Bodens sowie die von ihm festgehaltene größte Wassermenge bekannt sind, so kann man die Verdunstungsfähigkeit entweder in Prozenten der bei 100° C getrockneten Substanz oder in Prozenten der gesamten absorbierten Wassermenge angeben.

Eine andere Methode zur Prüfung der Verdunstungsfähigkeit des Bodens rührt von W. Wolf her. Die durch diese erhaltenen Resultate weichen jedoch wesentlich von denjenigen der zuerst beschriebenen Methode ab.

Drahtnetzwürfel von 6 cm Durchmesser, deren obere Seite offen ist, werden an den Innenflächen mit Fließpapier belegt und unter gelindem Aufklopfen mit lufttrocknem Feinboden gefüllt. Darauf werden sie 2 cm tief in destilliertes Wasser eingesenkt, bis sich der Boden ganz mit Wasser vollgesaugt hat. Nach dem Wägen werden sie in der Luft frei aufgehängt. Unter Berücksichtigung der Temperatur wägt man die Würfel in Zwischenräumen von 12 zu 12 Stunden, bis der Boden seinen ursprünglichen lufttrocknen Zustand wieder angenommen hat.

3. Die Durchlässigkeit des Bodens.

Unter der Durchlässigkeit oder Filtrationsfähigkeit des Bodens versteht man seine Eigenschaft, das Wasser in längerer oder kürzerer Zeit durchsickern zu lassen. Die Durchlässigkeit eines Bodens ist hauptsächlich von den größeren, nicht kapillarwirkenden Hohlräumen des Bodens abhängig. Um diese Fähigkeit zahlenmäßig festzustellen, bedient man sich nach E. Wolff eines 25 cm hohen und 3 cm weiten viereckigen Zinkkästchens, welches unten mit einem trichterförmigen Ansatz mit Ausflußrohr versehen ist. Das letztere wird mit Baumwolle verschlossen, welche ein wenig aus dem Rohre herausragt. Zur Ausfüllung der trichterförmigen Einschnürung des Apparates wird grober Quarzsand in diesen hineingeschüttet. Erst nachdem die Baumwolle und der Sand mit Wasser durchfeuchtet sind, wird der Apparat gewogen. Darauf füllt man eine 16 cm mächtige Schicht lufttrocknen Bodens unter fort-

währendem, gelindem Aufklopfen auf einer weichen Unterlage in das Kästchen ein und wägt von neuem. Der Boden wird mit Wasser übergossen und das Kästchen, wenn kein Abtropfen mehr stattfindet, wiederum gewogen. Man erhält so die volle Wasserkapazität.

Nun gießt man 8 cm Wasser oben auf den Boden, ohne ihn aufzurühren, und bestimmt, wieviel Zeit dazu gehört, bis kein Abtropfen an der Ausflußröhre mehr stattfindet. Die Filtrationsfähigkeit dieser 16 cm hohen Bodenschicht im Zustande der vollen Wasserkapazität für eine 8 cm hohe Wassersäule wird in Stunden angegeben. Da jedoch bei der Wiederholung des Versuches fast immer mehr Zeit zum Durchfiltrieren gebraucht wird als beim ersten Male, so muß man das Experiment fünf- bis sechsmal wiederholen und aus den Resultaten das Mittel nehmen. Bei sehr tonigen Bodenarten ist diese Methode nicht anzuwenden, da das aufgegossene Wasser darüber steht, ohne abzufließen.

Man kann den Versuch auch so ausführen, daß man in einen graduierten Zylinder jedesmal genau 50 ccm hineintropfen läßt und die dazu verbrauchte Zeit notiert.

Wollny verwandte bei seinen Versuchen zur Bestimmung der Filtrationsfähigkeit des Bodens den von D. von Welitschowsky (389) angegebenen Apparat. Mitscherlich hat bei seinen Versuchen konstanten Druck der Wassersäule hergestellt.

Auch die mechanische Analyse gestattet sichere Rückschlüsse auf die Durchlässigkeit eines Bodens und auf verschiedene wichtige Eigenschaften desselben (undurchlässig, naß, kalt, träge bzw. durchlässig, trocken, warm, tätig usw.).

Von weit größerem Wert als diese Versuche an künstlichen Bodengemengen sind Untersuchungen am natürlich gelagerten Boden, wie sie in erster Linie von Kopecký eingeführt sind. Dieser treibt einen 10 cm hohen Zylinder mindestens 40 cm tief in den Boden hinein. Kopecký versteht unter relativer Durchlässigkeit diejenige Wassermenge in Kubikzentimetern, welche in 24 Stunden durch eine Bodensäule von 10 cm Höhe und 10 qcm Querschnitt hindurchsickert; er geht vom gesättigten Boden aus, um allgemein vergleichbare Resultate zu bekommen. Burger (298) schlägt vor, um vergleichbare Werte zu bekommen, Zylinder von 100 qcm Querschnitt zu verwenden und dieselben überall einheitlich 10 cm tief einzuschlagen. Es sei auf die Originalarbeit verwiesen.

4. Das Aufsaugungsvermögen des Bodens.

Wenn das auf die Oberfläche des Bodens gelangende Wasser einzig und allein der Anziehungskraft der Erde zu folgen hätte, so würde es auf hochgelegenen Plateaus, die nach allen Seiten hin abfallen, sehr bald in die tieferen Schichten des Untergrundes hinabsickern. Allein dieser Schwerkraft wirkt das Vorhandensein von feinen kapillaren Hohlräumen innerhalb des Bodens entgegen, infolgedessen er imstande ist, sich vor dem gänzlichen Austrocknen zu schützen, indem das in den tieferen Schichten zirkulierende Grundwasser dadurch in die Höhe gehoben und so den Wurzeln zugeführt wird. Das Aufsaugungsvermögen steht also in engster Beziehung zu der mechanischen Zusammensetzung des Bodens; je feiner die Gemengteile, desto mehr kapillare Hohlräume und desto größer das Aufsaugungsvermögen. Das kapillar festgehaltene Wasser bestimmt im wesentlichen den Kulturwert des Bodens, während jeder Überschuß an Grundwasser die Vegetation benachteiligt und durch Entwässerungsanlagen beseitigt werden muß. Aus diesem Grunde wird beispielsweise der Wasserstand in den Abzugsgräben der Rimpauschen Moordammkulturen stets 1 m unter der Oberfläche gehalten.

Um das Aufsaugungsvermögen oder die Kapillaranziehung durch den Versuch festzustellen, werden 100 cm lange Glasröhren von 2 cm lichtigem Durchmesser am unteren Ende mit feinem Mull verschlossen, indem man zweckmäßig einen Kautschukring darüberzieht (Abb. 63 *D*). Die Röhren werden unter gelindem Aufklopfen mit lufttrocknem Feinboden (unter 2 mm) gefüllt und in senkrechter Stellung 1–2 cm tief in eine mit Wasser gefüllte Glaswanne *B* eingesenkt. Es empfiehlt sich dazu als zweckmäßig das in Abb. 63 abgebildete Stativ *A*, welches für 10 Röhren *C* eingerichtet ist, die oben, um sie im Wasser schwebend zu erhalten, durch einen Kautschukring *E* befestigt sind.

Man ermittelt nun mit Hilfe eines Metermaßstabes, wieviel Zeit die Flüssigkeit gebraucht, um von unten her 20–30–40–50–60–70 cm hoch aufzusteigen, und in welcher Zeit sie das Maximum des Aufsteigens erreicht hat. Das aus der Glaswanne von dem Boden aufgenommene Wasser ist stets zu ersetzen.

Man kann den Versuch auch derartig gestalten, daß man die Höhen mißt, bis zu welchen die Flüssigkeit in 24–48–72–96–120 Stunden gestiegen ist.

Von Interesse ist es auch, wenn man nach Beendigung des Versuches die Röhren in 1 dem lange Stücke zerschneidet und den Wassergehalt in ihnen getrennt bestimmt. Beiläufig sei hier bemerkt, daß man die Röhren von 100 cm Länge auch dazu benutzen kann, um festzustellen, wie tief und wie schnell eine Wassersäule von bestimmter Höhe (z. B. von 10 cm) in den lufttrocknen Boden von oben her sich einsenkt.

Gannon (309)

bestimmt die aufsteigende Kapillarität der Böden, indem er die kapillare Spannung durch die Verringerung des Drucks im geschlossenen Arm eines Manometers, der mit dem die Bodenprobe enthaltenden Behälter verbunden ist, mißt. Die größte Fehlerquelle auch dieser Methode ist die, daß der Boden seine natürliche Struktur verloren hat.

Auch einzelne Bodenkonstituenten und die durch die mechanische Analyse getrennten Körnungspunkte des Bo-

dens auf ihre Kapillarität zu untersuchen, ist von besonderem Werte. In dieser Hinsicht kann besonders auf die Arbeiten von Ad. Mayer (188) und von Klenze (324) verwiesen werden, die sehr wertvolle Resultate zur praktischen Beurteilung der verschiedenen Bodenarten geliefert haben.

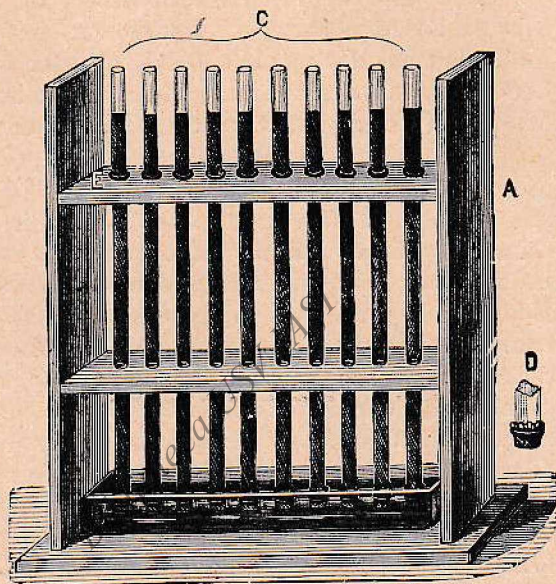


Abb. 63. Stativ zur Bestimmung der Kapillarität.

D. Das Verhalten des Bodens gegen Gase.

1. Bestimmung des hygroskopischen Wassers.

Haig (315) bestimmt die hygroskopische Feuchtigkeit der Böden dadurch, daß er den Boden mit Kalziumkarbid in Pulverform anrührt und das sich bildende Azetylen mittels eines Nitrometers mißt. Das Verfahren soll niedrigere, aber sicherere Ergebnisse liefern, als wie man sie durch Trocknen der Böden bei 100° C während 12–24 Stunden erhält.

Bouyoncoz (295) bestimmt die „untätige“ oder „gebundene“ Feuchtigkeit nach der dilatometrischen Methode.

Das hygroskopisch (und chemisch) gebundene Wasser wird bei Sand- und Kiesböden ausreichend genau durch Trocknen im Luftbade bei 105–106° C bestimmt; bei Lehm-, Ton- und Moorböden ist nach Albert und Bogs dagegen die unten beschriebene Methode von Mitscherlich-Trocknen der Bodenprobe im Vakuum über Phosphorpentoxyd bei Wasserbadtemperatur — vorzuziehen, bzw. die Destillationsmethode nach Schwalbe (247), die sich für die gewöhnliche Trockensubstanzbestimmung als exakt genug und der Methode Mitscherlichs gegenüber als einfach und schnell erwies.

2. Die Absorptionsfähigkeit des Bodens für Wasserdampf.

Um den Sättigungsgrad des Bodens in einem mit Wasserdünsten erfüllten Raume zu bestimmen, bringt man 10 g des lufttrocknen Feinbodens in ein flaches Zinkkästchen von 25 qcm Bodenfläche und breitet diesen möglichst gleichmäßig darin aus. Nachdem das Kästchen mit dem Boden gewogen, stellt man ein ebensolches von gleicher Größe, aber in leerem Zustande, nachdem es ebenfalls zuvor gewogen, mit dem ersteren zusammen auf einen Dreifuß unter eine in Wasser eintauchende Glasglocke. In diese hängt man ein Thermometer hinein und liest bei jeder Wägung zugleich die Temperatur ab. Nach 24 Stunden wird das mit Boden gefüllte sowie das leere Zinkkästchen gewogen und die Gewichtszunahme des letzteren von der Gewichtszunahme des ersteren in Abzug gebracht. Die Wägungen werden in Zwischenräumen von 24 zu 24 Stunden wiederholt, bis man unter gleichen Temperaturverhältnissen ein annähernd konstantes Gewicht erhält. Die zurückgehaltene Feuchtigkeit wird auf 100 g des bei 100° C getrockneten Bodens berechnet und als Absorptionsfähigkeit für Wassergas bezeichnet.

3. Bestimmung der Hygroskopizität des Bodens nach Rodewald-Mitscherlich.

Mitscherlich empfiehlt als einfachste und beste Methode der Bestimmung der Bodenoberfläche die Messung der Hygroskopizität. Nach Rodewalds Definition entspricht diese der Wassermenge, welche die Oberfläche eines Körpers mit einer Molekülschicht Wasser bedeckt, sie „benetzt“. Der Boden wird,

wie Rodewald in seinen theoretischen Berechnungen darlegt, durch das „hygroskopische Wasser“ in seiner Oberfläche gerade benetzt, so daß jedes weitere Wasser die Bodenoberfläche nicht mehr direkt berühren, sondern sich als „Kapillarwasser“ an das „Benetzungswasser“ anlegen wird.

Bezüglich der Theorie der Hygroskopizitätsmessung sei auf Rodewalds Arbeiten verwiesen).

Die Bodenoberfläche wird als eine für den einzelnen Boden typische und gleichbleibende Größe angesehen, durch welche nach Mitscherlich alle landwirtschaftlich wichtigen physikalischen Eigenschaften des Bodens mitbedingt werden. Es sei auf die Einwendungen hingewiesen, welche Wache (387) und Zucker (395) gegen diese Methode erheben.

Zur Bestimmung der Hygroskopizität sind zwei Glasgefäße erforderlich nach Art der Exsikkatoren, für die Mitscherlich die in den Abb. 64 und 65 dargestellte Zusammenstellung empfiehlt).

Die von Mitscherlich konstruierten Apparate bestehen aus einem Vakuumexsikkator (Abb. 64) und dem Hygroskopizitätsapparat (Abb. 65). Der Vakuumexsikkator *a* ist ein gut gekühltes, annähernd halbkugelförmiges, 4–7 mm starkes Glasgefäß, dessen oberer Rand plan geschliffen ist; *b* ist ein gewölbter, am Rande plan geschliffener Messingdeckel, an welchem sich eine Tube (*c*) befindet, durch welche die Luft aus dem Apparate ausgepumpt wird. Zum Verschließen des letzteren ist an der Tube ein dickwandiger Schlauch (*d*) aus Gummi von „bester Dampfqualität“ mit Fett aufgesetzt, welcher nach dem Auspumpen der Luft aus dem Gefäße mit einem Glasstopfen verschlossen wird.

Deckel und Gefäß werden in der Weise gedichtet, daß zwischen beide Teile nach schwacher Einfettung ihrer abgeschliffenen Ränder ein etwa 0,8 mm starker und etwa 1–1,5 cm harter Ring aus Paragummi (*e*) gelegt wird. Diese Dichtung ist nötig, da der Vakuumexsikkator in strömenden Dampf gebracht werden soll, ohne daß dabei das Vakuum verlorengeht.

Das Öffnen des Exsikkators nach dem Trocknen geschieht, nachdem er zuvor mit trockener Luft gefüllt ist, durch Herausziehen des Gummiringes, wobei der Zug, um den Ring zu schonen, möglichst in tangentialer Richtung zu geschehen hat, oder durch Erwärmen des Metalldeckels und Abheben unter leichtem Druck.

Der Boden des Gefäßes wird mit chemisch reinem Phosphor-
pentoxyd (*f*) beschickt. Dies wirkt nur so lange vollkommen,
als noch weißes Phosphorpentoxyd an der Oberfläche der Wasser
absorbierenden Substanz vorhanden ist. In das Gefäß setzt man

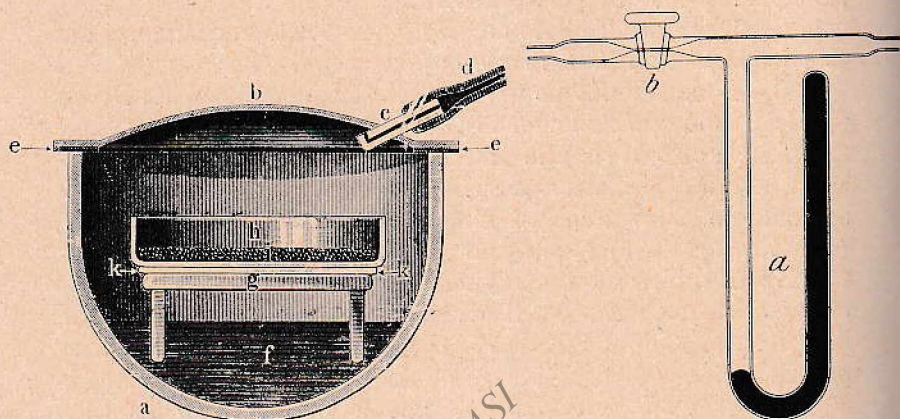


Abb. 64. Vakuumgefäß zum Trocknen des Bodens für die Bestimmung der Hygroskopizität;
 $\frac{2}{5}$ natürl. Größe (nach Rodewald und Mitscherlich). Rechts Manometerkapillare
($\frac{3}{5}$ nat. Gr.).

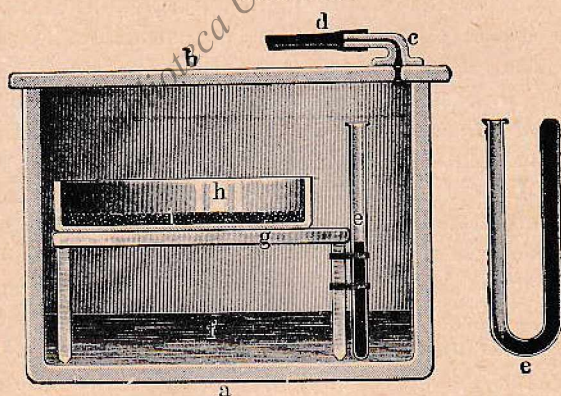


Abb. 65. Gefäß zum Wiedersättigen des getrockneten Bodens mit Wasser für die Bestimmung
der Hygroskopizität (nach Rodewald und Mitscherlich).

einen Glasdreifuß (*g*), der eine runde Glasscheibe (*k*) trägt und
darüber das Glasschälchen (*h*), welches den zu trocknenden
Boden (*i*) aufnimmt. Die Glasplatte soll Beschläge, welche
durch Verstäuben des Phosphorpentoxyds beim Evakuieren
entstehen können, von dem Schälchen fernhalten. Die Glas-
scheibe muß den gleichen Durchmesser wie das Schälchen haben.

Wegen des Überdestillierens des Quecksilbers läßt sich ein Quecksilbermanometer nicht anbringen. Das Vakuum muß daher nach dem Evakuieren und nach dem Trocknen durch Vorlage eines Manometers geprüft werden. Da nach dem Trocknen durch Schwefelsäurewaschflaschen langsam durchgeleitete trockne Luft in den Exsikkator eingelassen werden muß, so schlägt Mitscherlich vor, hierfür ein mit einem Glashahne versehenes Quecksilbermanometer zu verbinden (siehe Abb. 64 rechts).

Das Hygroskopizitätsgefäß (Abb. 65) ist ein zylindrisches Randgefäß (a), das mit einer einmal durchbohrten, unten mattgeschliffenen Spiegelscheibe (b) versehen ist. Die Durchbohrung trägt einen gut aufgeschliffenen und mit Siegelack aufge kitteten Glastubus (c). Der Tubus läßt sich durch einen Luftpumpenschlauch (d) mittels Quetschhahnes verschließen. Das Gefäß wird mit etwa 100 ccm Schwefelsäure (f) von 10 % H_2SO_4 -Gehalt beschickt; ein hineingesetzter Glasdreifuß (g) trägt an einem Fuße mit Draht befestigt ein Manometer (e). Der Dreifuß trägt die flache Glasschale (h) mit dem zu untersuchenden Boden (i).

Die Methode selbst ist folgende: 30–50 g lufttrocknen Bodens (bei Moorböden genügen 5–10 g) werden in der flachen Schale (h), deren Gewicht (mit aufgeschliffener Glasplatte) bekannt ist, in den Hygroskopizitätsapparat (Abb. 65) eingestellt, worauf dann das Gefäß mit der Wasserstrahl Luftpumpe evakuiert wird. An dem Manometer (e) kann man sich von dem Vorhandensein des Vakuums überzeugen. Das evakuierte Gefäß wird sodann in einem dunklen Schrank aufgestellt in einem Raume, der möglichst geringen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist. Nach 2–3 Tagen ist in das Gefäß langsam Luft einzulassen und sodann die Schwefelsäure, die bei der ersten Füllung nur annähernd zehnprozentig zu sein braucht, durch 100 ccm einer solchen von einem genauen Gehalt von 10 % H_2SO_4 zu ersetzen. Während des Auswechselns der Schwefelsäure, was am besten mit einer Pipette geschieht, ist die Schale mit Boden mittels einer plangeschliffenen Glasscheibe zu verdecken. Das Gefäß wird jetzt von neuem evakuiert und alsdann nochmals drei Tage lang in den vor Wärmestrahlungen schützenden Schrank eingestellt. Man läßt dann von neuem langsam Luft ein, die man zweckmäßig durch mit Schwefelsäure beschickte vorgelegte Waschflaschen gehen läßt. Schale mit

Boden wird sodann schnell mit der zugehörigen ebenen Glasscheibe bedeckt und gewogen.

Das gleiche Schälchen mit dem feuchten Boden wird alsdann in den Vakuumexsikkator gestellt und der Boden wird diesem getrocknet. Man evakuiert bis auf 1–2 cm Quecksilberdruck mittels der gewöhnlichen Wasserstrahlpumpe, verschließt den Schlauch *d*, indem man ihn auf einen Augenblick oberhalb zuquetscht, durch Einstecken des Glasstöpsels und hängt dann den Exsikkator an seinem Deckel in einen Kochtopf. Mitscherlich hat die Exsikkatoren so angeordnet, daß er gleichzeitig sechs Stück in einem Gestell in einen Blechtopf von etwa 45 cm Durchmesser und 45 cm Höhe einstellt. Unten in dem Topf befindet sich bis zu einer Höhe von 5–7 cm kochendes Wasser, welches durch eine einfache Bunsenflamme derart im Kochen erhalten werden kann, daß der Raum des Kochtopfes dauernd mit heißem Wasserdampf ausgefüllt ist. Der Deckel des Kochtopfes kann dabei leicht fest schließen, so daß nur wenig Dampf hinausdringt. In dem Dampfbade läßt man den Exsikkator vier Stunden lang, nimmt ihn dann heraus, trocknet ihn ab und läßt ihn erkalten. Dann füllt man ihn in der angegebenen Weise mit trockener Luft und öffnet ihn. Es ist dann die Schale mit dem Boden sofort mit der anfangs mitgewogenen plangeschliffenen Glasscheibe gut zu bedecken, dann mit dieser bedeckt mittels einer Zange mit Parallelführung herauszunehmen und sogleich zu wägen.

G. v. Romberg (368) schlägt mehrere Verbesserungen vor, über die hier kurz berichtet sei:

1. Um einen festeren Halt der Wägegläschen in den Exsikkatoren zu erzielen, scheint es empfehlenswert, statt der ebenen Unterlegscheiben gewölbte, d. h. Uhrgläser zu benutzen.

Beim Evakuieren der mit Glasschliffhähnen versehenen Exsikkatoren habe ich es für zweckmäßig befunden, zwischen dem Manometer und dem Exsikkator einen Dreiwegehahn einzuschalten. Der Hahn stellt die Verbindung zwischen dem Manometer und dem Exsikkator, einmal, und zwar nach vollendeter Evakuierung, und nachdem man den Hahn des Exsikkators geschlossen hat, die Verbindung zwischen dem Manometer und der freien Luft her. An diese dritte Öffnung des Dreiwegehahnes ist ein kurzes Stück Schlauch befestigt, das an seinem Ende ein Kapillarrohr trägt, durch das die Luft nur langsam eindringen kann, wodurch ein heftiges Zurückschlagen der Quecksilbersäule im Manometer vermieden wird.

3. Beim Wiedereinlassen der Luft in die, wie erwähnt, mit Glasschliffhähnen versehenen Exsikkatoren schalte man zwischen die Waschflasche und den Exsikkator ein sehr feines Kapillarrohr, wodurch das zu schnelle Einstromen der Luft in den Exsikkator, das fast immer zum gänzlichen Verlust der Be-

stimmung führt, bequem und sicher vermieden werden kann. Ein Schraubenquetschhahn erübrigt sich dann. Hierauf möchte ich besonders hinweisen, da mir die Anwendung der Kapillare sehr praktisch scheint.

4. Ferner sei einer Einrichtung Erwähnung getan, die man im hiesigen Laboratorium getroffen hat: Beim Trocknen der Substanz über Phosphor-pentoxyd im Wasserbade hat man in letzterem unter den zum Trocknen eingesetzten evakuierten Glasgefäßen kreuzweise Metallbänder angebracht, so daß beim etwaigen Aufhören des Vakuums und Lösen des Deckels der Glasgefäße diese nicht in das Wasserbad hineinfallen können, wodurch die Bestimmung erhalten bleibt. —

König (167) versah den Vakuumexsikkator mit elektrischer Heizplatte (Abb. 66). Hornberger (320) empfiehlt hierbei Dichtung mit ringförmiger Gummiplatte, beiderseits mit Vaseline bestrichen. Auch bez. Heizplatte und Thermometer macht er verbessernde Vorschläge zur Methode König.

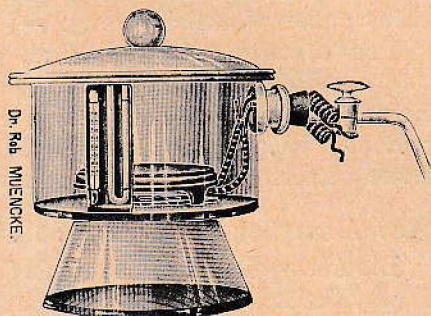


Abb. 66. Vakuumexsikkator mit elektrischer Heizplatte (n. König).

Die Hygroskopizität eines Bodens w_H wird wie folgt berechnet:

1. Tara (= Schälchen + aufgeschliffenem Deckel),
2. Tara + Boden + hygroskopisches Wasser,
3. Tara + trockener Boden.

$$(2. - 3.) \cdot 100 : (3. - 1.) = w_H.$$

Die Hygroskopizität betrug, um für die verschiedenen Bodenarten einige Beispiele anzuführen, bei einer Anzahl untersuchter Böden: bei Sandboden = 1,06, bei leichtem Lehm Boden = 3,00, bei schwerem Lehm Boden = 6,54, bei schwerem Tonboden = 23,81, bei Kalkboden = 1,00, bei Humusboden = 18,65. Im allgemeinen bedingt ein hoher Gehalt an feinsten Teilen auch eine Erhöhung der Hygroskopizität, aber gesetzmäßige Beziehungen sind nicht immer vorhanden, wie Novák (351) nachwies.

Der umgekehrte Weg der Hygroskopizitätsbestimmung, zuerst trocknen und dann benetzen, gibt keine guten Resultate, ebensowenig die von Ehrenberg und Picke (305) vorgeschlagene Methode, von frischem Boden auszugehen, statt vom lufttrocknen. Mitscherlich weist darauf hin, daß es nicht möglich ist, das kapillargebundene Bodenwasser durch den Dampf-

spannungsausgleich über 10%iger Schwefelsäure völlig aus dem Boden zu entfernen (32).

Da der Boden in der Natur an der Erdoberfläche auch wiederholt lufttrocken wird, so ist die Möglichkeit einer physikalischen Veränderung infolge des Lufttrockenmachens des Bodens außerordentlich gering. —

Pratolongo (358) nimmt als Grundlage für die Bestimmung der Kolloide den Verlauf der Dampfdichteisothermen, welcher eine Funktion des Gehalts an kolloidalen Bestandteilen des Bodens ist. Er bestimmte den Umschlag der Dampfdichtekurven verschiedener Böden nach van Bemmelen.

4. Die Absorption des Bodens an atmosphärischem Sauerstoff.

Die Absorption des Bodens für Sauerstoff ist auf chemische und physikalische Ursachen zurückzuführen. Die Bindung auf chemischem Wege geschieht durch Oxydation etwa vorhandener Eisenoxydulverbindungen, Schwefelmetalle und Humussubstanzen. Die physikalische Absorption beruht auf einer Verdichtung dieses Gases auf der Oberfläche der Bodenteilchen. Die chemische Bindung des Sauerstoffes ist die bei weitem überwiegende. Oft kann man aus ihr einen Rückschluß auf die Beschaffenheit der Humussubstanzen ziehen, da diese, der größeren oder geringeren Sauerstoffabsorption entsprechend, sich in einem mehr oder weniger leicht zersetzbaren Zustande im Boden finden. Hierüber gibt das von W. Wolf (54) angewandte Verfahren Aufschluß. Nach seinem Vorschlage versetzt man 50 oder 100 g Boden mit so viel destilliertem Wasser, daß 20 % davon im Boden vorhanden sind. Der Boden wird mit einem genau abgemessenen Luftquantum in Flaschen von 500 ccm Inhalt eingeschlossen und die Veränderung des Luftvolumens nach Verlauf von 8—14 Tagen beobachtet. Zu gleicher Zeit wird die Menge der für den verschwundenen Sauerstoff gebildeten Kohlensäure ermittelt.

Weit energischer wirkt die Sauerstoffabsorption, wenn man nach dem Vorschlage von F. Schulze (244) etwa 25 g möglichst frischen Bodens mit Kalilauge in einem Gläschen einschließt und letzteres mit einem Azotometer verbindet, in welchem man ein gewisses Luftvolumen durch Quecksilber abgesperrt hat. Die durch die Oxydation des Humus gebildete Kohlensäure wird bei diesem Versuche von der Kalilauge aufgenommen. Man läßt die Erde 4 Tage lang mit dem Gase in Berührung und notiert die Absorption von 24 zu 24 Stunden.

Will man eingehende Untersuchungen der Absorption des Bodens gegen Gase ausführen, so ist auf die Methode von E. Reichardt (362), sowie auf die Arbeiten von Blumtritt (82), Döbrich (302), Scheermesser (374) und Ammon (287) zu verweisen. Letzterer untersuchte die Bodenkonstituenten auf ihr Kondensationsvermögen für die verschiedensten Gase, indem er die bei 110°C getrocknete Substanz in Röhren einschloß und unter Berücksichtigung verschiedener Vorsichtsmaßregeln die Gewichtszunahme derselben nach dem Hindurchleiten der Gase ermittelte. Die interessanten Ergebnisse seiner Versuche faßt er in folgenden allgemeinen Sätzen zusammen:

1. Die Verdichtung der Gase durch den Boden ist durch physikalische und chemische Prozesse bedingt.
2. Die durch chemische Vorgänge hervorgerufene Gasabsorption im Boden ist in ihren Wirkungen belangreicher als die durch Flächenattraktion herbeigeführte. Erstere wird hauptsächlich vermittelt durch das Eisenoxyd, nächst dem durch die Humussubstanzen.
3. Bei der Verdichtung durch den Boden werden die Gase entweder als solche aufgenommen, oder sie erleiden dabei chemische Veränderungen.
4. Die Gase werden im allgemeinen in um so höherem Grade kondensiert, je leichter sie sonst ihren Aggregatzustand verändern und je leichter sie sich zersetzen.
5. Die Kondensation der Gase im Boden ist um so größer, je feiner unter sonst gleichen Verhältnissen die Bodenteilechen sind.
6. Bei einer Temperatur zwischen $0-10^{\circ}$ werden die größten Gasmengen durch den Boden verdichtet; von da ab nimmt die Menge des absorbierten Gases mit steigender und fallender Temperatur ab.

Es ist bereits erwähnt, daß auch die Kolloide des Bodens bei der Absorption bzw. Adsorption eine große Rolle spielen.

5. Die Luftkapazität des Bodens.

Kopecký (332) versteht unter Luftkapazität des Bodens jene Größe, welche das Volumen jener Poren des Bodens angibt, das nach der Sättigung des Bodens mit Wasser bis auf die Höhe der absoluten Wasserkapazität mit Luft gefüllt bleibt; er weist auf die hohe bodenkundliche Bedeutung dieser Bodeneigenschaft hin. Die Luftkapazität ist aber gleich der Bodenporosität minus absoluter Wasserkapazität dem Volumen nach.

Man kann die Luftkapazität indirekt bestimmen, wenn man das Porenvolumen und die Wasserkapazität des Bodens kennt. Die Bestimmung des absoluten Volumens der festen Bodenbestandteile liefert jedoch, wie auch Burger (298) neuerdings betont hat, keine absoluten Größen, sondern nur sehr wertvolle Vergleichszahlen.

Wiegner hat ein Näherungsverfahren vorgeschlagen, das darauf beruht, daß die Proben des gewachsenen Bodens vollständig mit Wasser durchtränkt und dann gewogen werden. Nach Abfließen des Senkwassers wiegt man nochmals; die

Gewichtsdifferenz entspricht theoretisch dem Gewichte des Senkwassers und infolgedessen dem Volumen der nicht kapillarwirkenden Hohlräume, also der Luftkapazität. Das Verfahren ist zu vergleichenden Luftkapazitätsbestimmungen wohl brauchbar, wenn geeignete Apparatur vorhanden ist.

6. Die Durchlüftungsfähigkeit des Bodens.

Die Durchlüftungsfähigkeit des Bodens, d. h. der größere oder geringere Widerstand, welchen verschiedene Bodenarten im nassen Zustande dem Durchtritt der Luft entgegensetzen, ist von R. Heinrich mit Recht als eine für die Beurteilung des Bodens sehr wichtige Eigenschaft bezeichnet worden. Von ihr soll es einzig und allein abhängen, ob eine Drainage auf dem Felde auszuführen ist oder nicht.

Der Versuch wird nach R. Heinrichs (17) Angabe in folgender Weise ausgeführt. Nachdem der Boden mittels des bei Bestimmung der Wasserkapazität auf freiem Felde beschriebenen Blechzylinders (S. 165) durchfeuchtet worden ist und eine konstante Wasserkapazität erlangt hat, wird ein viereckiger Kasten aus starkem Zinkblech von 100 qcm Querschnitt und 20 cm Höhe (Abb. 67 C) 10 cm tief in den Boden eingesenkt. An der Außenseite des Kastens ist ein 5 cm breites Zinkblech in 10 cm Höhe rechtwinklig angelötet, so daß der Kasten auf diese Weise genau bis zu der angegebenen Tiefe in den Boden eingetreten werden kann und demnach einen Erdwürfel von 1000 ccm umschließt. Der über der Erde befindliche Teil des Kastens dient als Windkessel und steht durch ein seitlich aufgelötetes Rohr mit einer Flasche *B* von 10 l Inhalt in Verbindung. Dadurch, daß man aus einer höher stehenden Flasche *A* mittels eines Hebers Wasser in die Flasche *B* einfließen läßt, wird die Luft in letzterer komprimiert und durch den Boden hindurchgepreßt. An der Flasche *B* ist ein Wasser- oder Quecksilbermanometer *D* angebracht, durch welches der Luftdruck gemessen werden kann. Durch Heben und Senken des Wasserreservoirs *A* kann dieser beliebig gesteigert oder vermindert werden.

Bei dem Versuch läßt man jedesmal so viel Wasser einfließen, bis das Manometer die gewünschte Druckhöhe anzeigt. Sodann stellt man durch Schließen des Quetschhahnes den Wasserzufluß ab und wartet 1–2 Minuten. Hat sich der Druck in dieser Zeit verringert, so läßt man wiederum Wasser zu-

fließen, bis die zuerst eingestellte Druckhöhe erreicht ist. Indem man den Versuch in der angegebenen Weise fortsetzt, ermittelt man die Zeit, welche erforderlich ist, um 10 l Luft bei bestimmtem Manometerstande durch 1 l Boden hindurchzupressen.

Später hat Heinrich (16) den Versuch dahin abgeändert, daß er den Durchlüftungsversuch zugleich mit der Wasserkapazitätsbestimmung verband, indem er in dem Siebe des dabei in Anwendung kommenden Blechzylinders durch einen Tubus ein Rohr befestigte, welches bis auf den Untergrund hinabgesenkt wurde und sich an seiner Unterseite zu einer 1 qcm weiten Öffnung erweiterte. Das durch Wasser bewirkte Einschlänmen der Erde durch das Sieb wird erst nach Einsenkung des Rohres ausgeführt. Mit dem über das Sieb hervorragenden Ende der Röhre wird statt der 10-Literflasche ein mit Manometerrohr versehener Maßzylinder verbunden, in welchen man durch den Heber Wasser in beliebiger Menge und Stärke einfließen lassen kann.

Für das in den Maßzylinder einfließende Wasser wird ein entsprechendes Luftquantum durch den Boden getrieben. Man ermittelt nun durch Ablesen im Maßzylinder, wieviel Kubikzentimeter Luft bei 2—5—10—20—30—40 cm Wasserdruck in 5 Minuten durch den Boden hindurchgepreßt werden.

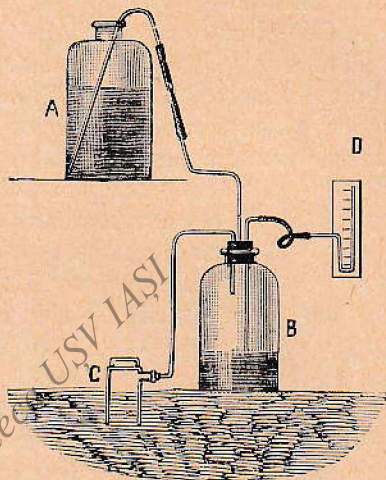


Abb. 67. Apparat zur Bestimmung der Durchlüftungsfähigkeit des Bodens nach R. Heinrich.

E. Das Verhalten des Bodens gegen Wärme.

1. Die Wärmeabsorption des Bodens bei direkter Sonnenbestrahlung.

Eine äußerlich mit dicker Asbestpappe überzogene zylindrische Glaswanne von 4 cm Höhe und 16 cm Durchmesser wird mit lufttrocknem Feinboden bis obenhin angefüllt, darauf in eine Holzkiste eingesenkt, deren Deckel einen dem Querschnitte

des Gefäßes entsprechenden Ausschnitt besitzt, und der direkten Sonnenbestrahlung 6 Stunden lang ausgesetzt. Man ermittelt nun durch ein Maximumthermometer, welches 1 cm tief in den Boden eingebettet worden ist, bis zu welcher Temperatur sich der Boden in der angegebenen Zeit erwärmt hat. Der Versuch wird unter möglichst gleichen Verhältnissen in der Weise wiederholt, daß man das Thermometer 2, 3 und 4 cm tief in den Boden einbettet und das Maximum der Bodenerwärmung ebenfalls feststellt.

Die Erwärmungsfähigkeit des Bodens ist von den verschiedensten Umständen abhängig. Es kommt hier in Betracht die spezifische Wärme (337) oder Wärmekapazität der Bodenarten, d. h. ihr verschiedenes Verhalten hinsichtlich der Aufnahme verschiedener Mengen von Wärmeeinheiten, um ihre Temperatur um 1°C zu erhöhen, ferner die Farbe (376) der Bodenarten und ihre mehr oder weniger geneigte Lage.

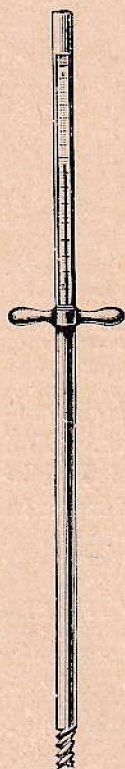


Abb. 68. Bodenthermometer.

Bei den von Feuchtigkeit durchtränkten Bodenarten, wie sie sich auf dem Felde finden, ist jedoch ihr größerer oder geringerer Wassergehalt für die Wärmeabsorption von größter Bedeutung. Während 1 kg Wasser 100 Wärmeeinheiten bedarf, um auf 1°C erhöht zu werden, gebraucht dieselbe Gewichtsmenge Ton und Sand zu der gleichen Temperaturerhöhung nur 17,8 bzw. 12,8 Wärmeeinheiten. Dazu kommt noch, daß ein feuchter Boden durch die an seiner Oberfläche stattfindende Verdunstung bedeutend abgekühlt wird. Daher wird ein an Nässe leidender Acker stets zugleich als kalt bezeichnet werden können.

Untersuchungen über die Maximal- und Minimaltemperaturen der Ackerkrume innerhalb eines Tages, einer Woche und eines Monats, zu denen man zweckmäßig Maximum- und Minimumthermometer nach dem System Six-Kapeller verwendet, indem man diese 1—2—5—10 cm tief in den Boden einbettet, sind von großem Wert, wenn die Resultate mit den gleichzeitigen Lufttemperaturen verglichen und zu der Pflanzenproduktion des Bodens in Beziehung gesetzt werden.

Um die Temperaturen in tieferen Erdschichten zu bestimmen, verwendet man zweckmäßig Erdbodenthermometer, die in einer Metallfassung mit einfacher Bohrvorrichtung eingefügt sind. Der aus dem Erdboden herausragende Teil des Kapillarrohrs des Thermometers ist von $0-60^{\circ}\text{C}$ in $\frac{1}{10}$ -Grade eingeteilt. Die Länge des in der Erde steckenden Unterteils wird für die verschiedenen Thermometer in Längen von 0,5—1—2 und 3 m angefertigt (siehe Abb. 68).

2. Das Wärmeleitungsvermögen des Bodens.

Das Leitungsvermögen des Bodens für Wärme bestimmt man in der Weise, daß man einen möglichst kugelförmigen, aus dünnem Glase bestehenden Kolben von 1 l Inhalt mit lufttrocknem Feinboden unter fortwährendem Aufstoßen auf einer weichen Unterlage anfüllt, während man zugleich die Kugel eines Quecksilberthermometers in den Mittelpunkt des Kolbens bringt. Letzterer wird in einen Trockenschrank, der mit einem Gasdruckregulator versehen und auf 100°C erhitzt ist, eingeführt. Man beobachtet nun genau die Zeit, welche erforderlich ist, um den Boden bis in die Mitte hinein von seiner ursprünglichen Temperatur bis auf 100°C zu erwärmen.

Der Versuch läßt sich auch in der Weise ausführen, daß man den Boden in demselben Gefäße bis auf 100°C erwärmt und an dem im Boden steckenden Thermometer ermittelt, welche Zeit erforderlich ist, bis sich der Boden wieder bis auf seine Ausgangstemperatur abkühlt. Will man eingehendere wissenschaftliche Untersuchungen in dieser Hinsicht anstellen, so sind vorzugsweise die Arbeiten von Haberlandt (312), Pott (357), Wollny (393) und Wagner (388) zu berücksichtigen. Wollny hat aus seinen Versuchen folgende allgemeine Resultate abgeleitet:

1. Während der wärmeren Jahreszeit und bei warmer Witterung ist der Boden in dichtem Zustande durchschnittlich wärmer als in lockerem.
2. Während der kälteren Jahreszeit (Frühjahr und Herbst) und so oft in der wärmeren plötzliche und starke Temperaturerniedrigungen statthaben, ist der Boden bei dichter Lagerung durchschnittlich kälter als bei lockerer.
3. Während der wärmeren Jahreszeit und bei warmer Witterung ist der dichte Boden am Tage beträchtlich wärmer, nachts gemeinhin kälter als der lockere.
4. Zur Zeit des täglichen Maximums der Bodentemperatur ist der Unterschied ad 1 am größten, hingegen zur Zeit des täglichen Minimums entweder sehr gering, oder es tritt eine Ausgleichung oder selbst ein umgekehrtes Verhältnis ein.
5. Die Temperaturschwankungen sind in dichtem Zustande des Bodens bedeutend größer als im lockeren.

- 6, Die Ursachen vorbezeichneter Erscheinungen beruhen auf der besseren Wärmeleitungsfähigkeit des dichten gegenüber dem lockeren Boden.

3. Die Benetzungswärme des Bodens.

Um die Summe aller der aus der mechanisch-chemischen Bodenanalyse erhaltenen Resultate in einer einzigen Größe darzustellen, die einen Vergleich der verschiedenen Bodenarten untereinander zuläßt, hat A. Mitscherlich (345) seinerzeit die Feststellung der Benetzungswärme des Bodens in Vorschlag gebracht. Man versteht darunter die Wärme, welche der Boden bei seiner Benetzung mit Wasser entwickelt. Diese physikalische Eigenschaft ist nach Wilhelmy von der Größe und Form der Oberfläche sowie von den spezifischen Adhäsionskonstanten der einzelnen Bodenteilehen abhängig. Das physikalische Maß für die Benetzungswärme bildet die Kalorie, und zwar legt man den Berechnungen zweckmäßig die kleine *g*)-Kalorie zugrunde, d. h. diejenige Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 g Wasser von 0° bis auf 1° C zu erhöhen imstande ist. Zu seinen Untersuchungen verwendete Mitscherlich das Bunsensche (297), von Schuller und Wartha (243) verbesserte Eiskalorimeter.

Mitscherlich ist aber späterhin selbst von dieser Bestimmungsmethode abgegangen, da sie an dem Übelstande leidet, daß der Boden zuvor im Vakuumexsikkator bei 10° C über konzentrierter Schwefelsäure getrocknet werden muß und dadurch in seinen Kolloiden mehr oder weniger starke Veränderungen erleidet. Es wird daher nicht die Wirkung der Oberfläche eines Bodens gemessen, wie er unter natürlichen Verhältnissen vorliegt. Wir sehen deshalb davon ab, diese kalorimetrische Methode hier eingehender zu besprechen und verweisen auf die betreffenden Originalabhandlungen.

F. Die Bestimmung der Bodenkolloide.

Die Frage der Bestimmung der Bodenkolloide bildet zur Zeit den Hauptgegenstand bodenkundlicher Forschung. Seitdem die Tatsache feststeht, daß die Kolloide dem Boden ganz bestimmte Eigenschaften verleihen, die ein für die landwirtschaftliche und technische Praxis bedeutsames Interesse beanspruchen, geht das Bestreben zahlreicher Forscher dahin, geeignete Methoden der Kolloidbestimmung ausfindig zu machen.

Die Kolloide spielen sowohl in mineralischen, insbesondere den tonhaltigen Böden, wie auch in Humusböden eine große Rolle. Näheres über die Natur und Eigenschaften der Bodenkolloide ist aus den Lehrbüchern zu ersehen (4, 32, 39, 381).

Bei den Humusböden ist das Verhalten der organischen Kolloide, insbesondere ihr Sättigungszustand, von größter Bedeutung für viele Fragen der Moorkultur. Während die Kolloide in den mineralischen Böden vorwiegend als Gele auftreten, finden sie sich in den nassen moorigen Böden auch als organische Hydrosole.

Es sind nur wenige Kolloide, die für den Boden in Betracht kommen, nämlich Kieselsäure, Toneide, Eisenoxyd und Humussubstanzen.

Der Wassergehalt der Kolloide schwankt sehr und demgemäß auch ihr Volumen und ihre Oberfläche. Letztere ist naturgemäß bei den Solen am größten. Die Gele verringern ihr Volumen beim Trocknen und vergrößern es durch Wiederaufnahme von Wasser, sobald ein bestimmter Grad der Eintrocknung, der sie irreversibel macht, nicht überschritten wird. Das Volumen und mithin die Oberfläche werden also bei den Hydrokolloiden ausschließlich vom Wassergehalte beeinflusst, der wiederum je nach der Dampfspannung der Luft und der Hygroskopizität verschieden sein muß.

Der kolloide Zustand ist mithin eine physikalische, keine chemische Eigenschaft der Körper, woraus zu folgern ist, daß auch die Bestimmungsmethoden physikalischer Art sein müssen.

Wenn Atterberg die Teilchen $< 0,002$ mm als Kolloidton bezeichnet, so wurde bereits bemerkt, daß sich auch in dieser Gruppe noch allerfeinstes kristallines Staubmaterial befindet, das zwar auch kolloidale Eigenschaften zeigt, aber zu den eigentlichen Kolloiden nicht gehört. Hierin liegt auch bei der Atterbergschen Methode zweifellos schon eine, wenn auch geringe Fehlerquelle. Daß auch die Tonbestimmung auf chemischem Wege gute Vergleichswerte für den Gehalt an Kolloiden geben kann, wurde S. 78ff. bereits erwähnt.

Von den Methoden der qualitativen Bestimmung der Bodenkolloide ist nach Stremme und Aarnio als sicherste und beste eine der Schlämmschen Methode entsprechende zu empfehlen. Falls eine nach tagelangem Stehen trübe bleibende, schwach ammoniakalische Aufschlammung trübe durch die feinsten Filter läuft und im durchscheinenden Lichte opalisiert, dann ist dieser trübe Teil der Aufschlammung als kolloide Lösung zu bezeichnen und entspricht dem Vorhandensein kolloider Stoffe in dem untersuchten Gestein bzw. Boden.

Von den Methoden, die Bodenkolloide in mineralischen Böden quantitativ zu bestimmen, seien im folgenden be-

sprochen die direkte Methode J. M. van Bemmelen, der die kolloiden Stoffe auf chemischem Wege zu bestimmen suchte, und die indirekten Methoden der Farbstoffabsorption- und Hygroskopizitätsbestimmungen, die mit den physikalischen Eigenschaften die Quantität der Bodenkolloide festzustellen suchen.

a. Die chemische Methode van Bemmelen.

Van Bemmelen (77) unterschied in den tonigen Böden zwei Gruppen von säurelöslichen Silikaten, die sich durch das verschiedene Verhältnis von Tonerde zu Kieselsäure kennzeichnen; die eine ergibt sich durch Behandeln des Bodens (etwa 3—5 g) mit konzentrierter heißer Salzsäure (spezifisches Gewicht 1,19) und wiederholtem Aufnehmen mit Natronlauge, die zweite durch Behandeln des Restes mit konzentrierter Schwefelsäure. Stremme und Aarnio (381) setzten nach dem Auswaschen des Rückstandes dreimal je 20 ccm konzentrierte Schwefelsäure hinzu und vertrieben sie durch Abtauchen. Die Masse wurde dann 5 Minuten lang mit 50 ccm Natronlauge bei 50—60° erhitzt und Gelöstes vom Ungelösten getrennt. Nach einmaligem Behandeln des HCl-Rückstandes mit Schwefelsäure gelang die Auflösung der Kieselsäure nicht.

Man bestimmt sodann die Menge der gelösten Tonerde und der in Natronlauge gelösten Kieselsäure. Das in Salzsäure Gelöste (Komplex A) führt auf 1 Molekül Al_2O_3 wechselnde Mengen SiO_2 (2,7 bis 4,8), während das durch die Schwefelsäure Gelöste (Komplex B) dem Verhältnisse $\text{Al}_2\text{O}_3 : 2 \text{Si}_2\text{O}_3$ sehr nahe kommt, also einem „kaolinhaltigen Silikat“ entspricht (377).

Auf diesem rein chemischen Wege glaubte van Bemmelen eine Trennung der kolloiden und nichtkolloiden Bestandteile des Bodens herbeiführen zu können. Der Komplex A, der das Gemenge von Al_2O_3 , Fe_2O_3 u. a., sowie die absorbierten Stoffe enthält, führt aber, wie wir jetzt wissen, auch unzersetztes, nichtkolloides Material, so daß van Bemmelen's Methode eine quantitative Bestimmung der Bodenkolloide nicht ermöglicht. Die vergleichenden Untersuchungen von Stremme und Aarnio bringen für die Unbrauchbarkeit der Methode nach dieser Richtung hin analytische Belege. Nach Auffassung genannter Autoren ist die Methode vielleicht anwendbar bei Tonen, die aus umgelagerten, abgeschlämmten, von unzersetzten Mineralien freien Teilen bestehen.

b. Die Kolloidbestimmung mittels Absorption von Farbstoffen.

Für die Bestimmung der Kolloide sind von einer Reihe von Autoren — B. Sjollema (377), K. Endell (307), H. E. Ashley (289), J. König (328), Hasenbäumer und Haßler H. Stremme und B. Aarnio (381), M. Gorski (355) u. a. — Färbemethoden in Vorschlag gebracht worden. Da die Bodenkolloide Substanzen von möglichst großer Oberfläche bilden, muß die Menge der von ihnen absorbierten Farbstoffe einen Maßstab für ihre Qualität, d. h. ihre Oberflächenentwicklung abgeben.

Wir wollen uns darauf beschränken, die von Stremme und Aarnio nachgeprüfte Methode von Ashley kurz zu besprechen. Anschließend an ältere Versuche schlug Ashley vor, die Kolloide in tonigen Böden dadurch zu messen, daß man die Absorption von Farbstoffen aus Lösungen bestimmt. Es wurden 20 g tonigen Bodens mit 1 oder 3 g Brillantgrün oder Malachitgrün und 400 ccm Wasser eine Stunde lang mit einer Schüttelmaschine geschüttelt, 24 Stunden lang stehengelassen und sodann die nichtabsorbierte Farbstoffmenge der Lösung kolorimetrisch bestimmt. Stremme und Aarnio fanden die von Ashley angewendeten sauren Farbstoffe für unbrauchbar, dagegen einen basischen, Methylenblau, zweckentsprechender. Immerhin führen auch die im letzteren Farbstoff ausgeführten Analysen noch nicht zu befriedigenden Ergebnissen; man wird dahin streben müssen, Farbstoffe zu verwenden, welche gegen Säuren indifferent und kolorimetrisch doch leicht zu bestimmen sind.

Absolut genaue Werte liefert auch die Färbemethode nicht, da auch nichtkolloide Bestandteile des Bodens, z. B. Kaolin, Farbstoffe absorbieren oder auch die Farbstoffe anders als durch Absorption verändert werden können, wie dies R. van der Leeden und F. Schneider (338) bewiesen haben.

Immerhin ist die Absorption nichtkolloider Bestandteile des Bodens, ihrer im Vergleich zu den Kolloiden sehr geringen Oberfläche entsprechend, nicht so groß, daß man, wie Mitscherlich meint, unter allen Vorsichtsmaßregeln dennoch zu brauchbaren Resultaten, und, wenn die Methode weiter vervollkommen wird, zu gleichen Resultaten wie mit der Hygroskopizitätsbestimmung — sofern die Bestimmung der sogenannten „äußeren Oberfläche“ in Betracht kommt — gelangen müsse.

c. Bestimmung des Kolloidgehaltes der Böden nach der Rodewald-Mitscherlichschen Hygroskopizitätsbestimmung.

Die Hygroskopizitätsbestimmung nach Rodewald-Mitscherlich wurde von P. Ehrenberg (306) auf die Bestimmung der Kolloide angewendet. Sie gibt unter den jetzigen Methoden der Kolloidbestimmung bei Böden den besten Anhalt über die Oberflächenentwicklung der Kolloide, also über den Grad ihrer Wirksamkeit und liefert bessere Resultate als die Färbemethode. Nach Mitscherlich zeigen die nach dieser Methode gefundenen Werte eine gute Übereinstimmung mit den wichtigsten Eigenschaften der Böden. Die Methode macht aber nicht andere Bestimmungen des Bodens entbehrlich, auch nicht die der Nährstoffe, da Kolloidgehalt und Nährstoffvorrat nicht in proportionalem Verhältnis stehen.

P. Vageler (386) weist mit Recht darauf hin, daß die Unterscheidung der Hauptbodenarten auf Grund der Mitscherlichschen Hygroskopizitätsbestimmung ihre engen Grenzen finden muß, obwohl die Hygroskopizität als eine der Bodenoberfläche in gewissen Grenzen proportionale Größe die physikalischen Bodeneigenschaften scharf charakterisieren müßte. Aber die unregelmäßige Gestalt und namentlich die Korrosion der Bodenkörner bei sandigen und kiesigen Böden führt oft zu größerer Entwicklung der Oberflächen, als der betreffenden Bodenart sonst eigen ist. Ferner lehrt das Vorkommen kolloider Niederschlagsmembranen auf Bodenkörnern, z. B. bei eisenschüssigen Sanden und tropischen Sanden — vgl. die Untersuchungen von K. Pfeiffer (356), P. Vageler (385) u. a. —, daß die Hygroskopizitätswerte bei ein und derselben Bodenart so großen Spielraum erhalten können, daß die Grenzen der einzelnen Bodenarten verwischt werden, und zwar um so mehr, je verschiedenartiger die Verwitterungsgebiete insbesondere in klimatischer Beziehung sich gestalten.

Die Hygroskopizitätsbestimmung ist aber, wie auch Vageler dem gegenüber betont, zweifellos das einzige und beste Charakteristikum für die „feinsten Teilchen des Bodens“; sie liefert als Kolloidreaktion zusammen mit der Bestimmung des Bodenskeletts durch die mechanische Analyse ein gutes Kriterium der Böden, das nach Vageler insbesondere über den Wasserhaushalt der Böden gute Auskunft gibt. Die Grenze der „feinsten Teile“ und des „Bodenskelettes“ will Vageler nach Atterberg bei 0,02 mm legen.

Wenn Atterberg die Teilchen $< 0,002$ mm a's Kolloidton bezeichnet, so wurde bereits bemerkt, daß sich auch in dieser Gruppe noch allerfeinstes kristallines Staubmaterial befindet, das zwar auch kolloidale Eigenschaften zeigt, aber zu den eigentlichen Kolloiden nicht gehört. Hierin liegt auch bei der Atterbergschen Methode zweifellos schon eine, wenn auch geringe Fehlerquelle. Daß auch die Tonbestimmung auf chemischem Wege gute Vergleichswerte für den Gehalt an Kolloiden geben kann, wurde S. 79 u. 88 bereits erwähnt.

Wie oben bereits bemerkt wurde, ist bezüglich des Nährstoffvorrates im Boden aus den Hygroskopizitätsbestimmungen keine Schlußfolgerung abzuleiten.

Bei Böden, bei denen die mechanische Analyse gänzlich versagt, wie bei Humusböden, kommt naturgemäß nur die Hygroskopizitätsbestimmung — als solche der Kolloide — in Betracht.

Über die Methode der Hygroskopizitätsbestimmung vgl. S. 172 ff.

Die Methoden der Kolloidbestimmung im Boden sind von Wache (387) kritisch beleuchtet; er weist nach, daß die Hygroskopizitätszahlen nur dann eine vergleichende Einschätzung der Fruchtbarkeit und der Menge der Kolloide ergeben, wenn in Böden Kolloidgemische von gleichem absorptivem Sättigungsgrad vorliegen.

Sokol (379) bestimmt die Kolloide nach einer sog. Koagulationsmethode, welche die Kolloide quantitativ vergleichbar angibt.

Moore, Fry und Middleton (348) berechnen den Kolloidgehalt eines Bodens aus absorbierten NH_3 -Gas-Mengen, die dem Gehalt an Kolloiden quantitativ entsprechen sollen; eine weitere Kolloidbestimmung beruht auf der Absorption von Farbstoffen (Malachitgrün-Lösung), welche ebenfalls zu guten Ergebnissen geführt haben soll.

G. Die Bestimmung der Bodenreaktion.

1. Die Bestimmung der Azidität und Alkalität der Böden.

Bei der großen Bedeutung, welche die Reaktion eines Bodens, seine Azidität, Neutralität oder Alkalität auf den Pflanzenertrag ausüben, ist die Bestimmung dieser Eigenschaften, in erster Linie die der Azidität, notwendig. Über die Aziditätsformen der Böden hat Kappen (158) eine lehrreiche Arbeit geschrieben, auf welche hier verwiesen sei.

Man hat in Humus- und Mineralböden drei verschiedene Formen der Azidität zu unterscheiden: 1. die aktive oder wirkliche Azidität, welche sich bereits im wässrigen Bodenauszuge durch das Auftreten von freien Säuren und sauren Salzen äußert; 2. die Austauschazidität, wie sie sich bei der Einwirkung echter Neutralsalze durch Abgabe von Aluminium- und Eisen-Ionen in die Bodenlösung kennzeichnet; 3. die hydrolytische Azidität, die darauf

beruht, daß Salze mit starken Basen und schwachen Säuren zersetzt werden. Diese drei Aziditätsformen kommen vielfach vereinigt in einem Boden vor; die hydrolytische Azidität kann jedoch nach Kappen nicht als pflanzenschädlich betrachtet werden.

Über die Azidität der Böden ist in den letzten Jahren eine reiche Literatur erschienen; auch sind bereits zahlreiche Methoden der Säurebestimmung ausgearbeitet, von denen hier die wichtigsten beschrieben werden sollen. Der Bestimmung der Reaktion des Bodens bzw. der Wasserstoffionenkonzentration (C_H) der Bodenflüssigkeit liegt die Formel $C_H = 10^{-P_H}$ zugrunde. Man benutzt allgemein den negativen Wert des Exponenten p_H , den Wasserstoffionenexponenten, als Ausdruck für die Größe der Wasserstoffionkonzentration (Reaktionszahlen). Die letztere kann elektrometrisch oder kolorimetrisch bestimmt werden; die erstere Methode ist exakt, aber umständlich, so daß man sich bei häufigeren Untersuchungen der titrimetrischen und kolorimetrischen Bestimmung bedient. Es ist $P_H = 7$ neutrale Reaktion; P_H kleiner als 7 gibt den Grad der Säure, größer als 7 den Grad der Alkalität an.

Die Reaktionszahl einer Bodenprobe kann durch Umsetzungen während der Aufbewahrung im Laboratorium und durch Eintrocknen ein wenig (0,2–0,4 der Reaktionszahlen) beeinflußt werden (92). Brown und Johnsen (85) geben an, daß sich mit dem Pulvern der Bodenprobe die Reaktion leicht ändere.

2. Die Bestimmung der Bodenreaktion mit Lackmus und anderen Indikatoren.

Die Prüfung mit Lackmuspapier erfordert eine unmittelbare Berührung mit dem bodenfeuchten oder besser mit destilliertem Wasser breiartig angerührten Boden; die Bodenlösung reagiert nur selten sauer. Man legt am besten zwei Streifen Lackmuspapier, einen roten und einen blauen, auf die feuchte Erdprobe. Gewöhnliche Ackerböden geben in der Regel keine Reaktion, nur die ausgesprochen sauren bzw. alkalischen Böden wirken auf Lackmus ein. Die verschiedenen Grade der Azidität zeigen sich in der Schnelligkeit des Eintretens und der Stärke der Rotfärbung des Lackmuspapiers.

Der Indikator Lackmus zeigt zwar infolge seiner großen Spannweite ($P_H =$ etwa 4,5 – etwa 7,8) deutliche Ausschläge zu beiden Seiten des Neutralpunktes, aber seine Empfindlichkeit kleinen Unterschieden gegenüber ist nicht scharf genug.

Dasselbe gilt von der Lackmuslösung, die Christensen anfänglich als Indikator gebrauchte; ich verweise auf die Beschreibung seiner Methode (91).

Christensen weist nach, daß auch die lackmusneutralen bzw. annähernd lackmusneutralen Böden bedeutende Unterschiede bezüglich der Größe der Reaktionszahlen aufweisen können, so daß bei Böden mit einem P_H -Bereich von etwa 5,0—7,6 bzw. 6—7 eine genügende Sicherheit über die Bodenreaktion mittels Lackmus nicht erzielt wird. Die Anwendung der Lackmusprobe muß also eine beschränkte bleiben; sie dient nur zur groben Kennzeichnung der Bodenreaktion.

Besser wie die Lackmusprobe ist die kolorimetrische Bestimmung der Bodensäure, der sog. Reaktionszahl, mit anderen Indikatoren, wie sie u. a. von Clark und Lubs empfohlen und von Gillespie nachgeprüft sind. Sie sind sehr geeignet, wenngleich ihre Spannweite nicht die des Lackmus erreicht und daher in vielen Fällen mehrere Indikatoren verwendet werden müssen. Die Indikatoren sind folgende*):

	Farbenbereich	P_H = Bereich
(Brom—Phenol—Blau	gelb—blau	3,0—4,6)
Methylrot	rot—gelb	4,4—6,0
Brom—Kresol—Purpur	gelb—purpur	5,2—6,8
Brom—Thymol—Blau	gelb—blau	6,0—7,6
Phenolrot	gelb—rot	6,8—8,4
Kresolrot	gelborange—Karmin	7,2—8,8
Thymolblau	gelb—tiefblau—violett	7,5—9
Kresolphthalein	farblos—rot—violett	8,2—9,8

Methylrot, das auch Weibull (276) benutzte, läßt sich bei ausgesprochen sauren Böden schlecht verwenden, auch Brom—Phenol—Blau scheint keine völlig zuverlässigen Resultate zu geben. Dieser Farbstoff ist aber auch schon aus dem Grunde nicht von Bedeutung, weil Böden mit Reaktionszahl $< 5,2$ keine große Rolle spielen, und diese Zahlen bedeuten, daß ein Boden (Mineralboden) ausgesprochen sauer und stark kalkbedürftig ist. Vgl. Christensen (92).

3. Die elektrometrische Messung der Wasserstoffionenkonzentration.

Th. Saidel (370) bestimmt die Azidität saurer Mineralböden durch elektrometrische Messung der Wasserstoffionen-

*) Sämtliche Indikatoren sind von der Firma Merck-Darmstadt in bester Qualität zu beziehen.

konzentrationen nach der Gaskettenmethode. Diese physikalisch-chemische Methode ist sehr scharf, da sie die geringsten Unterschiede im Säuregrade sehr genau feststellt, genauer, als es mit Titrationsmethoden möglich ist. Ferner bestimmt man mit dieser Methode die sog. „wahre Azidität“, was mit der Titrationsmethode in genauer Weise nicht möglich ist. Es sei auf die Arbeit Kappens (158) verwiesen, welche diese Methoden eingehender bespricht. Wie bereits S. 190 bemerkt, gilt die elektrometrische Messung als umständlich, weshalb sie bisher in der Regel auf rein wissenschaftliche Untersuchungen beschränkt blieb.

4. Kolorimetrische Methoden.

a. Die Methode nach Hasenbäumer.

Hasenbäumer (139) bestimmt die aktuelle Azidität kolorimetrisch, ein für die Praxis hinreichend genaues Verfahren. Sein Verfahren ist eine Modifikation der Methode von Daikuhara. Man schüttelt 30 g Boden mit 100 ccm einer durch vorheriges Kochen von CO_2 befreiten Norm.-KCl-Lösung in einem 550 ccm fassenden Stohmann-Kolben 1 Stunde im Rotierapparat und filtriert. Vom Filtrat versetzt man 10 ccm im Reagenzglas mit 4 Tropfen Methylrotlösung (0,5 g Methylrot in 100 ccm neutralem 90 % igen Alkohol) und schüttelt kräftig um.

Die Lösung färbt sich durch die gelöste Menge Aluminiumchlorid:

	P_H	Reaktion des Bodens
rein gelb	$> 6,2$	alkalisch bis fast neutral
orange	$5,3-6,2$	mäßig sauer
zinnoberrot	$4,6-5,2$	sauer
karmin	$4,2-4,5$	stark sauer
lila	$< 4,5$	sehr stark sauer.

Noch genauere Werte erhält man nach Lösungen von Sörensen, die einen bestimmten Gehalt an H-Ionen besitzen. Man versetzt je 100 ccm mit 4 Tropfen Methylrot und vergleicht die so erhaltenen Färbungen mit der, welche die Bodenlösung gegeben hat. Hasenbäumer empfiehlt statt des Wasserstoffexponenten P_H die Darstellung der Ergebnisse nach mg H in 10000 l.

Bei $P_H = 6$ übersteigenden Reaktionszahlen kann man nach Hasenbäumer Azolithmin benutzen.]

Christensen (91) läßt die Filtrierung bei der Methode Hasenbäumer fort und bestimmt folgendermaßen: 5 g Boden werden in ein Reagenzglas gebracht, welches 20 cm von einer $\frac{1}{1}$ mol. KCl-Lösung enthält. Das Glas wird im Laufe des Tages wiederholt geschüttelt und steht über Nacht in Ruhe. Die starke Salzkonzentration hat die Wirkung, daß die über der Erde stehende Flüssigkeit fast immer vollkommen klar bleibt. Einige Tropfen Methylrot werden dazugegeben, und die sich ergebende Farbenreaktion wird mittels einer von Karmin bis zu reinem Gelb sich erstreckenden Farbenskala bestimmt. Christensen hat mit dieser abgeänderten Methode Hasenbäumer genaue Ergebnisse erzielt; bei der notwendigen Sorgfalt ist auch diese Methode nur als Laboratoriumsmethode anzusprechen. Bei ausgesprochen sauren Böden drückt die Hasenbäumersche Methode den tatsächlichen Säuregrad nicht aus; sie gibt aber — wie Christensen sagt — dennoch wertvolle Aufklärungen über den allgemeinen Reaktionszustand des Bodens.

Nach Christensen (92) liefert die Hasenbäumersche Methode bei rein gelber Farbe fast stets den Nachweis, daß der Boden nicht kalkbedürftig ist, während bei den Farbentönen zinnober und orange, ebenso wie bei der Lackmusprobe die Frage der Kalkbedürftigkeit offen bleibt, welche nach Christensen in diesen Fällen am besten durch die Azotobacterprobe gelöst wird. Es sei auf die vergleichenden Untersuchungen Christensens hingewiesen, die der Hasenbäumerschen Methode zuerkennen, daß sie wertvolle Aufklärungen über den allgemeinen „Reaktionszustand“ geben kann.

Mittels der Hasenbäumer- (und Comber-) proben kann man die wenig sichere Bodengruppe P_H 6,2–6,7 sortieren in Böden, die mehr oder weniger kalkbedürftig sind, wenn auch diese Sortierung nicht so scharf erscheint wie die durch die Azotobacterprobe (91). In Fällen, wo letztere undurchführbar ist, oder in Zweifelsfällen sind sie, wie Christensen bemerkt, von gewissem Wert, den Reaktionszustand der betr. Böden zu bestimmen. Falls einige dieser Böden in der Comber-Flüssigkeit eine rote Farbe, andere in der Hasenbäumer-Flüssigkeit eine gelbe Farbe erzeugen, dann sind höchstwahrscheinlich die ersteren kalkbedürftig, die letzteren nicht.

Die Methode Hasenbäumer, deren Bedeutung bei der qualitativen Prüfung auf den Grad der Austauschazidität anerkannt wird, bietet jedoch keine genügende Grundlage,

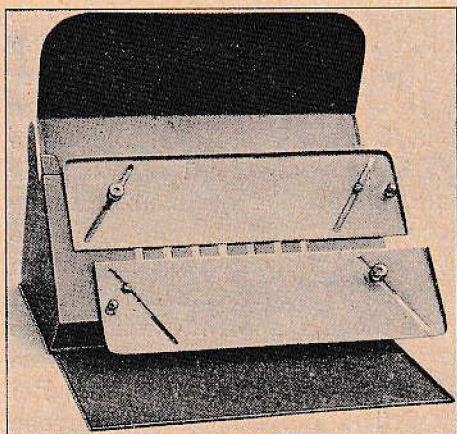


Abb. 69. Farbvergleichler (System Lautenschläger-Görbing.)

um aus ihr quantitativ die zu düngenden Kalkmengen abzuleiten, die den verschiedenen Aziditätsproben entsprechen. Kappen und Liesegang (159) weisen nach, daß die Kalkbedarfstabellen des Vereins der Deutschen Kalkwerke („Saure Böden“, ein Ratsschlag, 1921) auf erhebliche Einwände stoßen, da bei niedrigen Aziditätsgraden die kolorimetrische Methode unzuverlässig sei, und daß bei höheren Aziditätsgraden Unterschiede bei Methylrot nicht mehr erfaßt werden. Es kommt hinzu, daß nicht alle Kulturpflanzen durchaus einen neutralen Boden verlangen, sondern einige sich auch auf einen sehr schwach-sauren bzw. alkalischen Boden gut einstellen; ein Wissensgebiet, auf dem wir noch wenig Bescheid wissen. Einige Hinweise über Beziehungen zwischen Bodenreaktion und Kulturpflanzen giebt Arrhenius (67).

Die Firma F.u. M. Lautenschläger-Berlin N 39 hat einen Farbvergleichler zur Messung der

Wasserstoffionen-konzentration in Bodenausschüttelungen konstruiert (System Lautenschläger-Görbing), welcher den Sörensenschen Apparat mit seinem Prinzip der Neigbarkeit und der Schslitze beibehält, sich aber durch verstellbare Schslitzschieber und durch Blendblech von ihm unterscheidet. Vgl. Abb. 69 u. 70.

Bei der Untersuchung zahlreicher

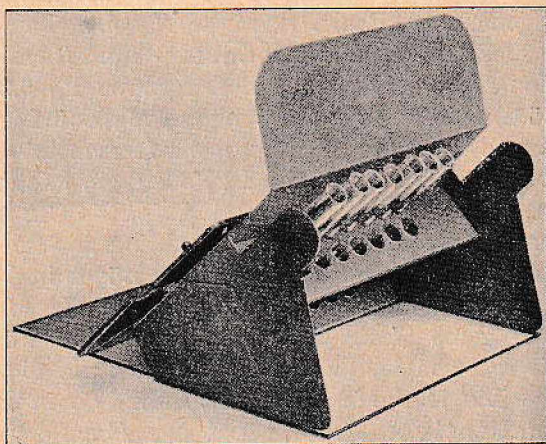


Abb. 70. Farbvergleichler.

Proben bedient man sich zweckmäßig des Schüttelapparates Lautenschläger-Görbing, der durch rechts- und linksläufige Schüttelbewegung eine intensive Mischung bewirkt (Abb. 71).

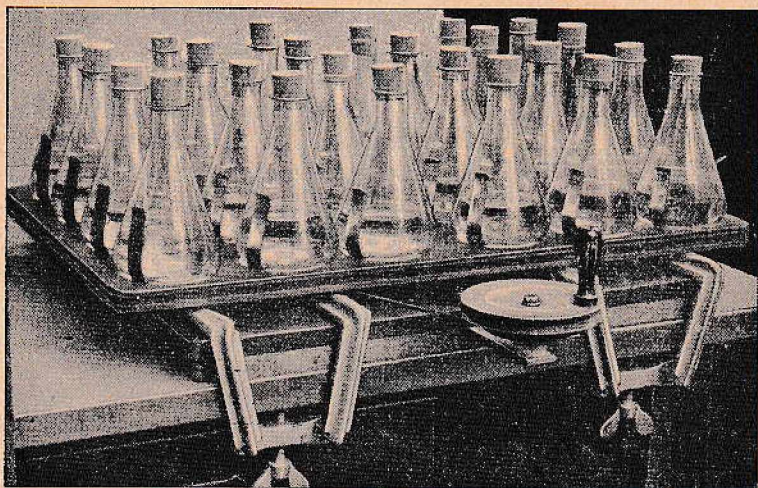


Abb. 71. Schüttelapparat; System Lautenschläger-Görbing.

b. Die Methode nach Christensen.

Christensen (92) führt die Bestimmung der Reaktion der Bodenaufschlammungen folgendermaßen aus: 20 ccm der Indikatorlösung werden in ein Reagenzglas (von etwa 40 ccm Rauminhalt) gebracht und 5 g Boden (am besten lufttrocken) hinzugefügt. Man schüttelt Boden und Flüssigkeit zwei- bis dreimal im Laufe des Tages tüchtig und läßt über Nacht stehen. Die Farbbestimmung wird (wie bei der Lackmusprobe) nur mit dem oberen klaren, von schwebenden Bodenteilchen freien Teile der Flüssigkeit ausgeführt. Diese Vorschrift muß genau innegehalten werden, weil das Vorhandensein dieser schwebenden Teilchen bei den hier in Anwendung kommenden Indikatoren fast immer eine höhere Wasserstoffionenkonzentration als die tatsächlich vorhandene vorspiegeln wird. Die klare Zone kann mehr oder weniger tief sein; ist sie bis an die Oberfläche trübe, dann ist die kolorimetrische Bestimmung sehr unsicher und meist undurchführbar. Die Bestimmung der Reaktionszahl wird meist durch Vergleich der mit dem Indikator versetzten Bodenaufschlammung (oder des Filtrats) mit einer Reihe von Lösungen (Puffermischungen nach S. P. S. Sørensen), deren

P_H bekannt ist, und denen derselbe Indikator zugesetzt wurde, ausgeführt. Christensen weist mit Nachdruck darauf hin, daß eine allgemeine Benutzung der kolorimetrischen Methode außerhalb der Laboratorien kaum in Frage kommt, da bei der außerordentlichen Empfindlichkeit der Indikatoren für kleine Reaktionsänderungen — abgesehen von der Anwendung nur alkalifreier sog. Jenagläser — die größte Sorgfalt und Sauberkeit notwendig ist. So muß das zur Anwendung kommende destillierte Wasser in seiner Kohlensäuretenion mit der der umgebenden Luft übereinstimmen und die Reinheit der notwendigen Chemikalien genau kontrolliert werden.

Die Anleitung zur Beurteilung der bei den Untersuchungen über Kalkbedürfnis des Bodens gewonnenen Resultate, wie sie das Dänische Staatliche Laboratorium für Pflanzenbau den Landwirten zukommen läßt, besagt, daß die Bestimmung der Bodenreaktion namentlich zur Aufklärung bei denjenigen Böden dient, die entweder ausgesprochen niedrige (ausgesprochen saure Reaktion) oder ausgesprochen hohe (ausgesprochen alkalische Reaktion) Reaktionszahlen aufweisen. Reaktionszahlen $< 5,7$ zeigen, daß der Boden stark kalkbedürftig ist, $5,7-6$, daß er kalkbedürftig ist, $6,1-6,8$ geben keine sichere Aufklärung bezüglich des Kalkbedürfnisses; in dem Ergebnisse der Azotobaacterprobe ist eine weitere Richtschnur zu suchen, während diese Probe bei den erstgenannten Gruppen nicht notwendig ist. (Vgl. Abschnitt VI.)

c. Die Methode nach Comber.

Die Combersche Methode (92), die von dänischen und schwedischen Forschern (Weis, H. v. Feilitzen, G. Weibull) empfohlen wird und besonders als Feldmethode in Frage kommt, beruht darauf, daß in der sauer reagierenden Bodenflüssigkeit meist freie Ferriione anwesend sind. Der Nachweis geschieht mittels Rhodankalium, das besonders in seiner alkoholischen Lösung eine fast momentane, sehr klare Reaktion hervorruft. Es werden 40 g Rhodankalium auf 1 l 95%igen Alkohol verwendet. 2–3 g des betr. Bodens werden in einem Reagenzglas abgewogen und dann 5 cem der alkoholischen Rhodankaliumlösung zugesetzt. Es wird geschüttelt und ein paar Stunden später die Farbe beobachtet, und dann nochmals am folgenden und nächstfolgenden Tage. Die Farbenreaktion schwankt nach dem Grade des Säuregehalts zwischen „dunkelrot“ und „farblos“, und dazwischen unterscheidet man „rot“ und „hellrot“.

Die Nichtfärbung der Flüssigkeit sagt jedoch nicht, daß der Boden nicht sauer sei, da z. B. in sauren moorigen Böden nicht dissoziierte organische Eisenverbindungen auftreten. Nach

Christensen scheint die Methode Comber in Fällen, wo der Säuregehalt am stärksten ist (Farbe ausgesprochen rot), die Kalkbedürftigkeit des Bodens etwas schärfer als die Hasenbäumersche Methode zu präzisieren, während die letztere mit Sicherheit besser die nicht kalkbedürftige Bodengruppe ausscheidet.

D. J. Hissink arbeitet nach folgender Methode: Man bringt ungefähr 2 g des feingedrückten (nicht gepulverten) luft-trockenen Bodens (bei sehr humosen Böden etwas weniger) in ein Reagenzglas, so daß die Schicht ungefähr 1,5 cm einnimmt und fügt 5 ccm einer alkalischen Rhodankaliumlösung (Reagenz I) hinzu, schüttelt zuerst kräftig, dann ab und zu während des Tages, am folgenden Morgen dann noch einige Male. Nach einigen Stunden ist die obenstehende Flüssigkeit klar und läßt die Farbe sich beurteilen, und zwar folgendermaßen:

Farbe	Reaktion	P_H
farblos	alkalisch	größer als 7
	oder neutral	7
	oder äußerst schwach sauer	$6\frac{1}{2}-7$
sehr schwach rosa	sehr schwach sauer	ungef. $6\frac{1}{2}$
schwach rosa bis rosa	ziemlich schwach sauer	ungef. $6-6\frac{1}{2}$
rosa bis leicht		
weinrot	schwach sauer	$5\frac{1}{2}-6$
rot	sauer	ungef. 5
dunkelrot	stark sauer	ungef. $4\frac{1}{2}-3\frac{1}{2}$

Bleibt die Flüssigkeit farblos (alkalisch, neutral oder äußerst schwach sauer), so kann man derartige Böden mit dem rotgefärbten Reagenz II behandeln, welches man durch Mischung von 1 l von Reagenz I mit $FeCl_3$ -Lösung (= 61 mg Fe_2O_3) erhält. Man versetzt 2 g Boden mit 5 ccm dieses Reagenz II. Ist die rote Farbe des letzteren nach 24 Stunden bei öfterem Schütteln noch nicht verschwunden, so ist die Reaktion des Bodens gewöhnlich annähernd neutral ($P_H = 7$), meist an der sehr schwach sauren Grenze ($P_H = 6\frac{1}{2}-7$). Ein Boden, welcher binnen 24 Stunden das Reagenz II ganz oder fast ganz entfärbt, reagiert schwach alkalisch (P_H zwischen etwa 7 u. 8). Die Schnelligkeit der Entfärbung gibt einigen Anhalt von dem Grade der an und für sich geringen Alkalität. Wird endlich das Reagenz II binnen

wenigen Stunden entfärbt, so ist der Boden reich an Kalk (sowohl in Ton-, wie in Humusböden).

5. Titrimethoden.

a. Die Bestimmung der Gesamtazidität nach Daikuhara.

Die Methode Daikuharas, wie sie von Kappen und Liesegang (159) u. a. wiedergegeben wird, ist folgende: Der Boden, 100 g, wird mit 250 cem normaler KCl-Lösung 1 Stunde lang geschüttelt. Nachdem sich der Boden im Schüttelgefäß gesetzt hat, werden von dem KCl-Auszug genau 125 cem entnommen und mit 0,1 normaler NaOH titriert. Dem Schüttelgefäß werden für die abgeheberten 125 cem nochmals 125 cem frische KCl-Lösung hinzugesetzt und nach einstündigem Schütteln und Absetzenlassen des Bodens wiederum 125 cem entnommen und titriert. Bei Fortsetzung dieses Verfahrens würde sich zeigen, daß die Abnahme der Azidität beim wiederholten Schütteln in gesetzmäßiger Weise erfolgt, weshalb Daikuhara für die Bestimmung der Gesamtazidität eine Formel aufstellen konnte, zu deren Aufstellung die Ausführung von nur zwei Titrationen genügt. Diese Formel heißt: $G = 2 \left(J_1 + \frac{a_1}{1-k} \right)$,

in welcher G die gesuchte Gesamtazidität, J_1 die erste Titration (in cem 0,1 norm. Lauge auf 125 cem KCl-Auszug); a_1 ist $= J_2$ bis $\frac{1}{2} J_1$, also gleich dem Werte der zweiten Titration von 125 cem KCl-Auszug — J_2 — vermindert aus dem halben Wert der ersten Titration J_1 . K ist eine etwas schwankende Konstante, die sich als Quotient von a_2 und a_1 , a_3 und a_2 usw. ergibt; durchschnittlich $= 0,85$. Daikuhara stellte dann aber weiter fest, daß man auch mit einer einzigen Titration auskommen kann, da der Wert der Totalazidität 3 bis 3,5 mal höher ist als der Wert der ersten Titration. Für praktische Zwecke wird es daher genügen, wenn man den ersten Titrationswert mit 3 multipliziert.

Mit dieser Methode Daikuharas hat man eine weit sicherere Grundlage, die zur Beseitigung der Azidität erforderliche Kalkmengen zu bestimmen, als dies mit sämtlichen kolorimetrischen Methoden möglich ist. Man wird sich deshalb dieser quantitativen Methode mit Vorteil bedienen, wo es gilt, bei austauschbaren Mineralböden die erforderlichen Kalkmengen

genau zu bemessen. Es sei auf die diesbez. Arbeit von Kappen und Liesegang (159) verwiesen.

b. Die Methode nach Tacke und Süchting (für Moorböden).

Zur Feststellung der „freien Humussäuren“ in Moorböden ist von Tacke-Süchting (262, 264) ein besonderes Verfahren angegeben worden. In einem als Zersetzungsgefäß dienenden Glaskölbehen wird aufs feinste zerkleinerter frischer Moorboden mit ausgekochtem destillierten Wasser aufgeschlämmt und durch den ganzen Apparat ein Strom von Wasserstoffgas, das vorher je durch eine Wasserflasche mit konzentrierter Schwefelsäure und Kalilauge gereinigt worden ist, eine Stunde lang hindurchgeleitet, um alle Luft zu verdrängen. Der Zersetzungsapparat ist mit einer Pettenkofer'schen Absorptionsröhre verbunden, die mit 100 ccm $\frac{n}{5}$ - oder $\frac{n}{10}$ -Normalnatronlauge

gefüllt wird. Der hindurchgehende Gasstrom tritt in einem mit Wasser gefüllten Glasgefäße aus. Man füllt 10–30 g, bei mineralischen Böden bis 50 g in das Zersetzungsgefäß, füllt es zur Hälfte mit Wasser und setzt einen genau abgewogenen, nicht zu großen Überschuß von feinstverteiltem CaCO_3 hinzu. Man leitet nun unter kräftigem Rühren einen nicht zu langsamen Strom Wasserstoff durch den ganzen Apparat, etwa zwei Stunden lang, um die durch die freien Bodensäuren entbundene CO_2 zu entfernen.

Man bringt nun in das Zersetzungsgefäß durch ein Einfüllrohr 50 ccm 20%ige Salzsäure, welche aus dem durch Bodensäure nicht zersetzten CaCO_3 die CO_2 austreibt. Diese wird durch ein einstündiges Durchleiten von Wasserstoff unter lebhaftem Umrühren, das am besten durch einen durch Wasserturbine oder Motor bewegten Rührer erfolgt, in die Absorptionsröhre geleitet.

Darauf versetzt man den Inhalt des Absorptionsrohres mit reinem Chlorbaryum und titriert unter Anwendung von Phenolphthalein als Indikator mit $\frac{n}{5}$ - oder $\frac{n}{10}$ -Normalsalzsäure. Die

Zersetzung des in dem Absorptionsrohre gebildeten Na_2CO_3 verläuft nach folgender Reaktion:



Da das doppeltkohlensaure Natron auf Phenolphthalein nicht einwirkt, so tritt nach Verlauf dieser Reaktion Entfärbung ein.

1 cem Normalsalzsäure entspricht: 0,2219 g CO_2 ; 1 cem

$\frac{1}{10}$ -Normalsalzsäure entspricht: 0,00221 g CO_2 .

Unter Beachtung der von Küster (168) und Lange veröffentlichten Untersuchungen wird der Gesamtalkaligehalt der ursprünglich angewandten $\frac{n}{5}$ - oder $\frac{n}{10}$ -Natronlauge mit $\frac{n}{5}$ - oder

$\frac{n}{10}$ -Salzsäure unter Anwendung von Methylorange als Indikator bis zur Normalfärbung festgestellt. Die Normalfärbung wird bestimmt durch eine gleich konzentrierte wässrige, mit Kohlensäure gesättigte Lösung von Methylorange. Der Zusatz von Säure muß am Schluß der Titration sehr langsam erfolgen.

Der Gehalt an Natriumkarbonat der im Pettenkofer'schen Absorptionsrohre enthaltenen Lauge ergibt sich aus der Differenz der Titration des Gesamtalkalis und der Titration der natriumkarbonathaltigen Lauge unter Verwendung von Phenolphthalein als Indikator. Es läßt sich nunmehr berechnen, wieviel CO_2 durch die Bodensäuren ausgetrieben sind; man berechnet diese auf den Prozentgehalt der Bodentrockensubstanz. Die Apparatur siehe in König (24), S. 121.

Ramann bemerkt zu dieser Methode Tackes, daß sie bei Anwendung gleicher Mengen von Humusstoffen gleichbleibende Zahlen ergebe, da bei Anwendung von Kalkkarbonat die Konzentration der Lösung gering ist und konstant bleibt, daß diese Vorzüge aber auch die Mängel der Methode verdecken, nämlich die Abhängigkeit des abgespaltenen Kohlendioxyds von der angewandten Humusmenge. Ramann ist der Ansicht, daß sich als brauchbare Methode nicht nur für Humusboden, sondern für alle Bodenarten zur Bestimmung der absorptiv ungesättigten Bodenkolloide voraussichtlich die sogenannte Azetatmethode (73) bewähren werde, die auf der sehr geringen Dissoziation der Essigsäure beruht. Natriumazetatlösung verhält sich zum Boden wie eine äußerst stark verdünnte Lösung von Natriumhydroxyd. Die abgespaltene Essigsäure kann dann durch Titration bestimmt werden, und ihre Menge oder besser die des Säurewasserstoffes dient dann als Maß des ungesättigten Kolloids.

Solenow hat die Methode von Tacke und Süchting dahin abgeändert, daß er die Azidität nach Zusatz von CaCO_3 aus der ausgeschiedenen CO_2 berechnet.

c. Methode nach Albert.

Nach Albert wird der Säuregehalt des Bodens bestimmt, indem man die Probe mit Barytlauge und Ammoniumchlorid-

lösung destilliert. Das übergehende Ammoniak wird titriert. Durch Vergleich mit der Ammoniakmenge, die durch dieselbe Menge Barytlauge und Ammoniumchlorid allein entwickelt wird, findet man das Ammoniak, das durch den Boden verbraucht wird.

20 g Boden, 50 ccm Barytlauge (etwa $\frac{2}{10}$ normal) und 200 ccm 5%ige Ammoniumchloridlösung werden in einen 1 Liter-Kolben gebracht. Das entstehende Ammoniak wird destilliert und in einer Vorlage mit 100 ccm $\frac{1}{10}$ -Normalschwefelsäure aufgefangen. Die nicht verbrauchte Schwefelsäure wird mit $\frac{1}{10}$ -Normalnatronlauge titriert.

Zum Vergleich destilliert man 50 ccm Barytlauge mit 200 ccm 5%iger Ammoniumchloridlösung allein ebenfalls in eine Vorlage mit 100 ccm $\frac{1}{10}$ -Normalschwefelsäure. Auch hier wird die nichtverbrauchte Schwefelsäure mit $\frac{1}{10}$ -Normalnatronlauge titriert.

Aus der Differenz mit der zuerst gefundenen Zahl ergibt sich das vom Boden verbrauchte Ammoniak. Man rechnet es auf die äquivalente Menge CO_2 oder SO_3 um. Wird immer unter genau denselben Bedingungen gearbeitet, so erhält man brauchbare Vergleichswerte.

d. Die Methode nach Baumann-Gully.

Man versetzt den lufttrocknen Boden mit einer neutralen Kalziumazetatlösung von bestimmter Konzentration und überläßt das Gemisch unter zeitweisem Umschütteln drei Stunden sich selbst. Im Filtrat wird dann die durch freie Säuren und Absorptionswirkungen freigewordene Essigsäure durch Titration mit Natronlauge unter Verwendung von Phenolphthalein als Indikator titriert. Die leicht ausführbare Methode führt bei Moorböden zu guten relativen Vergleichswerten (226).

e. Methode nach Odén.

Odén (211) bestimmt die Azidität der Moorböden (Humussäuren + andere Säuren), indem er zuerst den vorhandenen H-Ionengehalt nach der potentiometrischen Methode ermittelt, dann die Bodenprobe mit konz. KCl-Lösung versetzt und nochmals die Ionenkonzentration mißt und zugleich im Filtrat die dadurch verdrängten Säuren titriert. Diese Bestimmungen werden ergänzt durch Totalazidität und Azidität nach Tacke bzw. Tacke-Süchting, welche ein Maß für diejenigen Säuren

abgeben, die sich leicht zu schwerlöslichen Kalziumsalzen umsetzen.

6. Die molekulare Berechnung des Salzsäureauszuges.

Die Bestimmung der Azidität nach Ganssen.

Ganssen (120) wies nach, daß die Reaktion der Mineralböden von Aluminatsilikaten des Bodens herrührt, bei denen die Basen (CaO , MgO , K_2O , Na_2O) durch Tonerde und nicht durch Kieselsäure gebunden sind. Das Aluminatsilikat, die sog. Bodenzeolithe, wird bei der Nährstoffanalyse durch Aufschließen mit Salzsäure in Lösung gebracht, und man kann aus dem molekularen Verhältnis von Kieselsäure, Tonerde und Basen den Sättigungsgrad bestimmen. Hat die chemische Zusammensetzung das Verhältnis 3 Mol. SiO_2 : 1 Mol. Al_2O_3 : 1 Mol. Basen, so ist der Boden neutral. Mindert sich der Wert der Basen in diesem molekularen Verhältnis bei ungefähr 3 Mol. SiO_2 , so ist der Boden sauer. Dieses saure Aluminatsilikat kann Neutralsalzlösungen zersetzen.

7. Weitere Methoden der Säurebestimmung.

a. Die Methode nach Stutzer und Haupt.

Stutzer und Haupt bestimmen das Vorhandensein von Säure in Mineralböden qualitativ nach der Methode von Baumann und Gully, indem sie 3 g des Bodens mit 100 ccm ungefähr 40° warmen Wassers übergießen, das 2 g KJ und 0,5 g KJO_3 enthält. Man schüttelt das Gemenge 15 Minuten lang, filtriert und gibt zum Filtrat dünne Stärkelösung, die frisch bereitet wurde. Blaufärbung zeigt das Vorhandensein von Säure im Boden an. Die Säuren des Bodens vereinigen sich aber mit dem Kalium des Jodids und Jodats, wobei freie Jodsäure und Jodwasserstoff entstehen und Jod frei wird. $\text{HJO}_3 + 5 \text{HJ} = \text{J}_6 + 3 \text{H}_2\text{O}$. Die nach gleichem Verfahren ausgearbeitete quantitative Methode ist aber wegen der auftretenden Komplikationen schwer ausführbar, wie Lemmermann und Fresenius (173) nachgewiesen haben.

Die Verfasser haben auch ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung der im Wasser löslichen Alkalien des Bodens ausgearbeitet (259). Sie bestimmen die für die Pflanzen oft schädliche alkalische Reaktion des Bodens in der Weise, daß sie in den wässerigen Bodenauszügen die gelösten Alkalien der Mineral-

böden mit $\frac{1}{100}$ bzw. $\frac{1}{10}$ norm. H_2SO_4 versetzen und die überschüssig zugesetzte H_2SO_4 mit Natriumthiosulfat zurücktitrieren.

b. Die Methode nach Truog.

Truog (266) bestimmt die Bodenazidität in der Weise, daß er 2–25 g Boden eine Minute lang mit 25 ccm Wasser und 15 ccm $\text{Ba}(\text{OH})_2$ behandelt. Das überschüssige $\text{Ba}(\text{OH})_2$ führt er durch CO_2 in Karbonat über, dessen Menge dann nach vollständigem Eindampfen der Flüssigkeit nach der Methode der Karbonat-Bestimmung festgestellt wird. Der Unterschied gibt die sog. aktuelle Azidität an. Bei längerer Einwirkung des $\text{Ba}(\text{OH})_2$ erhält man die sog. inaktive oder latente Bodenazidität.

c. Die Methoden nach Loew u. a.

Zur Bestimmung der Azidität mineralsaurer Böden prüft Loew (178) qualitativ mit Natriumnitrit und Jodkaliumstärkekleister, wobei die in sauren Böden freiwerdende Säure Jod in Freiheit setzt und entsprechende Blaufärbung hervorruft. Man kann auch mit dieser Methode verschiedene Grade der Azidität unterscheiden (159).

Hutchinson und Mac Leman (153) bestimmen die Azidität bzw. den Kalkbedarf in der Weise, daß sie 10–20 g Boden mit 200–300 ccm einer annähernd $\frac{1}{50}$ n-Kalziumbikarbonatlösung versetzen; die Luft aus dem Kolben wird durch einen CO_2 -Strom verdrängt. Nach dreistündigem Schütteln in der Maschine wird die Flüssigkeit filtriert und ein der Hälfte der ursprünglich verwendeten Bikarbonatlösung entsprechender Teil mit $\frac{1}{10}$ n-Säure titriert, mit Methylorange als Indikator. Die Differenz zwischen der Endtitration und der Titration der Anfangslösung stellt den verbrauchten Betrag von CaCO_3 dar, wobei jedes ccm der $\frac{1}{10}$ n-Säure gleich 5 mg CaCO_3 ist.

Kolorimetrische Methoden sind noch von Clark, Gillespie, Arrhenius, Wherry u. a. bekannt. Vgl. dazu die Arbeit von A. Arrhenius (67), die soeben erschien.

H. Die elektrische Messung der löslichen Bodensalze.

Von Whitney (277) ist eine Methode der elektrischen Messung der Bodensalze angegeben worden, die von King und

Jeffery eine ausgedehnte Verwendung bei der Untersuchung amerikanischer Bodenarten gefunden hat. Nach dieser Methode wird eine gewisse Menge Boden mit destilliertem Wasser zu einem Brei angerührt und ein Teil davon in eine elektrische Zelle eingeführt. Durch einen geeigneten Apparat wird der Leitungswiderstand dieses Bodenbreies gemessen. Es wird außerdem die Temperatur des Bodenbreies in der Zelle festgestellt und durch Trocknen des Zellinhaltes sein Gehalt an Wasser und an Bodentrockensubstanz ermittelt. Der beobachtete elektrische Widerstand wird auf die Temperatur von $15,5^{\circ}\text{C}$ ($= 60^{\circ}\text{F}$) reduziert.

Wenn A den Prozentsatz an löslichen Salzen im trockenen Boden, ausgedrückt in Chlornatrium, W in die der Zelle enthaltene Wassermenge, R den beobachteten elektrischen Widerstand bei $15,5^{\circ}\text{C}$ und S die in der Zelle enthaltene Bodentrockensubstanz bedeutet, so ergibt sich folgende Formel:

$$A = 6,06 \frac{W^2}{RS}$$

Für Untersuchungen im freien Felde wird vom Bureau of Soils in Washington die Wheatstonesche Brücke benutzt, eine auch von A. v. Sigmond (255) und Floderer (116) als sehr zweckmäßig empfohlene Methode.

Beam und Freack (75) trennen das Kalziumsulfat von den anderen Salzen, weil es deren Wirkung neutralisiert.

Cameron (88) hat die Verwendbarkeit der Wheatstoneschen Brücke bei der Bestimmung von Salzgehalt, Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt geprüft. Ein von ihm konstruierter Apparat bestimmt in Böden mit Anhäufung löslicher Salze oder Alkalis den Betrag an Alkali annähernd. Zur Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit konnte das Prinzip nicht mit gleichem Erfolge angewandt werden. Davis und Bryon (98) haben mit abgeändertem Apparat festgestellt, daß der Widerstand eines Bodens bei gleichem Salzgehalt mit der Feinheit des Bodens zunimmt. Karbonate und organ. Substanz vergrößern den Widerstand.

Über die Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit des Bodens nach dem Verfahren von Kohlrausch und Ostwald vgl. König (24), S. 84. Über die elektrische Messung der Bodenfeuchtigkeit hat neuerdings G. Goerz gearbeitet. Sein Verfahren führt bei gleichen Bodenarten zu guten Resultaten. (Dissert. Ldw. Hochsch. Berlin 1923.)

J. Die Kohäsion und Adhäsion des Bodens.

Zahlreiche Untersuchungen beschäftigen sich mit der Bestimmung der Kohäsion und Adhäsion der Böden, da solche für die Praxis sehr bedeutsam sind. Bei einer Reihe von Methoden

wird die absolute Festigkeit (Druckfestigkeit), bei einer anderen der Trennungswiderstand bestimmt.

Um den Grad der Festigkeit zu bestimmen, mit welcher die Bodenteilchen in trockenem Zustande aneinander haften, knetet man nach der von Schübler seinerzeit vorgeschlagenen Methode den Boden mit Wasser zusammen und fertigt daraus mittels einer Schablone Stäbchen von 5 cm Länge und 1 cm Breite. Nachdem diese an der Luft vollständig ausgetrocknet sind, wird durch Auflegen von Gewichten auf einen geeigneten, unten mit stumpfer Schneide versehenen Apparat der Druck ermittelt, welcher erforderlich ist, um die Stäbchen zu durchschneiden. Auch auf die Versuche von Haberlandt (313) mit ausgetrockneten, 10 cm langen Erdzylindern, welche er mit Hilfe einer Glasröhre von 2 cm lichtigem Durchmesser herstellte und auf ihre Kohärenz prüfte, mag hier verwiesen werden.

Eine andere Methode zur Bestimmung der Kohärenz des Bodens in feuchtem Zustande rührt von R. Heinrich (17) her. Der Boden wird mit so viel Wasser gleichmäßig durchfeuchtet, daß der Wassergehalt gerade 50 % der höchsten Wasserkapazität des Laboratoriumsversuches enthält. Darauf wird die Erde zwischen zwei Eisenbleche von 1 qdm Größe gepreßt, deren eine Seite in der Mitte mit einem Haken versehen ist. Die zwischen den Blechen befindliche Bodenschicht soll 5–10 cm betragen. Die herausgequetschte Erde wird mit einem Messer scharf abgestrichen. Man hängt nun die obere Platte an einem Faden auf und befestigt an der unteren ein kleines Körbchen, in welches man so lange in kleinen Portionen Sand einträgt, bis die Erdsäule zerreißt. Darauf wird die abgerissene Platte mit dem Körbchen und der anhaftenden Erde gewogen. Ihr Gewicht entspricht der Kraft, welche nötig war, um den Zusammenhalt einer Erdschicht von 1 dem Querschnitt aufzuheben. Die Methode ist natürlich nur bei solchen Bodenarten anzuwenden, bei denen die Adhäsion an die Eisenplatte größer ist als die der Kohärenz des Bodens.

Neuere Untersuchungen über die Kohärenz der Böden, die u. a. auch den Einfluß der Bodenfeuchtigkeit auf die Kohäreszenz festzustellen suchen, gehen von Puchner (361), Atterberg (291), Marquis (341) u. a. aus. (Siehe auch die Lehrbücher von Mitscherlich und Ramann.)

Atterberg versucht die Kohäreszenz, Klebrigkeit und Plastizität des Bodens möglichst ohne Anwendung von Apparaten

zu bestimmen. Als wirkliche Plastizitätsgrenze unterscheidet er die Fließgrenze und die Ausrollgrenze. Nach ihm sind diejenigen Böden plastisch, die bei oder unterhalb der Fließgrenze sich zu Drähten ausrollen lassen.

Nach der verschiedenen Höhe der Plastizitätszahlen unterscheidet er bei den Tönen drei oder vier Plastizitätsklassen, wobei die Klebegrenze bei der ersten Plastizitätsklasse liegt. Da die niedrige Lage der Klebegrenze die Bearbeitung der Tone in der Landwirtschaft und Industrie erschwert, so ist ihre Bestimmung von großer Bedeutung für die Praxis.

Unter Festigkeitszahl versteht Atterberg die Belastung in Kilogramm, welche nötig ist, um ein bei 100° getrocknetes Tonprisma von 2×2 cm Querschnitt durch einen Stahlkeil zu spalten. Für die Festigkeitsbestimmung ist er später auch zur Benutzung eines Hebelapparats übergegangen.

Puchner stellt Bodenzylinder von 2 cm Durchmesser her, die er durch von ihm konstruierten Apparat in Teilzylinder von 3 cm Länge zerlegt, trocknet (unter Berücksichtigung des Schwindungswertes) und auf einem Preßapparate zerdrückt. Das Zerdrücken erfolgt durch zwei Preßplatten eines Hebelapparates. Die rückwirkende Festigkeit des Erdzylinders drückt er in Gramm aus. Wir verweisen auf die zitierten Arbeiten Atterbergs und Puchners, die über die angewandten Methoden und Apparate genaue Beschreibungen bringen und auf die vergleichenden Untersuchungen von C. Marquis (341).

Puchner (360) bestimmt die Bodenstruktur mittels der sog. Schollenanalyse, um die Güte der jeweilig durchgeführten Bodenbearbeitung festzustellen. Er bedient sich hierbei sog. Stechschuhe, mittels deren er Bodensäulen aushebt, um dann durch Handschüttelsiebe die Erdmassen in „Krümel, Brocken und Klumpen“ zu zerlegen. Vgl. Originalarbeit.

Die van Schermbeeksche Bodensonde

Um die Arbeit zahlenmäßig ausdrücken zu können, welche die in die Tiefe eindringenden Pflanzenwurzeln zu leisten haben, ist von A. J. van Schermbeek (273) eine Bodensonde konstruiert worden. Dieser Apparat dient zur Bestimmung des Widerstandes gegen Druck in vertikaler Richtung auf die verschiedenen aufeinanderfolgenden Bodenschichten. Dieser Widerstand beruht auf der Kohärenz der Bodenteilchen. Die Bodensonde besteht aus einem zylindrischen Stabe, der am unteren

Ende einen Stift trägt. Zu jedem Apparate gehören drei solcher Stifte von 2, 4 und 6 mm unterem Durchmesser, die mittels einer Schraube in dem unteren, hohlen Teile des Stabes festgeklemmt werden. Dieser Stab kann in einem oberen oder unteren Satze kleiner Rollen leicht auf und nieder bewegt werden. Er wird nebst dem eingeschraubten Stifte und einer mit kupferner Hülse versehenen und oben aufzusetzenden Aluminiumplatte durch Gegengewichte und beigegebene Bleiplatten genau justiert. Mit dem Apparate kann durch Aufsetzen von Gewichten auf die Aluminiumplatte ein Druck bis zu 3 kg auf eine Kreisfläche von 2 mm Durchmesser, gleichkommend einem Widerstande von 955 g für den Quadratmillimeter, ausgeübt werden. Zur Messung größerer Widerstände wird die Aluminiumplatte abgenommen, der Stab von neuem justiert und ein Hebelarm über ihn gelegt, der eine Teilung besitzt und mit dem montierten 1-kg-Gewicht einen Widerstand von 3 bis 10 kg, mit dem 2-kg-Gewicht einen solchen von 10–20 kg anzuzeigen vermag. Es soll durch den Apparat festgestellt werden, bei welcher Belastung des Stabes durch den Stift an der Oberfläche einer Bodenschicht noch kein Eindruck hervorgerufen wird, und bei welcher Belastung ein Eindruck eben stattfindet.

Der Widerstand wird mit Hilfe nachstehender Reduktionstafel auf Gramm pro Quadratmillimeter umgerechnet:

Reduktionstafel des wahrgenommenen Druckes.

Beim Gebrauche des Stiftes von	ist eine Belastung in Kilogrammen gleich einem Drucke von Grammen pro Quadratmillimeter								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2 mm.....	637	955	1273	1592	1910	2228	2546	2865	3183,10
4 „	159	238	318	398	477	558	637	716	795,77
6 „	71	106	141	177	212	247	283	318	353,71

Beispiel: Beim Gebrauch des Stiftes 4 mm ist eine Belastung von 4,560 kg gleich einem Widerstande von:

318,00 g

39,80 „

4,77 „

362,57 g pro Quadratmillimeter.

Bei der Ausführung der Versuche werden die Bodenschichten im Gelände durch einen Bodeneinschlag mit vertikaler Wand bis

zu einer Tiefe von 2—2,5 m angeschnitten. Sodann werden die Oberflächen der verschiedenen Bodenschichten nacheinander bloßgelegt und auf den Widerstand gegen senkrechten Druck geprüft. Derartige Untersuchungen haben insofern eine Bedeutung, als man dadurch eine Vorstellung von der Arbeit erhält, welche die tiefgehenden Baumwurzeln zu leisten haben, um den Baumkörper gehörig gegen den Kronendruck zu verankern.*)

Mitscherlich (32) treibt mittels einer sehr zweckmäßig konstruierten Apparatur einen Spaten in die Erde und bemißt die Festigkeit des Bodens nach der aufgewandten Kraft.

Was das Anhaften, die Adhäsion, der feuchten Bodenarten an Eisen und Holz betrifft, so wird nach Heinrichs Vorschrift die zu untersuchende Probe gleichfalls mit 50 % Wasser ihrer höchsten Wasserkapazität angefeuchtet und in ein größeres Gefäß gebracht, in welchem man die Oberfläche des Bodens möglichst einebnet. Alsdann wird eine Platte von Eisenblech oder Buchenholz von 1 qdm Querschnitt fest aufgedrückt, so daß eine vollständige Berührung des Bodens mit dem Metall oder Holz stattfindet. An dem Haken der Platte wird ein Bindfaden befestigt, der über eine Rolle geleitet wird, und an welchem man ein Körbchen anhängt. Letzteres wird so lange mit Sand beschwert, bis die Platte vom Boden abreißt. Die zur Überwindung der Adhäsion erforderliche Kraft entspricht dem Gewicht des Körbchens mit dem Teile des Bindfadens, welcher bis zum Scheitelpunkt der Rolle reicht, abzüglich des Gewichtes der abgerissenen Platte und des anderen Endes des Bindfadens.

*) Während der Drucklegung dieses Buches erschien eine Arbeit von v. Meyenburg, in welcher eine neue Apparatur (Sonde) zur Bestimmung von Druck und Festigkeit für Kulturböden beschrieben wird. (Int. Mitt. f. Bodenkunde 1923. Heft 5/6.)

VI. Bodenbiologische Untersuchungsmethoden.

(Von Privatdozent Dr. H. Wießmann.)

Es seien im folgenden einige zur biologischen Untersuchung des Bodens angewandte Verfahren mitgeteilt. Ausführliche Angaben darüber sowie über andere an dieser Stelle nicht erwähnte Untersuchungsmethoden findet man in der einschlägigen Literatur (417, 418); dort ist auch das Nötige über die bakteriologische Technik im allgemeinen und über die Züchtung der einzelnen Erdorganismenarten angegeben.

Sterilisierung des Bodens. Die im Boden lebenden Keime sind zum Teil recht widerstandsfähig. Nach Alfr. Koch (416) ist zur Sterilisierung des Bodens eine Erhitzung im Autoklaven auf mindestens 120° während $1\frac{1}{2}$ Stunden erforderlich. G. Bredemann (410) sterilisiert im Autoklaven bei 150° eine $\frac{3}{4}$ Stunde lang. Von der Keimfreiheit des Bodens kann man sich dadurch überzeugen, daß man eine Probe in Bouillon oder eine andere Nährlösung impft und auf Bakterienentwicklung hin beobachtet. Es sei darauf hingewiesen, daß der Boden durch die Sterilisierung in seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften mitunter weitgehend verändert wird.

Keimgehalt des Bodens. Zur Feststellung der Keimzahl eines Bodens entnehme man von dem zu untersuchenden Feldstück an mehreren Stellen Proben, am zweckmäßigsten mit einem sauberen Löffel aus einer Tiefe von 10 cm. Diese Proben werden gemischt, in ein sterilisiertes, gut schließendes Glasgefäß gefüllt und im Laboratorium durch ein 2 mm-Sieb gesiebt. Die Untersuchung der Erde erfolgt am besten im naturfrischen Zustand. Wegen der zu großen Zahl der im Boden lebenden Keime gibt ein direktes Eintragen der Erde in Nährgelatine oder Nähragar unsichere Ergebnisse. Man nimmt deshalb Verdün-

nungen vor, indem man zunächst 10 g Erde mit 1 Liter sterilisierten Leitungswassers gut umschüttelt und dann 1 ccm dieser Erdaufschwemmung mit 9 ccm sterilen Leitungswassers verdünnt und so fortfährt. Der Grad der Verdünnung richtet sich nach der mutmaßlichen Zahl der vorhandenen Keime. Von den hergestellten Verdünnungen wird zuletzt je 1 ccm, entsprechend $\frac{1}{10000}$ bis $\frac{1}{100000}$ oder $\frac{1}{1000000}$ bis $\frac{1}{10000000}$ g

Erde, in sterilisierte Petrischalen gebracht und mit Nährgelatine oder Nähragar gleichmäßig vermischt. Nach 2—10 Tagen bilden sich auf den festen Gelatine- oder Agarplatten Kolonien, aus deren Anzahl man Rückschlüsse auf die Zahl der Keime ziehen kann. Kolonien, welche Nährgelatine verflüssigen, sind rechtzeitig mit Silbernitrat abzustiften.

Ein anderes Zählverfahren ist von Hiltner und Störmer (415) ausgearbeitet worden. Es beruht darauf, daß man eine Nährlösung, die vorherrschend den Stoff enthält, an dem sich die spezifische Funktion einer Organismenart betätigt, zu gleichen Mengen in Reagenzgläser verteilt, dieselben mit je 1 ccm der oben angegebenen Verdünnungen beimpft und prüft, bei welcher niedrigsten Verdünnung sich die spezifische Betätigung noch zeigt. In 1 ccm dieser Grenzverdünnung ist dann mindestens 1 Keim der betreffenden Organismenart enthalten.

Keines der beiden Zählverfahren gibt genauen Aufschluß über die Zahl der im Boden vorhandenen Mikroorganismen; jedoch erhält man nach dem Hiltnerschen Verfahren bessere Annäherungswerte als nach dem erstgenannten.

Katalytische Kraft des Bodens (417). Erde wirkt auf Wasserstoffsuperoxyd zersetzend ein unter Abspaltung von Sauerstoff. An dem Vorgang beteiligen sich die von den Erdorganismen ausgeschiedene Katalase, anorganische Bestandteile (besonders Eisenoxyd und Manganoxyde) und die Humussubstanzen des Bodens. Um den ungefähren Anteil der einzelnen Faktoren an der Wasserstoffsuperoxydzersetzung kennenzulernen, prüfe man die Erde 1. im frischen Zustande, 2. nach Abtötung der Mikroorganismen durch Gifte oder Sterilisierung des Bodens und 3. nach der Zerstörung des Humus durch Glühen. Gewöhnlich wendet man 5 g Erde und 20 ccm 3%-iges Wasserstoffsuperoxyd an.

Abbau der Kohlenstoffsubstanzen im Boden. Der Abbau der Kohlenstoffsubstanzen im Boden kann verfolgt werden

1. durch Aufstellung einer Kohlenstoffbilanz, d. h. durch Feststellung des in organischer Form vorhandenen Kohlenstoffs zu Beginn und zum Schluß des Versuches. Lemmermann, Aso, Fischer und Fresenius (420) haben zu diesem Zweck mit gutem Erfolge den Kohlenstoff nach Dennstedt bestimmt;

2. durch Bestimmung der Atmungskohlensäure der Erdorganismen (418). Dazu wird zweckmäßig ein Verfahren angewandt, das darauf beruht, daß durch eine in einem Glaszylinder befindliche Bodenmenge (1 kg) kohlensäurefreie Luft bzw. gereinigter Wasserstoff geleitet wird, je nachdem es sich um Untersuchungen über aerobe oder anaerobe Atmung handelt. Die abgeleitete Atmungskohlensäure wird nach ihrer Trocknung durch konz. Schwefelsäure und Chlorkalzium von Kaliumhydroxyd oder Natronkalk absorbiert und gewichtsmäßig bestimmt.

Stickstoffumsetzungen im Boden. Um Aufschluß zu erhalten über die bei den Stickstoffumsetzungen im Boden auftretenden verschiedenen Stickstoffformen, empfiehlt Densch (412) die Ausführung folgender Bestimmungen:

1. Gesamtstickstoff durch Reduktion nach Ulsch (nach vorausgegangener Oxydation etwa vorhandenen Nitrits mit Kaliumpermanganat) und Aufschluß nach Kjeldahl.

2. Ammoniakstickstoff durch Destillation mit Magnesia usta.

3. Organischer Stickstoff durch Aufschließen nach Kjeldahl unter Zusatz von Ferrosulfat.

4. Salpeterstickstoff durch Abzug des Ammoniak- und organischen Stickstoffs vom Gesamtstickstoff.

Baragiola und Schuppli (409) führen die Ammoniakbestimmung mit Magnesia usta im Vakuum aus. Die Destillation kann dadurch bei einer Temperatur (35° C) vorgenommen werden, bei welcher leicht zerfallende Stickstoffverbindungen, wie Amine und andere Basen, sich noch nicht zersetzen.

Über die quantitative Bestimmung von Nitrit und Nitrat nebeneinander hat A. Oelsner (424) eine kritische Zusammenstellung mehrerer Verfahren gebracht.

Biologischer Nachweis des Kalkbedürfnisses des

Bodens. Zwischen der Bodenreaktion und dem Vorkommen des stickstoffbindenden Bakteriums *Azotobacter* besteht insofern eine Abhängigkeit, als *Azotobacter* nicht in sauren, wohl aber in kalkhaltigen Böden vorkommt. Diese Abhängigkeit benutzt Christensen (411) zum Nachweis des Kalkbedürfnisses des Bodens. Das von ihm in Anwendung gebrachte Verfahren ist folgendes: In 1 l destillierten Wassers werden 20 g Mannit und 0,2 g sekundäres Kaliumphosphat (K_2HPO_4) gelöst. Je 50 ccm dieser Lösung werden in 300 ccm fassende Erlenmeyer-Kolben verteilt; ein Kolben wird mit dem zu prüfenden Boden versetzt, und zwar mit einer Menge, die 5 g Trockenerde entspricht (d. s. gewöhnlich 5,5 g naturfeuchter Boden); ein zweiter Kolben erhält außerdem etwas kohlensaurer Kalk (etwa $\frac{1}{4}$ g). Beide Kolben werden schließlich mittels einer Platinöse mit einer kräftigen *Azotobacter*-Rohkultur beimpft und in einen Thermostaten gebracht, dessen Temperatur auf 25° erhalten wird. Nun beobachtet man vom zweiten bis zum fünften Tage die in den beiden Kolben befindlichen Nährlösungen auf *Azotobacter*-Entwicklung hin. Tritt *Azotobacter*-Entwicklung ein, so überzieht sich die gesamte Oberfläche der Nährlösung mit einer runzeligen, zuerst weißlichen, später braunen Haut. Man überzeuge sich durch eine mikroskopische Prüfung, ob die Haut tatsächlich vorwiegend aus *Azotobacter*-Zellen besteht, welche dadurch charakterisiert sind, daß sie dicke Kurzstäbchen bilden, die oft zu zweien, zu sogenannten Diplokokken, miteinander verbunden sind. Die mit Kalk versetzte Nährlösung dient lediglich zur Kontrolle und muß, falls keine Störungen vorgekommen sind und das Impfmateriel geeignet ist, eine starke *Azotobacter*-vegetation zeigen. Tritt bei der gekalkten Nährlösung keine Haut-, sondern eine Schaumbildung ein, so ist der Versuch als mißlungen zu betrachten. Es muß während der Beobachtungszeit darauf geachtet werden, daß die Kolben nicht geschüttelt werden, da sonst die Haut zu Boden sinkt und die Beobachtung erschwert wird.

Das Impfmateriel beschafft man sich dadurch, daß man eine Nährlösung obiger Zusammensetzung (mit oder ohne Kalkzusatz) mit Erde von einem Boden impft, welcher eine kräftige *Azotobacter*-Entwicklung zeigt. Die Beschaffung eines solchen Bodens ist nicht immer ganz leicht, zumal seine Eignetheit als Impfmateriel mitunter rasch wechselt. Diese Schwierigkeit kann aber dadurch bedeutend vermindert werden,

daß man in einem Boden, der sich imstande zeigt, eine kräftige Azotobacterentwicklung zu liefern, eine große Menge Azotobacterorganismen anhäuft. Diese Anhäufung wird in der Weise bewerkstelligt, daß eine bedeutende Menge einer guten Azotobacterrohkultur in Wasser aufgeschlämmt wird, welches ein wenig kohlensauren Kalk als Zusatz erhalten hat; diese Bakterienaufschlammung wird darauf über den Boden gegossen und mit demselben sorgfältig vermischt. Der Boden wird dann an der Luft getrocknet und kann längere Zeit als gutes Impfmateriale benutzt werden.

Christensen hat nach diesem Verfahren zahlreiche Untersuchungen angestellt, wobei sich im allgemeinen zeigte, daß Böden, welche keine Azotobacterentwicklung hervorbringen, kalkbedürftig sind.

Biblioteca USV IASI

Allgemeine Grundsätze für die Bodenanalyse.

Es ist selbstverständlich, daß die im vorhergehenden besprochenen Methoden bei der Untersuchung bestimmter Bodenarten nicht sämtlich in Anwendung kommen sollen. Der Gang der Bodenuntersuchung läßt sich nicht in eine fest begrenzte Schablone bringen, sondern muß den zu entscheidenden Fragen in jedem einzelnen Falle angepaßt werden. Um jedoch bei der Bodenanalyse vergleichbare Resultate zu erhalten, ist es notwendig, sich über bestimmte Grundsätze zu einigen. Von dem Gesichtspunkte ausgehend, daß die Bodenuntersuchungen in erster Linie den Zweck haben, der Land- und Forstwirtschaft zu dienen und die Beziehungen festzustellen, welche zwischen der Zusammensetzung und der Beschaffenheit des Bodens und dem Gedeihen der auf ihm gebauten Pflanzen bestehen, sollen hier die allgemeinen Grundsätze, welche bei der Bodenuntersuchung in Anwendung kommen müssen, und die Fragen, welche dabei vorzugsweise der Beachtung wert sind, kurz zusammengefaßt werden.

1. Das gesamte Bodenprofil, soweit es für die Pflanzenernährung von Wichtigkeit ist, muß in den Bereich der Untersuchung gezogen werden. In den meisten Fällen wird es sich dabei um die Ackerkrume, den flacheren und tieferen Untergrund, der wohl meist dem unverwitterten Boden entsprechen wird, handeln. Es wird im allgemeinen nicht notwendig sein, den Untergrund einer so genauen Untersuchung zu unterziehen wie die Oberkrume, da diese ja das Keimbett der angesäten Kulturpflanzen bildet. Eine genauere Untersuchung des Untergrundes kommt namentlich für forstliche Zwecke in Frage, wo man es mit tiefwurzelnden Bäumen, die ihren Standort in langer Zeit nicht verändern, zu tun hat.

Bei völlig gleichartiger Bodenbeschaffenheit wird man unter Umständen auch Mischproben der an verschiedenen Stellen entnommenen Oberkrumen untersuchen.

2. Wenn irgend möglich, sind von allen drei genannten Bodenschichten (von der Ackerkrume stets, sofern sie nicht einem Moorboden entstammt), genaue mechanische Analysen durch Körnung mit dem Rundlochsiebe und Schlämmung mit den Apparaten von Schöne, Atterberg oder Kopecký auszuführen, da diese wichtige Rückschlüsse auf die physikalischen Eigenschaften der Ackerkrume und ihres Untergrundes gestatten und eine eingehende Kenntnis der mechanischen Mischung des Bodens für seine Beurteilung von großem Werte ist. Zur mechanischen Analyse ist stets der lufttrockene Gesamtboden zu verwenden. Bei flachgründigen Gebirgsböden, die meist einen festen Gesteinsuntergrund besitzen, genügt es, die mechanische Analyse auf die Oberkrume zu beschränken.
3. Für die Beurteilung des Untergrundes ist es oft von Wichtigkeit, eine eventuelle Bestimmung seines Gehaltes an kohlensaurem Kalk sowie an Ton, letztere durch Aufschließung der tonhaltigen Teile unter 0,05 mm D. mit Schwefelsäure im zugeschmolzenen Rohre (S. 80), vorzunehmen, weil der Untergrund sehr häufig zur Melioration der Oberkrume Verwendung findet (Mergelung mit Geschiebe- oder Tonmergel, Tonanreicherung, Wiesenkalk usw.).
4. Sollen die Schichten des Untergrundes zu Meliorationszwecken verwertet werden, so sind sie auf die für das Pflanzenwachstum nützlichen und schädlichen Stoffe zu untersuchen. In ersterem Falle wird es sich darum handeln, vor allen Dingen den Gehalt an kohlensaurem Kalk und an Phosphorsäure festzustellen, in letzterem, das Vorhandensein von schwefelsaurem Eisenoxydul, freier Schwefelsäure und Schwefeleisen nachzuweisen.
5. Bei allen chemischen und physikalischen Untersuchungen der Ackerkrume, welche von der Bodenanalyse in erster Linie berücksichtigt werden muß, ist stets der bei 105° C getrocknete Feinboden (unter 2 mm D.) anzuwenden, worauf auch die Resultate zu beziehen sind.
6. Was die Abscheidung der Bodenkonstituenten betrifft, so ist in dem bei 105° C getrockneten Feinboden der Ackerkrume der Gehalt an Kalk, Ton, Humus und Sand festzustellen.

7. Die Bestimmung des Stickstoffes ist, abgesehen von den Moorböden, nur in den Ackerkrumen auszuführen.
8. Bei Bestimmung der Pflanzennährstoffe sind den zu stellenden Fragen entsprechend Auszüge herzustellen:
 1. mit kochender konzentrierter Salzsäure, 2. mit verdünnter Salzsäure, 3. mit CO_2 -gesättigtem Wasser, 4. mit Zitronensäure oder 5. mit destilliertem Wasser.In der Mehrzahl der Fälle wird man die Aufschließung mit kochender konz. Salzsäure wählen. Es sind dabei in erster Linie Kalkerde, Magnesia, Kali, Phosphorsäure und Schwefelsäure zu bestimmen. Erst in zweiter Linie wird man auch auf die nicht zu den eigentlichen Pflanzennährstoffen gehörigen Substanzen, die Kieselsäure, die Tonerde, das Eisenoxyd, Manganoxyd und Natron, Rücksicht zu nehmen haben.
9. Handelt es sich darum, die unmittelbar zur Verfügung stehenden Pflanzennährstoffe festzustellen, so wird man am besten das leichtlösliche Kali durch Bodenauszüge mit Kalkwasser (S. 114), die lösliche Phosphorsäure durch Bodenauszüge mit Zitronen- oder Essigsäure (S. 113) bestimmen.
10. Die Bestimmung der Bodenreaktion ist in möglichst umfassender Weise vorzunehmen, um aus ihr Hinweise auf Kalkung bzw. anderweitige Zuführung von Nährstoffen abzuleiten.
11. Bei Bestimmung des Knopschen Absorptionskoeffizienten ist der lufttrockene Feinboden unter 2 mm D. zu verwenden. Die Versuche werden nur bei Oberkrumen auszuführen sein, für deren Beurteilung sie von hoher Bedeutung sind.
12. Von den physikalischen Untersuchungen sind in erster Linie die Wasserkapazität und das Porenvolumen (wenn möglich auf freiem Felde), die Kapillarität und Hygroskopizität zu berücksichtigen.

Inwieweit die durch die chemische und physikalische Untersuchung gewonnenen Resultate zur Beurteilung der Güte eines Bodens verwertet werden können, darüber herrschen bei den verschiedenen Forschern abweichende Ansichten. Wir verweisen in dieser Hinsicht auf König (24) und Mitscherlich (32).

Anhang.

I. Atomgewichte der häufiger vorkommenden Elemente.

Internationale Atomgewichte. O = 16.

Aluminium = Al . . .	27,1	Mangan = Mn . . .	54,93
Antimon = Sb . . .	120,2	Molybdän = Mo . . .	96,0
Arsen = As . . .	74,96	Natrium = Na . . .	23,0
Barium = Ba . . .	137,37	Nickel = Ni . . .	58,68
Blei = Pb . . .	207,2	Phosphor = P . . .	31,04
Bor = B . . .	11,0	Platin = Pt . . .	195,2
Brom = Br . . .	79,92	Quecksilber = Hg . . .	200,6
Chlor = Cl . . .	35,46	Sauerstoff = O . . .	16,0
Chrom = Cr . . .	52,0	Schwefel = S . . .	32,06
Eisen = Fe . . .	55,84	Selen = Se . . .	79,2
Fluor = Fl . . .	19,0	Silber = Ag . . .	107,88
Gold = Au . . .	197,2	Silizium = Si . . .	28,3
Jod = J . . .	126,92	Stickstoff = N . . .	14,01
Kadmium = Cd . . .	112,40	Strontium = Sr . . .	87,63
Kalium = K . . .	39,10	Titan = Ti . . .	48,1
Kalzium = Ca . . .	40,07	Uran = Ur . . .	238,2
Kobalt = Co . . .	58,97	Wasserstoff = H . . .	1,008
Kohlenstoff = C . . .	12,0	Wismut = Bi . . .	208,0
Kupfer = Cu . . .	63,57	Zink = Zn . . .	65,37
Lithium = Li . . .	6,94	Zinn = Sn . . .	118,7
Magnesium = Mg . . .	24,32		

II. Koeffizienten zur Berechnung der gesuchten Substanz aus der gefundenen.

Gesucht:	Gefunden:
Ammoniak = 2 NH_3	$(\text{HN}_3)_2\text{PtCl}_6$ 0,0767
Ammoniak = NH_3	NH_4Cl 0,3183
Chlor = Cl	Ag 0,3287

Gesucht:	Gefunden:
Chlor = Cl	AgCl 0,2474
Chlornatrium = NaCl	AgCl 0,4072
Chlorkalium = KCl	AgCl 0,5203
Chlorwasserstoffsäure = HCl	AgCl 0,2543
Eisen = Fe	(NH ₄) ₂ SO ₄ + FeSO ₄ + 6 H ₂ O 0,1433
Eisenoxydul = FeO	(HN ₄) ₂ SO ₄ + FeSO ₄ + 6 H ₂ O 0,184
Eisenoxyd = Fe ₂ O ₃	2 [(NH ₄) ₂ SO ₄ + FeSO ₄ + 6 H ₂ O] 0,2045
Eisenoxyd = Fe ₂ O ₃	2 Fe 1,4298
Humus (stickstofffrei)	CO ₂ 0,471
Kali = K ₂ O	K ₂ PtCl ₆ 0,1931
Kali = K ₂ O	Pt 0,4826
Kaliumsulfat K ₂ SO ₄	K ₂ PtCl ₆ 0,3593
Kalziumkarbonat = CaCO ₃	CaO 1,7847
Kalziumkarbonat = CaCO ₃	CO ₂ 2,274
Kalziumoxyd = CaO	CO ₂ 1,2743
Kalziumoxyd = CaO	CaCO ₃ 0,5603
Kalziumsulfat = CaSO ₄	BaSO ₄ 0,5832
Kieselsäure = SiO ₂ im {Orthoklas Albit	Al ₂ O ₃ 3,546
Kieselsäure = SiO ₂ im Anorthit	Al ₂ O ₃ 1,182
Kohlensäure = CO ₂	CaCO ₃ 0,4396
Kohlensäure = CO ₂	CaO 0,7844
Kohlensäure = CO ₂	MgO 1,0913
Kohlenstoff = C	CO ₂ 0,2727
Magnesiumoxyd = MgO	MgSO ₄ 0,3352
Magnesiumoxyd = 2 MgO	Mg ₂ P ₂ O ₇ 0,3621
Magnesiumkarbonat = MgCO ₃	CO ₂ 1,917
Magnesiumkarbonat = 2MgCO ₃	Mg ₂ P ₂ O ₇ 0,7572
Magnesiumkarbonat = MgCO ₃	MgO 2,090
Magnesiumchlorid = MgCl ₂	MgO 2,375
Magnesiumsulfat = MgSO ₄	MgO 2,9842
Manganoxyd = 3 (Mn ₂ O ₃)	2 (Mn ₃ O ₄) 1,0352
Manganoxyd = Mn ₂ O ₃	2 (MnS) 0,9083
Manganoxydul = 3 MnO	Mn ₃ O ₄ 0,9301

Gesucht:	Gefunden:
Manganoxyduloxyd = Mn_3O_4	3 (MnS) 0,8776
Natron = Na_2O	2 (NaCl) 0,5303
Natron = Na_2O	Na_2SO_4 0,4368
Phosphorsäureanhydrid = P_2O_5	$\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 0,6379
Phosphorsäureanhydrid = P_2O_5	$(\text{NH}_4)_3\text{P} \cdot \text{O}_4$ 12 MoO_3 0,0376
Salpetersäureanhydrid = P_2O_5	$(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ 0,2433
Salpetersäureanhydrid = N_2O_5	Pt 0,5534
Salpetersäureanhydrid = N_2O_5	2 NH_3 3,1664
Salpetersäureanhydrid = N_2O_5	N_2 3,8491
Salpetersäureanhydrid = N_2O_5	2 NO 1,7997
Schwefelsäureanhydrid = SO_3	BaSO_4 0,3430
Schwefel = S	BaSO_4 0,1374
Stickstoff = N	NH_3 0,8222
Stickstoff = 2 N	$(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6$ 0,0631
Ton = 2 $(\text{SiO}_2)\text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$	Al_2O_3 2,5346

III. Gewichte einiger Gase.³⁾

Je 1 cem nachstehender Gase wiegt in trockenem Zustande bei 0° C und unter 760 mm Druck:

Atmosphärische Luft (21 % O und 79 % N)	0,0012936 g
Ammoniak	0,0007627 „
Kohlensäure	0,0019666 „
Kohlenoxyd	0,0012515 „
Sauerstoff	0,0014303 „
Stickstoff	0,0012566 „
Stickstoffoxyd	0,0013434 „
Wasserstoff	0,0000896 „

Literatur über wissenschaftliche Bodenuntersuchung.

A. Schriften allgemeinen Inhalts.

1. Berendt, G., Die Umgegend von Berlin. Allgem. Erl. zur geognostisch-agron. Karte derselben. I. Der Nordwesten Berlins. Abhandl. z. geolog. Spezialkarte von Preußen usw. Bd. II. H. 3. 1877.
2. Blanck, E., Über die Bedeutung der Bodenkarten für Bodenkunde und Landwirtschaft. Fühlings Landw. Zeitung, 60. Jahrg., 1911, H. 4.
3. Coffey, G., A study of the soils of the United States. U. S. Dep. of Agric., Bur. of Svils, Bull. 85. Washington 1913.
4. Ehrenberg, P., Die Bodenkolloide. 1921.
5. Fallou, F. A., Pedologie oder allgemeine und spezielle Bodenkunde. Dresden 1865.
6. Fesca, M., Die agronomische Bodenuntersuchung und Kartierung auf naturwissenschaftlicher Grundlage. Berlin 1879.
7. Finkener, R., Handbuch der analytischen Chemie (von H. Rose). Leipzig 1871, II.
8. Fleischer, M., Die Bodenkunde auf chemisch-physikalischer Grundlage. 4. Aufl., Berlin 1922.
9. Flügge, Lehrbuch der hygienischen Untersuchungsmethoden. Leipzig 1891.
10. Frosterus, B., u. Glinka, K., Zur Frage der Einteilung der Böden in Nordwest-Europas Moränengebieten. I.—V. Helsingfors 1914.
11. Girard, Grundlagen der Bodenkunde für Land- und Forstwirte.
12. Glinka, K., Die Typen der Bodenbildung, ihre Klassifikation und geograph. Verbreitung 1914. Halle 1868.
13. Glinka, K., Neue Richtungen in der Bodenkunde. Pédologie 1910 I.
14. Grandeau, L., Lehrbuch für agrikulturchemische Analysen, 1884.
15. Hazard, J., Die geologisch-agronomische Kartierung als Grundlage einer allgemeinen Bonitierung des Bodens. Berlin 1900.
16. Heinrich, Über Boden-Bonitierung und -Kartierung. Nachrichten aus dem Klub der Landwirte zu Berlin. Jahrg. 1886, Nr. 178 u. 179.
17. Heinrich, R., Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume. Wismar 1882.
18. Jentzsch, A., Die geologische Karte vor dem deutschen Landwirtschaftsrat. Intern. Mitt. f. Bodenkunde, II., 1, 1912.
19. Immendorf, Zeitschr. f. angew. Chemie 1900. Über einige Methoden zur Ermittlung der wertbestimmenden Bestandteile in kalkhaltigen Meliorationsmitteln und zur Bestimmung der Kohlensäuren und der leichtlöslichen alkalischen Erden im Ackerboden.

20. Jodidi, S. L., Über den gegenwärtigen Stand der Bodenchemie. Landw. Vers.-Stat. 85, 1914.
21. Keilhack, K., Einführung in das Verständnis der geologisch-agronomischen Karten des norddeutschen Flachlandes. 5. Aufl., Berlin 1912.
22. Knop, W., Die Bonitierung der Ackererde. Leipzig 1872.
23. Köhne, W., Bodenkartierung und geologisch-agronomische Karten. Landw. Hefte. H. 5, Berlin 1912.
24. König, J., Die Untersuchung landw. und gewerblich wichtiger Stoffe. Berlin, 5. Aufl. 1923.
25. Lang, R., Die Verwitterung. Fortschr. d. Min. etc. VII 1922.
26. Laufer, E., Die Werderschen Weinberge. Eine Studie zur Kenntnis des märkischen Bodens. Abh. z. geol. Spezialkarte von Preußen usw. Bd. V, H. 3.
27. Laufer u. Wahnschaffe, Untersuchungen des Bodens der Umgegend von Berlin. Abh. zur geol. Spezialkarte von Preußen. Berlin 1881, III., H. 2.
28. Lemmermann, Einecke u. Fresenius, Untersuchungen über die Feststellung des Wirkungswertes der Bodennährstoffe Phosphorsäure und Kali durch den Vegetationsversuch und die Bestimmung ihrer relativen Löslichkeit durch Säuren. Ldw. Vers.-Stat. 1916.
29. Liburnau, L. v., Die geologischen Verhältnisse von Grund und Boden. Berlin 1883.
30. Methodenbuch des Verbandes landw. Versuchsstationen in Österreich. 1913.
31. Milch, L., Die Grundlage der Bodenkunde. Leipzig u. Wien 1899.
32. Mitscherlich, Bodenkunde für Land- und Forstwirte, IV. Aufl., 1923.
33. Mitscherlich, E. A., Zur Frage der Ermittlung des Düngungsbedürfnisses der Böden mit Hilfe der chemischen Analyse. Landw. Versuchs-Stat. 83. 1914.
34. Niklas, H., Chem. Verwitterung der Silikate und der Gesteine mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Humusstoffe. Berlin 1912.
35. Nowacki, A., Kurze Anleitung zur einfachen Bodenuntersuchung. Berlin 1885. — Praktische Bodenkunde. 7. Aufl. 1920.
36. Pfeiffer, Th., Über den Einfluß des Kalk und Magnesia auf das Wachstum der Pflanzen. Journ. f. Landw. 1920, 5.
37. Pfeiffer, Th. u. a., Pflanzenanalyse und Bodenanalyse zur Bestimmung des Nährstoffgehalts der Ackerböden. Landw. Vers.-Stat. 86, 1915.
38. Ramann, E., Bodenbildung und Bodeneinteilung. (System der Böden.) Berlin 1918.
39. Ramann, E., Bodenkunde. Berlin 1911.
40. Sauer, A., Über die Darstellung der Bodenverhältnisse auf den geologischen Spezialkarten des Königreichs Württemberg nach neuen Grundsätzen. Bericht über die Hauptvers. des Deutschen Forstvereins Ulm 1910.
41. Senft, F., Der Steinschutt und Erdboden. Berlin 1867.
42. Sigmond, A. v., Über die Charakterisierung des Bodens auf Grund des salzsauren Bodenauszuges und des Basenaustauschvermögens. Int. Mitt. f. Bdk. 5, 1915.
43. Sigmond, A. v., Bericht über die Arbeiten der Intern. Kommission f. d. chemische Bodenanalyse. Int. Mitt. f. Bdk. IV, 1914.
44. Thaer, A., Versuch einer Ausmittlung des Reinertrages der produktiven Grundstücke. Berlin 1813.

45. Trnka, R., Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Prag 1909.
46. Trnka, R., Eine Studie über einige physikalische Eigenschaften des Bodens. Int. Mitt. f. Bdk. 4, 1914.
47. Trommer, Die Bonitierung des Bodens vermittelt der wildwachsenden Pflanzen. Greifswald 1853.
48. Unger, F., Über den Einfluß des Bodens auf die Verteilung der Gewächse, nachgewiesen in der Vegetation des nördl. Tirols. Wien 1836.
49. Wahnschaffe, F., Untersuchung des Bodens der Umgegend von Berlin 1881.
50. Wahnschaffe, F., Die Quartärbildung der Umgegend von Magdeburg mit besonderer Berücksichtigung der Börde. Abh. zur geolog. Spezialkarte von Preußen usw. Bd. VII, H. 1. Berlin 1885.
51. Wahnschaffe, F., u. Schucht, F., Geologie und Oberflächengestaltung des Norddeutschen Flachlandes. 4. Aufl. Stuttgart 1921.
52. Wahnschaffe, F., Die agronomisch-geologische Bodenaufnahme und ihre Benutzung für den landwirtschaftlichen Betrieb. Arbeiten der Deutschen Landw.-Ges., H. 36, 1898. — Die geologisch-agronomische Kartierung des norddeutschen Flachlandes. Deutsche Landw. Presse 1907, Nr. 48.
53. Wohltmann, F., u. Marschall, Fr., Untersuchungsmethoden. Halle 1914.
54. Wolf, W., Beiträge zur Begründung der naturwissenschaftlichen Bonitierung der Ackererden. Nat. Unters. einiger Ackererden Sachsens. Landwirtschaftl. Jahrbücher II, 1873.
55. Wolff, E., Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe. Berlin 1895.

B. Entnahme von Bodenproben.

56. Kurze Anleitung über die zweckmäßigste Art, Torfproben für eine nachfolgende Laboratoriumsuntersuchung aus Moorböden zu entnehmen. Mitt. d. balt. Moorsvers. 1912.
57. Lubkowski, v., Die Entnahme von Durchschnittsproben und deren Vorbereitung zur Analyse. Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moorkultur. 1912, Nr. 18.
58. Pfeiffer, Th., u. Feilitzen, H. v., Die Entnahme der Durchschnitts-Torfproben und deren Vorbereitung zur Analyse. Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moork., H. 11, 1912.
59. Tacke, B., Die Entnahme von Moorproben. Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moorkultur. 29, 1911.
60. Tacke, B., Ein für Moorbodenuntersuchungen geeigneter Erdbohrer. Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moork. 34, 1916.
61. Tarfiljew, G., Ein neuer Tiefbohrer. La Pédologie, I, 1913.
62. Tschajanow, S., Die Entnahme von Bodenproben für die Bestimmung der Feuchtigkeit unmittelbar aus dem Zylinder des Bohrers von Rotmistrow und mittels seines Probeziehers. Russ. Journ. f. exper. Ldw. 1912.

C. Chemische Bodenuntersuchung.

63. Albert, L., u. Bogs, O., Beitrag zur Methodik der Bodenuntersuchung. Int. Mitt. Bdk. IV. 1914.

64. Allen, E. R., Die Bestimmung von Salpetersäurestickstoff im Boden. Vgl. Chem. Zbl. II. 1915.
65. Ames, J., u. Gaither, E., Die Bestimmung von Kohlenstoff in Böden und Bodenauszügen. Journ. of Ind. and Engin. Chem. 6, 1914.
66. Arnd, Th., Ein vereinfachtes Verfahren zur Bestimmung des Stickstoffs salpeter- und salpetrigsaurer Salze. Ztschr. f. angew. Chem. 30, 1917. (Biederm. 47, 1918, 64.)
67. Arrhenius, O., Bodenreaktion und Pflanzenleben. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig 1922.
68. Auld, L., Die Bestimmung der Phosphorsäure in Böden mittels des Phosphormolybdänsäureniederschlags. The Analyst 37; 1912.
69. Aschmann, C., u. Faber, H., Zur Bestimmung der Humussubstanz in der Ackererde. Chemiker-Zeitung 1899, Nr. 7, S. 61, und Biedermanns Centralblatt 1900, H. II.
70. Atkinson, H., Bestimmung der CO_2 . Chem. News. 1912.
71. Atterberg, A., Über die Modifikationen der Kjeldahlschen Stickstoffbestimmungsmethode. Chem. Ztg. 50, 1898.
72. Baragiola, W. J., u. Schuppli, O., Die Bestimmung des Ammoniums im Boden und in der Gülle. Landw. Vers.-Stat. 90, 1917.
73. Baumann, A., u. Gully, E., Untersuchungen über die Humussäure. Mitt. der bayer. Moorkulturanstalt, H. 3/4, 1909 u. 1910.
74. Beam, W., Humusbestimmung besonders in schweren Tonböden. Cairo Scient. Journ. 6, 1912, Nr. 68.
75. Beam, W., u. Freack, G., Vervollkommenung der elektrischen Bestimmungsmethode der Bodensalze. The Cairo-Scientif. Journ. 1914. 8.
76. Beeson, J., A simple and convenient apparatus for estimating the water-holding power of soils. Journ. of Agric. Chem. Society 1895. 17.
77. Bemmelen, van J. M., Zeitschrift für anorgan. Chemie, 66. 1910.
78. den Berger, L. G., Phosphorsäurebestimmung in salzsauren Bodenextrakten. Int. Mitt. f. Bdk. IV, 1, 1914.
79. Bergström, L., Zur Bestimmung der Kohlensäure in Mineralien und Gesteinen. Ztschr. f. analyt. Chemie, Nr. 53, 1914.
80. Biéler-Chatelan, Bestimmung des assimilierbaren Kalis in den Böden. — Compt. rend. 1910. 150.
81. Blanck, E., Zur chemischen Bodenanalyse. Fühl. Ldw. Ztg. 69, 1920.
82. Blumtritt, Über die Gase, welche durch Erhitzen von trockenen Körpern entfernt werden können. Zeitschrift f. deutsche Landwirte. 1866.
83. Bode, H., Zur Bestimmung der wirksamen Bestandteile von Mergeln und Kalksteinen. Fühlings Landw. Ztg. 51., H. 20 u. 21.
84. Brown, P., u. Kellogg, E., Die Bestimmung von Sulfaten und der sulfatbildenden Fähigkeit in Bodenproben. Journ. of Ind. and Ing. Chem. 7, 686. 1915.
85. Brown, P., u. Johnsen, H. W., Einfluß des Pulvers von Bodenproben auf die Reaktion derselben. Vgl. Chem. Zbl. 1915.
86. Brynildsen, A., Die Bestimmung von Mangan im Erdboden. Tidskrift für Kemi etc. Kristiania 1915, Nr. 21.
87. Busvold, B., Eine gewichtsanalytische Bestimmung von Nitriten. Chem. Ztg. 1914, Nr. 38.
88. Cameron, F., Elektrochemische Methoden bei der Bodenuntersuchung. Trans. Amer. Electrochem. Soc. 15. 1909.

89. Caron, H., Über den Nachweis der Nitrate durch Diphenylamin. *Ann. Chim. analyt. appl.* 16. 1911.
90. Charitschkoff, Eine neue Reaktion auf Eisenoxydul und über die Trennung von Eisen und Tonerde. *Chem. Ztg.* 1911, 35, Nr. 51.
91. Christensen, H. R., Untersuchungen über das Kalkbedürfnis des Bodens. *Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Düngung.* A. 1, H. 5, 1922.
92. Christensen, H. R., Untersuchungen über einige neuere Methoden zur Bestimmung der Reaktion und des Kalkbedürfnisses des Erdbodens. *Int. Mitt. f. Bdk.* 1923.
93. Cristensen, H. R., Experiments in methods for determining the reaction of soils. *Soil Science.* 1917. IV.
94. Christensen, H. J., u. Feilberg, N., Über die Bestimmung von Kalium in Erde und Düngemitteln. *Landw. Versuchsst.* 57, 1920.
95. Cushman, Betr. Verwitterung durch Hydrolyse. *U. St. Dep. of Agr. Bur. of Chemistry, Bull.* 92, 1905.
96. Daikuhara, G., Neue Methode zur Bestimmung der Bodenazidität, die aus den durch Bodenkolloide absorbierten Tonerde- bzw. Eisenverbindungen stammt. *Bull. of the Imper. Centr. Agr.-Stat. Japan* 1914.
97. Davis, Ch. W., Untersuchungen über die Phenoldisulfosäuremethode zur Bestimmung von Nitraten in Böden. *Journ. Ind. and Engin. Chem.* 9, 1917.
98. Davis, R. O. E., and Bryan, H., The electrical bridge for the determination of soluble salts in soils. *Bur. of soils. Bull.* 61, 1910.
99. Davisson, B., Ammoniak- und Salpetersäurebestimmungen in Bodenauszügen und physiologischen Lösungen. *Journ. Ind. and Eng.-Chem.* 1918. *Chem. Zbl.* II, 1919, S. 347.
100. Dennstedt, Anleitung zur vereinfachten Elementaranalyse. 3. Aufl. Hamburg.
101. Dittrich, M., Bestimmung kleiner Mengen von Mangan und Chrom in Mineralien und Gesteinen. *Ztschr. f. anorgan. Chem.* 80, 1913.
102. Dittrich, M., Über Eisenoxydulbestimmungen in Silikatgesteinen. *Verh. Ges. d. Naturf.* 83, II, 1, 1912.
103. Dittrich, Über die gasvolumetrische Methode. *Fresenius Zeitschrift für analyt. Chemie.* V, 40.
104. Doelter, C., Handbuch der Mineralchemie. Bd. III, H. 7.
105. Doerell, E. S., Bodenprüfer für Kalkbestimmung in der Ackererde nach J. Piehl. *Int. Mitt. f. Bdk.* 1922.
106. Ehrenberg, P., u. van Zyl, J., Zur Kenntnis der Bodenlösung. *Intern. Mitt. f. Bdk.* VII, 1917.
107. Ehrenberg, P., Diebel, C., u. Veckenstedt, H., Zur Bestimmung der organischen Substanz in Tonen. *Zeitschr. f. analyt. Chem.* 1913.
108. Engels, O., Die Wirkung einiger Lösungsmittel auf die im Boden enthaltenen Pflanzennährstoffe: Phosphorsäure, Kali, Kalk im ursprünglichen und absorptiv gebundenen Zustande. *Landw. Vers.-Stat.* 77, 1912.
109. Engels, O., Ein Beitrag zur Methodik der chemischen Bodenuntersuchung. *Ldw. Vers.-Stat.* 1912, 77.
110. Farasoff, B., Über die Methoden zur Bestimmung des Ammoniaks im Boden. *Russ. Journ. f. exper. Landw.* Nr. 2, 1914.
111. Feilitzen, H. v., Über die chemische Analyse des Moorbodens bei der Bewertung für Kulturzwecke. *Verh. II. Int. Agron. Kon.* 1911.

112. Finkener, R., Über die Bestimmung der Phosphorsäure als phosphor-molybdänsaures Ammon. Berichte der Deutschen chem. Gesellsch. zu Berlin, Jahrg. XI, 1878, S. 1638.
113. Fischer, H., Die Bestimmung der Gesamtposphorsäure im Boden. Int. Mitt. f. Bdk. 1912.
114. Fischer, H., Über die titrimetrische Bestimmung von kleinen Kalimengen. Landw. Versuchsst. 85, 1914.
115. Fleischer, M., Die natürlichen Feinde der Rimpauschen Moordammkultur. Prot. d. 20. Sitzung der Zentr.-Moorkommission 1885.
116. Floderer, A., Die Bestimmung der lösbaren Bodensalze auf elektrischem Wege. Mitt. d. Deutschen Landw.-Ges. St. 42. 1912.
117. Förster, P., Zur Bestimmung des Stickstoffs in salpetersauren Salzen nach der Methode von Kjeldahl. Chemiker-Zeitung 1889, Nr. 13.
118. Fox, P., Die Titration von Kalk und Magnesia in einer und derselben Lösung. Journ. of Ind. and Eng. Chem. 5. 1913.
119. Ganssen, K., Die Bedeutung der Nährstoffanalyse in agronomischer und geognostischer Hinsicht. Jahrb. d. Preuß. geolog. Landesanstalt, 1902, Bd. 23, S. 1.
120. Ganssen, R., Die Charakterisierung des Bodens nach der molekularen Zusammensetzung des durch Salzsäure zersetzlichen silikatischen Anteils des Bodens. Int. Mitt. f. Bdk. 3. 1913.
121. Ganssen, R., Die klimatischen Bodenbildungen der Tonerdesilikatgesteine. Mitt. a. d. Laboratorien d. Preuß. Geol. Landesanstalt, H. 4, 1921.
122. Gaither, C., Vergleich der qualitativen und quantitativen Methoden zur Bestimmung von Karbonaten im Boden. Journ. of Ind. and Engin. Chem. 5. 1913.
123. Gedroiz, K. K., Die kolloidalen Substanzen in der Bodenlösung. Mitt. a. d. Bureau f. Ackerbau und Bodenkunde. St. Petersburg.
124. Geilmann, Über die Verbreitung des Titans in Boden und Pflanzen. Journ. f. Landw. II.
125. Gerlach, M., Über das Verhalten der wasserlöslichen Phosphorsäure gegen absorbierende Bestandteile des Bodens. Landw. Versuchsstat., Bd. 46, 1896.
126. Gortner-Ross and Rost Clayton, O., The Determination of total Manganese in Soils. The Journ. of Ind. a. Eng. Chem. Easton, Pa. 1912. Nr. 7.
127. Goy, S., Die gewichtsanalytische Bestimmung des Kalziums als Oxalat. Chem. Ztg. 1913 (37), Nr. 131.
128. Grandeau, La Soudière de Dieuze et les inondations des prairies salées de la Scille. Paris 1872.
129. Grandeau, Handbuch für agrikulturchemische Analysen. Berlin 1884.
130. Grégoire, Ach., Bestimmung des organischen Stickstoffs in Böden. Ann. de la Station Agron. à Gembloux. II. 1913.
131. Grouven, Bestimmung des Gehaltes der landw. Kulturpflanzen an Salpetersäure und Stickstoff. Landw. Versuchsstationen IX, 1867.
132. Guy, S., Die gewichtsanalytische Bestimmung des Kalziums als Kalziumoxalat. Chem. Ztg. 37, 1913, Nr. 131.
133. Hackl, O., Direkte Bestimmung des gebundenen Eisenoxys in säureunlöslichen Silikaten. Chem. Ztg. 43, 1914, Nr. 2/3.

134. Hale, H., u. Hartley, W., Der Einfluß der Extraktionsmethode auf die Bestimmung der Phosphorsäure in Bodenarten. *Journ. of Ind. etc. Chem. Zbl.* 1, 1918, S. 650.
135. Halla, Fr., Die Trennung von Kalzium und Magnesium. *Chem. Ztg.* 38, 1914.
136. Harris, S. E., Der Säuregehalt des Bodens und deren Bestimmungsmethoden. *Science*, New-York 1914 (15).
137. Haselhoff, E., Über die Ermittlung des Düngebedürfnisses des Bodens. *Fühlings Landw. Ztg.* 1918, H. 11/12.
138. Haselhoff, E., *Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden*. Berlin und Leipzig 1921.
139. Hasenbäumer, J., Die kolorimetrische Bestimmung der Bodensäure. *Ldw. Vers.-Stat.* 1919.
140. Heinrich, R., *Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume in Beziehung auf landwirtschaftl. Pflanzenproduktion*. Wismar 1882.
141. Hempel, W., Über den Aufschluß der Silikate. *Zeitschr. analyt. Chemie*, 52, 1913.
142. Hilgard, E., On the silt analysis of soils and clays. *American. Journal of Science and Arts*. Vol. VI. Oct. 1873.
143. Hissink, D. J., Über die Bedeutung und die Methode der chemischen Bodenanalyse mit starker heißer Salzsäure. *Int. Mitt. f. Bdk.* V, 1915.
144. Hissink, D. J., Über Bodenazidität. *Vortrag Intern. Konf. f. Bodenk.* Prag 1922.
145. Hissink, D. J., Untersuchung von Boden- und Baggererde-Proben aus Poldern und Seen östlich der Utrechter Vecht nebst Beitrag zur Kenntnis der chemischen Zusammensetzung von Flachmoorböden.
146. Hopkins, C. S., Methoden und Resultate von Bodenuntersuchungen in Illinois innerhalb der letzten 10 Jahre. *Illinois Agric. Station*. April 1911, Nr. 149.
147. Hornberger, R., Zur Bestimmung der Phosphorsäure in Böden. *Ldw. Vers. Stat.* 82, 1913.
148. Horvath, B. v., Über die quantitative Bestimmung des Mangans im Boden. *Földt. Kögl. Budapest.* 1914, 7.
149. Horvath, B. v., Über die Einteilung der Böden nach ihrer elektr. Leitfähigkeit. *Int. Mitt. f. Bdk.* 1916, VI, S. 231. (*Biederm.* 47, 1918, S. 253.)
150. Hutin, A., Über die Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs in Erden. *Bull. de l'Assoc. d. Chim. de Sucre et Dist.* Vgl. *Chem. Zbl.* 1914, I.
151. Hutin, A., Praktische und rasche Bestimmung gewisser löslicher Bestandteile der Ascheerde. *Ann. d. Chim. analyt.* 1914.
152. Hutin, G., Selbsttätige Bestimmung der Kohlensäure in Ackererden. Registrierung des Ergebnisses und Klassifizierung der Erden. *Ann. Chim. anal. appl.* 1917, 22; 158. *Chem. Zbl.* 1917, II, 771.
153. Hutschinson, N., u. Leman, M., Bestimmung der Karbonate im Boden. *Journ. Agr. Science.* 1914; 3.
154. McIntire, W., Methode zur Bestimmung des unmittelbaren Kalkbedürfnisses des Bodens. *Journ. of Ind. and Eng. Chem.* 1915; 7. L. 864.
155. McIntire, W., u. Willis, L., Abänderung der Bestimmung von Bodenkarbonaten. *Journ. of Ind. and Engin. Chem.* 7, 227/228. 1915.
156. Jodidi, L. L., Über den gegenwärtigen Stand der Bodenchemie (mit Literatur). *Landw. Versuchsstat.* 85. 1914.

157. Jodlbaur, vgl. Verhandl. der Landwirtsch. Versuchsstat. 1888, Bd. 35.
158. Kappen, H., Über die Aziditätsformen des Bodens und ihre pflanzen-physiologische Bedeutung. Landw. Versuchsstat. 96, 1920.
159. Kappen, H., Studien an sauren Mineralböden aus der Nähe von Jena. Kappen, H., u. Liesegang.
160. Kaserer, H., u. Greisenegger, Über die Bestimmung der P_2O_5 in Böden und Ernteprodukten. Zeitschr. Landw. Vers. in Österr. 13, Wien 1910.
161. Kelley, W., u. Mc George, W., Die Bestimmung des Humus in Hawaiischen Böden. Journ. Ind. and Eng. Chem. 4, 1912.
162. Kellner, O., Vergleichende Stickstoffbestimmungen nach der Methode des Verbandes und der Gunning-Atterbergschen Modifikation der Kjeldahlschen Methode der Stickstoffbestimmungen. Landw. Versuchstationen, Bd. 57.
163. Keppeler, G., Bestimmung des Verrotungsgrades von Moor und Torfproben. Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moork., H. 1, 1920.
164. Kjeldahl, J., Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffes in organischen Körpern. Zeitschr. f. analyt. Chemie, 22, Jahrg. 1873, S. 366.
165. Knight, H. G., Azidität und Azidimetrie von Böden. I. Untersuchungen über die Methode von Hopkins und Pettit zur Bestimmung der Bodenazidität. Journ. Ind. and Engin. Chem. 12, 340, 1920.
166. König, J., Die Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe. Berlin 1911.
167. König, J., u. Hasenbäumer, Zur Beurteilung neuer Verfahren für die Untersuchung des Bodens. Ldw. Jahrb. 56; 3, 1921.
168. Küster, Über volumetrische Bestimmung von karbonathaltigen Alkalilaugen und von Alkalikarbonaten usw. Zeitschr. f. anorgan. Chemie 1897, Bd. 13.
169. Lagers, G., Über die Gesamtstickstoffbestimmung. Chem. Weckblad. 1916, 14, u. Chem. Zbl. II, 1917, S. 703.
170. Lapieque, L., u. Barbe, E., Die Chlorzahl als vergleichendes Maß für den Reichtum des Bodens an Humus. Compt. rend. Acad. de Science. 1919, Chem. Zbl. 1919, II, 750.
171. Leeden, R. van der, u. Schneider, F., Über neuere Methoden der Bodenanalyse und der Bestimmung der Kolloidstoffe im Boden. Int. Mitt. f. Bdk. II, 1912.
172. Lemmermann, O., Der Vegetationsversuch und die Bodenanalyse. Landw. Vers. Stat. 85, 1914.
173. Lemmermann, O., u. Fresenius, L., Einige Bemerkungen über die Bestimmung der Bodenazidität mittels Jodmethode. Journ. für Landw. 69, 1921, 95.
174. Lemmermann, O., Zur Kritik der chemischen Bodenanalyse. Int. Mitt. f. Bdk. III, 1913.
175. Lemmermann, O., Zur Frage der Ermittlung des Düngungsbedürfnisses der Böden mit Hilfe der chemischen Bodenanalyse. Ldw. Vers.-Stat. 83, 1914.
176. Lemmermann, O., Einecke, A., u. Fresenius B., Untersuchungen über die Feststellung des Wirkungswertes der Bodennährstoffe Phosphorsäure und Kali durch den Vegetationsversuch und die Bestimmung ihrer relativen Löslichkeit durch Säuren. Landw. Vers.-Stat. 1916, 89.

177. Lemmermann, O., Foerster, O., u. Einecke, A., Meißner, Die Bestimmung von Kalk und Magnesia in Erden. Ldw. Jahrb. 40, 1911.
178. Löw, O., Über mineralisaure Böden. Landw. Jahrb. 46, 1914.
179. Liesegang, H., Weitere Untersuchungen zur Austauschazidität der Mineralböden. Landw. Versuchsstat. 99, 1922.
180. Lunge, G., Zur Bestimmung von kaustischen neben kohlensauren Alkalien. Zeitschr. f. angew. Chemie 1897.
181. Liebermann, L., Tabellen zur Reduktion der Gasvolumina. Vgl. C. Winkler, Lehrbuch der technischen Gasanalyse. Freiberg 1885.
182. Lipman, Ch., u. Pressey, H., Methode zur Bestimmung des Stickstoffs im Humus. Journ. of Ind. and Engin. Chem. 1913; 5.
183. Lipman, C., u. Sharp, L., Untersuchungen über die Phenoldisulfosäuremethode zur Bestimmung des Salpeter-Stickstoffs im Boden. Univ. of California Publ.; Agric. Science, I, 1912, Nr. 2.
184. Mäkinen, E., Die Bestimmung des Oxydationsgrades von Eisenverbindungen in humushaltigen Lösungen. Int. Mitt. Bdk. IV, 4/5. 1914.
185. Marr, F., Bestimmung von Kalziumkarbonat in Böden. Journ. Agr. Science. 1909, III; 2.
186. Marshall, Fr., Studien über eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung von Kalium (Weinsäuremethode). Chem.-Ztg. 1914; 38.
187. Maschhaupt u. Sinnige, L., Über die Bestimmung des Wertes von Pflanzennährstoffen in Böden und Düngemitteln, insofern derselbe von der Löslichkeit dieser Salze abhängig ist. Versl. v. Landbouwk. onderzoekingen der Rykslandbouwproefstation. 11. 1912.
188. Mayer, Ad., Lehrbuch d. Agrikulturchemie. 2. Aufl., II. T.
189. Matthews, D. J., Die Bestimmung des Ammoniaks im Boden. Journ. of Agr. Science. 10, 1.
190. Methodenbuch. I. Ausgabe. Verband der Landw. Versuchsstationen in Österreich. 1913.
191. Mitscherlich, E., u. Fischer, H., Zur Kalianalyse. Landw. Versuchsstat. 1912, Bd. 78; 75.
192. Mitscherlich, E., u. Merres, E., Vervollkommen der N-Bestimmungsmethode. Landw. Jahrb. 1909; 38.
193. Mitscherlich, E., Celichowski, K., u. Fischer, H., Eine quantitative Bestimmung kleiner Mengen von Kalium. Ldw. Vers.-Stat. 1911, Bd. 76, 1912, Bd. 78.
194. Mitscherlich, E., Kunze, R., u. Celichowski, K., Ein Beitrag zur Düngemittel- und Bodenanalyse. Landw. Jahrb. 39, 1910.
195. Mitscherlich, E., u. Herz, P., Eine quantitative Stickstoffanalyse für sehr geringe Mengen. Landw. Jahrb. 38, 1909, u. Landw. Versuchsst. 1909.
196. Mitscherlich, E. A., Celichowski, K., u. Fischer, H., Eine quantitative Bestimmung kleiner Mengen von Kalium. Landw. Vers.-Stat. 1912. 76.
197. Mitscherlich, E., u. Merres, E., Der Fehler der Bestimmung des Stickstoffs im Boden. Landw. Jahrb. 1910, Bd. 39.
198. Mitscherlich, E. A., Die chemische Bodenanalyse. Intern. Mitt. f. Bodenk., 4, 1914.
199. Moeser, L., u. Frank, G., Eine Methode der Phosphorsäurebestimmung (in Mineralien). Ztschr. f. analyt. Chem. 52, 1913.

200. Momaski, A. v., Beitrag zur quantitativen Bestimmung der Salpetersäure nach Schlösing-Grandeau und nach der Methode von Busch. Russ. Journ. f. exper. Landw. 1913.
201. Morison, C. G. T., u. Doyne, H. C., Ferroverbindung in Böden. Journ. Agrik. C. VI, 1, 1914.
202. Moulton, C., u. Trowbridge, B., Die Bestimmung des Kalkbedürfnisses von Böden mittels Hydroxyden der alkalischen Erden. (Vgl. Bestimmungen nach versch. Methoden.) Journ. of Ind. and Eng. Chem. 6, 835—837. Columbia 1914.
203. Muencke, R., Wasserbad mit konstantem Niveau. Dinglers polyt. Journal, 1879, Bd. 231.
204. Müller, M., Vorlesungsversuch für die Agrikulturchemie. Zeitschr. f. angew. Chemie 1889, S. 501.
205. Münter, Pflanzenanalyse und Düngerbedürfnis des Bodens. Journ. für Landw. Bd. 67, 1919.
206. Münter, F., Zur chemischen Bodenanalyse. Ldw. Versuchsst. 94, 1919, Jahresb. f. Agr.-Chem. 62, 1919, S. 437.
207. Münter, F., Über Sorption und Nitrifikation von Ammonverbindungen bei Gegenwart von Zeolithen im Boden, sowie über Ammoniakbestimmungen im Boden und über zeolithartige Substanzen. Ldw. Vers.-Stat. 90. 1917.
208. Miklewski, Br., Einige kritische Bemerkungen zur Frage der chemischen Bodenanalyse. Zeitschr. f. Ldw. Versuchsw. Österr. 18, 1915.
209. Nolte, O., Der Boden und die Bodenlösung. Journ. f. Ldw. 65, 1911. Biederm. Zbl. 47, 1918, 52.
210. Noyes, H., Genauere Bestimmung von Bodennitraten mit der Phenoldisulfosäuremethode. Journ. Ind. and Eng. Chem. 11, 1919, S. 213. Chem. Zbl. 1919, IV., 9.
211. Odén, Sven, u. Reuterskiöld, A., Die Einwirkung von Salzsäure auf Tone und Mineralkörner. Int. Mitt. f. Bdk. 1919. — Zur Frage der Azidität der Humusböden und deren Bestimmung. Int. Mitt. f. Bdk. 1919.
212. Osugi, S., u. Uetsuki, T., Untersuchungen über die Azidität des sauren Mineralbodens. Ber. d. Ohara Inst. f. Landw. Forsch. i. Kurashiki, Pror. Okayama, Japan 1916, Bd. 1, H. 1. Ref. Bied. Ztbl. f. Agrik.-Chem. 50, 1921.
213. Pagnoul, M. A., La richesse d'une bonne terre arable en acide phosphorique. Ann. agronom. 1899, T. XXV.
214. Passon, Ein abgekürztes Verfahren zur Bestimmung des Kalks und Ein Beitrag zur chemischen Bodenuntersuchung. Zeitschrift f. angew. Chemie 1898.
215. Pfeiffer, Th., u. Blanck, E., Die Bedeutung des Analysenfehlers bei der Entscheidung von Fragen über den Stickstoffhaushalt des Ackerbodens. Landw. Versuchsstat. 78, 1912.
216. Pfeiffer, Th., u. Simmermacher, W., Bestimmung des Nitrat- und Nitritstickstoffs neben anderen Stickstoffverbindungen. Landw. Versuchsstat. XCIII. 1919, 65.
217. Pfeiffer, Th., u. Riecke, R., Über die Bestimmung des Schwefels im Ackerboden. Mitteil. d. landwirtschaftl. Instit. d. Univ. Breslau. V. H., 1891.

218. Pillik, W., Studien über die Bodenabsorption. Zeitschr. f. analyt. Chem., Bd. 14.
219. Potter, S., u. Snyder, S., Die Bestimmung des Ammoniaks in den Böden. Journ. of Ind. and Engin. Chem. 1915, Nr. 3.
220. Potter, S., u. Snyder, S., Die Bestimmung von Nitraten in Böden. Vgl. Chem. Zbl. II, 1915.
221. Pouget, J., u. Chouchak, D., Über die kolorimetrische Bestimmung der Phosphorsäure. Ref. Chem. Zbl. 82, 1911.
222. Pozzi-Escott, M., Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehalts von Erde. Bull. de l'Assoc. d. Chim. de Socre et Dist. 30, 1913.
223. Prianschnikow, D., Quantitative Bestimmung der im Boden absorptiv gebundenen Basen. Ldw. Vers.-Stat. 79/18, 1913.
224. Preisinger, J., u. Frodl, F., Jodometrische Bestimmung der Phosphorsäure in Pflanzenprodukten und Böden. Zeitschr. f. Landw. Vers.-Wesen in Österreich. 17, 1914.
225. Prescott, J., Die Bestimmung der Phosphorsäure in Bodenauszügen. The Jour. of Agric. Science. Bd. 6. 7. 2, 1914, 111.
226. Protokoll der Tagung der Intern. Komm. f. chem. Bodenanalyse. Int. Mitt. f. Bdk. V, 1915.
227. Puchner, H., Über die Bestimmung der Trockensubstanz im Torf. Landw. Vers.-Stat. 15 u. 16.
228. Ramann, E., März, S., u. Bauer, H., Über Bodenpreßsäfte. Intern. Mitt. f. Bdk. VI. 1, 1916.
229. Rather, J., Verbesserung der Methode der Humusbestimmung in Böden. Journ. of Ind. and Engin. Chem. 3, 1911.
230. Reichardt, Über die Bestimmung der Salpetersäure. Zeitschr. f. analyt. Chemie. IX, 24, 1870.
231. Reschetnikow, P., Der Ammongehalt der Böden nach verschiedenen Bestimmungsmethoden. VI. Ber. Versuchsst. Moskau, 1911.
232. Rije, W. van, Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl. Pharm. Weekblad. 48, 1911.
233. Rodt, V., Die Bestimmung des Doppelschwefeleisen (FeS_2 , Pyrit) im Erdboden. Mitt. a. d. Materialprüfungsamt Berlin. 32, 1914.
234. Rodt, V., Die Kohlensäurebestimmung in Moorwässern. Chem. Ztg. 1920, Nr. 76, S. 469. Chem. Zbl. 1920, IV, 211.
235. Rotter, G., Die jodometrische Bestimmung des Kalis. Diss. Königsberg 1916.
236. Rümpler, A., Zur Bestimmung des Kaligehalts im Ackerboden. Landw. Versuchsst. Bd. LV, H. 1 u. 2, 1901. — Die deutsche Zuckerindustrie, Jahrg. 1901.
237. Russell, C. T., Die Bestimmung des Ammoniaks in Böden. Journ. of Agr. Science. 3. Abt. 3. Sept. 1910.
238. Salm, E., u. Prager, S., Zur Kenntnis der Kjeldahlschen Stickstoffbestimmung. Chem. Ztg. 1918, 42. Jahrsb. f. Agr. Chem. 61, 1918, 446.
239. Scales, F. B., u. Harrison, A. P., Borsäuremodifikation der Kjeldahl-methode zur Untersuchung der Böden.
240. Schollenberger, C., Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs in Bodenproben bei der nassen Verbrennung. Journ. Ind. and Eng. Chem. 1916. Chem.-Zbl. 1918, I. 650.

241. Schlösing fils, Th., Action des liqueurs acides très étendus sur les phosphates du sol. *Compt. rend. de l'Académ. des sciences* 1899, T. 128.
242. Schlösing, Über die Bestimmung der Salpetersäure bei Gegenwart organischer Substanzen. *Ann. de chimie* III, Bd. 40, und *Erdmanns Journal f. prakt. Chemie.* 1854, Bd. 62.
243. Schuller u. Wartha, Kalorimetrische Untersuchungen. *Ann. der Physik* N. F. Bd. 2, 1877.
244. Schulze, F., Über Sauerstoff-Absorption. Bericht der Versammlung deutscher Land- und Forstwirte in Schwerin.
245. Schulze, F., Über den Phosphorsäuregehalt des Wasserauszuges der Ackererde. *Landwirtschaftl. Versuchsstationen*, VI.
246. Schulze, F., vgl. W. Casselmann u. C. Neubauer. *Spezielle analytische Methoden.* *Fresenius Zeitschrift f. analyt. Chemie.* IX, 1870.
247. Schwalbe, G. C., Apparat zur Destillation mit Xylol. *Zeitschr. f. angew. Chemie*, 21. 1908.
248. Seißl, H., Die Phosphorsäure im geglühten Boden. *Zeitschr. f. d. Ldw. Versuchsst. in Österreich.* 20. 1917.
249. Shedd, O., Schnelle Methode zur Bestimmung des Gesamt-K₂O in Bodenarten. *Journ. Ind. and Eng. Chem.* 1909, 302.
250. Shorey, E., u. Fry, W., Die Einwirkung von Kalziteinschlüssen auf die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs in Böden. *Journ. of Ind. and Eng. Chem.* 1917. *Jahresb. f. Agr.-Chem.* 61. 1918. 445.
251. Shrewsbury, S., Ein Verfahren zur Bestimmung von CaCO₃ in Böden. *The Analyst.* 1912.
252. Siegfried, M., u. Weidenhaupt, O., Zur Methode Kjeldahls. *Hoppe-Seylers Zeitschr. f. physiol. Chem.* 76, 1912.
253. Sigmond, A. v., Über die Grundfragen über die Zubereitung der Bodenlösungen für die chemische Analyse. *Verh. II. Int. Agr. geol. Konf.* Stockholm 1911.
254. Sigmond, A. v., Über die praktische Bedeutung der chemischen Bodenanalyse. *Ztschr. Ldw. Vers.-Wesen Österr.* 7. 1907.
255. Sigmond, A. v., Methoden der Untersuchung sodahaltiger (Szik-)Böden im Felde. *Verhandl. d. I. Agrogeologenkonferenz*, Budapest 1909.
256. Sigmond, A. v., Beiträge zur ausführlichen chemischen Analyse des Bodens. *Int. Mitt. f. Bdk.* IV. 1914.
257. Solenow, N., Die Bodenazidität und ihre Bedeutung f. d. Kulturboden. *Diss. Jena* 1909. *Vgl. Bot. Zbl.* 30. 1911.
258. Sornay, P. de, Über die Bestimmung der Schwefelsäure im Boden. *Bull. Ass. Chim.* 1911; 29.
259. Stutzer, A., u. Haupt, W., Die Untersuchungen von Mineralböden auf den Gehalt an Säure und an alkalisch reagierenden Stoffen. *Journ. f. Ldw.* 63. 1915.
260. Stutzer, A., Die Bestimmung der Phosphorsäure als Ammoniumphosphormolybdat. *Landw. Vers.-Stat.* 14. 1919.
261. Suchtelen, H. van, Methode zur Gewinnung der natürlichen Bodenlösung. *Journ. f. Landw.* 60. 1912.
262. Süchting, H., Eine verbesserte Methode zur Bestimmung des Säuregehalts von Böden. *Landw. Vers.-Stat.* 70. 1909.
263. Tacke B., Über Untersuchung von Kalkdüngemitteln. *Landw. Versuchs-Stat.*, 1899, Bd. 52, und 1900, Bd. 54.

264. Tacke, B., Über die Bestimmung der freien Humussäuren im Moorboden. Chem.-Zeitung Nr. 21, 1897.
265. Tiemann, F., Zur Beurteilung der Methoden zur Wasseranalyse. Berichte der Deutsch. chem. Ges. VI, 1873.
266. Truog, E., A new apparatus for the determination of soil carbonates and new methods for the determination of soil acidity. Journ. of ind. and engin. chem. Vol. 8. 1917. Chem. Zbl. 1918. I. 468.
267. Ulbricht, R., Ein Beitrag zur Methode der Bodenanalyse. Landwirtschaftliche Versuchsstationen, V.
268. Vater, H., Die Bodenanalyse und ihre Anwendung in der Forstwirtschaft. Thar. forstl. Jahrb. 58. 1908.
269. Vesterberg, A., Über einige Analysenmethoden für Bodenuntersuchungen. Verh. II. Int. Agrogeol. Konf. 1911.
270. Vesterberg, Über die chemische Bodenanalyse. Vortrag. Verh. III. Intern. Konf. d. Bdk. Prag 1922.
271. Völkers, On some causes of improductiveness of soils. Journal of the Royal Soc. of Agric. of England. 1865.
272. Vorschriften des Verbandes der Landw. Versuchsstat. i. D. R.
273. Wagner, Eine Modifikation des Knopschen Azotometers. Zeitschr. f. analyt. Chemie, XIII. 1874.
274. Wares, A., Die Bestimmung des vom Boden absorbierten K_2O . Ann. Inst. Agron. Moseou. 18. 1912.
275. Warunis, J., Über die Bestimmung des Schwefels in unlöslichen Sulfiden. Ber. d. chem. Ges. 45. 1912.
276. Weibull, M., Über die Pflanzennährstoffe im sauren Boden und ihre Bestimmung. Verh. d. II. Intern. Agrogeol.-Konferenz Stockholm 1910.
277. Whitney, An Report Agr. Experiment-Station Wisconsin 1899. Bied. Zbl. für Agr.-Chemie 1901, II.
278. Wilfart, (Böttcher, O.), Zur Bestimmung des Stickstoffs nach der Kjeldahlschen Methode. Landwirtschaftl. Versuchsstation 41.
279. Wilke-Dorfurt, E., Zur Kalibestimmung in Kalisilikat. Ztschr. f. analyt. Chem. 1912; 51.
280. Wityn, A., Zur Frage der Bestimmung von K_2O durch Überchlorsäure und Natriumkobaltnitrat. Russ. Journ. f. exper. Landw. 14. 1913.
281. Wohltmann, F., u. Marshall, Fr., Untersuchungsmethoden. Halle 1914.
282. Wolff, E., Anleitung z. chem. Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe. Berlin 1875.
283. Zalomonoff, N., Über eine neue Methode der Bestimmung der Absorptionskraft des Bodens. Ber. d. landw. Inst. Halle a. S. 1880.
284. Zyl, J. P. van, Über die Bodenlösung: ihre Gewinnung, Zusammensetzung und Anwendung bei der Schlämmanalyse. Journ. f. Landw. 1916, 64.

D. Mechanisch-physikalische Bodenuntersuchung.

285. Albert, O., u. Boggs, R., Beitrag zur Methodik der Bodenuntersuchung. Int. Mitt. f. Bdk. 4. 1914.

286. Alway, F., u. Pinckney, R., Die photometrische und kolorimetrische Bestimmung des Humus. Nebraska Stat. Rep. 1911.
287. Ammon, G., Untersuchungen über das Kondensationsvermögen der Bodenkonstituenten für Gase. Wollny, Forschungen a. d. Gebiete der Agrikultur-Physik. Bd. II. 1879.
288. Alway, F., u. Clark, V., Verwendung zweier indirekter Verfahren zur Bestimmung des hygroskop. Koeffizienten von Böden. Journ. Agric. Res. 1916. 7. Jahresb. f. Agr.-Chem. 61. 1918. 444.
289. Ashley, H., Colloid matter of clay and its measurement. U.-S. geol. Surrey Bull. 388. 1909.
290. Atterberg, A., Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. Intern. Mitteil. f. Bodenkunde. Bd. II, H. 4, 1912.
291. Atterberg, A., Die Plastizität der Tone. Intern. Mitt. f. Bodenkunde, Bd. I, 1911. Die Konsistenz und die Bindigkeit der Böden. Intern. Mitt. f. Bodenkunde, Bd. II, 1912. Die Plastizität und Bindigkeit liefernden Bestandteile der Tone. Intern. Mitt. f. Bodenkunde, Bd. III, 1913, H. 4.
292. Beam, W., The mechanical Analysis of arid Soils. The Cairo sc. Journ. 5. 1911. Ref. Int. Mitt. f. Bdk. II, 1912.
293. Blanek, E., Über die chemische Zusammensetzung des nach der Schlämmmethode von Atterberg erhaltenen Tons. Ldw. Versuchsstat. 91. 1918.
294. Bollenbach, H., Schlämmapparate für keramische Laboratorien. Tonindustrie-Ztg. 35, 1911.
295. Bouyoncoz, S.Y., Bestimmung der untätigen oder gebundenen Bodenfeuchtigkeit mit der dilatometrischen Methode. Journ. Agr. Research. Nr. 6, 1917.
296. Briggs, L. J., u. Shantz, H. L., Eine neue (Wax-Seal-) Methode zur Bestimmung der unteren Grenze der nutzbaren Feuchtigkeit. Bot. Gaz. 101. 1911.
297. Bunsen, Kalorimetrische Untersuchungen. Ann. der Physik, Bd. 141, 1870.
298. Burger, H., Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitteil. d. Schweiz. Centralanst. f. forstl. Versuchswesen. Zürich 1922.
299. Clausen, Die Bestimmung des Gehalts an Ton und Sand im Ackerboden. Illustrierte Landwirtschaftliche Zeitung v. 29. Nov. 1899.
300. Davis, R., u. Bryan, H., Die elektrische Brücke für die Bestimmung von löslichen Salzen im Boden. U. S. Dep. Bur. of Soils. Bull. 61; 36. 1911.
301. Davis, H., Eine einfache Methode zur Bestimmung des Optimalfeuchtigkeitsgehalts des Bodens. Journ. of Ind. and Eng. Chem. 6. 1914.
302. Döbrich, Über die von den Erdbestandteilen absorbierten Gase. Preuß. Ann. d. Landw. Bd. 52.
303. Dumont, J., Über eine neue Methode der physikalischen Analyse des Bodens. Compt. rend. 153. 1911.
304. Ehrenberg, P., Hahn, E., u. Nolte, O., Die Schichtenbildung, zumal von Boden- und Tontrübungen, ihre Erklärung und Heranziehung zur landw. Bodenuntersuchung. Kolloid-Zeitschr. 21. 1917. H. 1.
305. Ehrenberg, P., u. Pick, H., Die Bedeutung der Bodenkolloide für die Bestimmung der Hygroskopizität in Acker- und Waldböden. Gedenkboek aan van Bemmelen. 1910.

306. Ehrenberg, P., Theoretische Betrachtungen über die Beeinflussung einiger der sogenannten physikalischen Bodeneigenschaften. Mitt. d. Landw. Institute d. Univ. Breslau, Bd. IV, H. 3, 1908.
307. Endell, K., Bestimmung des Gehaltes an Kolloidstoffen in der Ackererde mittels der Färbemethode. Kolloidzeitschrift V.
308. Floëß, R., Die Hygroskopizitätsbestimmung, ein Maßstab zur Bonitierung des Ackerbodens. Diss. Königsberg. 1912.
309. Cannon, W., Die manometrische Methode zur Bestimmung der aufsteigenden Kapillarität der Böden. Plast World, Tucson, Arizona. 1915. 10.
310. Geßner, H., Der verbesserte Wiegnersche Schlämmapparat. Mitt. a. d. Gebiete der Lebensmitteluntersuchung u. Hygiene (Eidgen. Gesundheitsamt) Bd. XIII. H. 4. 1922. Bern.
311. Gorski, M., Ein Beitrag zur Bestimmung der Kolloide im Ackerboden. Zeitschr. Ldw. Vers.-Wesen Österr. 11. 1912.
312. Haberlandt, F., Über die Wärmeleitung im Boden. Wissenschaftliche praktische Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaus. Wien 1875.
313. Haberlandt, F., Über die Kohärenzverhältnisse verschiedener Bodenarten. Wollhys Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik. Bd. I, 1878.
314. Hache, Neue Methode zur Bestimmung der Durchlässigkeit wasserführender Schichten. Wasser, 1918, 14. Chem.-Zbl. 1919, II., S. 56.
315. Haig, W., Ein neues Verfahren zur Bestimmung der hygroskopischen Feuchtigkeit der Böden. Scient. Proc. of the R. Dublin Soc. 1915; 14.
316. Helbig, M., u. Rössler, O., Experimentelle Untersuchungen über die Wasserverdunstung des natürlich gelagerten (gewachsenen) Bodens. Allg. Forst- u. Jagdzeitung 1921, S. 201.
317. Hissink, D. J., Die kolloidalen Stoffe im Boden und ihre Bestimmung. Verh. d. II. Agrogeologen-Konf. Stockholm 1911.
318. Hissink, D. J., Die Methode der mechanischen Bodenanalyse. Int. Mitt. f. Bdk. 1921.
319. Hissink, D. J., Beitrag zur Kenntnis der Adsorptionsvorgänge im Boden. Methode zur Bestimmung der austauschfähigen oder adsorptiv gebundenen Basen im Boden und die Bedeutung dieser Basen für die Prozesse, die sich im Boden abspielen. Intern. Mitt. f. Bdk. 12. 1922.
320. Hornberger, Das Trocknen im elektrisch geleiteten Vakuumexsikator zur Bestimmung der Hygroskopizität. Landw. Vers.-Stat. 1913, 82.
321. Hummert, Neue Methode der Bestimmung der Durchlässigkeit wasserführender Bodenschichten. „Wasser“, 14. 1918. Ref. Chem.-Zbl. 1919, II. 56.
322. Jegorow, M., Zur Frage über die Bestimmung der Absorptionsfähigkeit der Böden nach der Methode von Knop. Russ. Journ. f. experim. Ldw. 1911.
323. Jewnin, M., Über die mechanische Bodenanalyse und einen neuen Schlämmapparat. Diss. Leipzig. 1911.
324. Klenze, v., Über kapillare Wasserleitung im Boden. Landw. Jahrb. 1877.
325. Koettgen, P., Zur Methodik der physikalischen Bodenanalyse. Int. Mitt. f. Bdk. 7, H. 5/6, 1917. Jahresb. d. Agr.-Chem. 62, 1919, 41.
326. Köttgen, P., Über eine Methode zur Trennung dialytischer Pelite nach dem spezifischen Gewicht. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanstalt f. 1919. XL.
327. König, Hasenbäumer u. Meyering, Bestimmung der elektrolytischen Leistungsfähigkeit des Bodens. Zeitschr. f. angew. Chemie 24, 1911.

328. König, J., Hasenbäumer u. Haßler, Bestimmung der Kolloide im Boden durch Farbstofflösungen. Landw. Versuchst. 1911, Bd. 76.
329. König, J., Hasenbäumer, J., u. Krönig, R., Die Trennung der Bodenteile nach dem spez. Gewicht und die Beziehungen zwischen Pflanzen und Boden. Landw. Jahrb. 1914.
330. König, J., Hasenbäumer, J., u. Glenk, K., Über die Anwendung der Dialyse und die Bestimmung der Oxydationskraft für die Beurteilung des Bodens. Ldw. Versuchsstat. 79/80. 1913.
331. Kopecký, J., Ein Beitrag zur Frage der neuen Einteilung der Körnungsprodukte bei der mechanischen Analyse. Int. Mitt. Bdk. IV, 2/3, 1914, 199—202.
332. Kopecký, J., Die Bodenuntersuchung zum Zwecke der Dränagearbeiten, mit besonderer Berücksichtigung der Ausführung mechanischer Bodenanalyse mittels eines neu kombinierten Schlämmapparates. Prag 1901.
333. Kopecký, J., Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. Int. Mitt. f. Bdk. 1914, u. Comptes rendus der I. Agrogeologen-Konferenz, Budapest 1909.
334. Kraus, Einfache Methode der Korngrößenanalyse. Vortrag. Verh. III. Inter. Konf. f. Bdk. Prag 1922. — Über eine neue Methode der mechanischen Bodenanalyse etc. Int. Mitt. f. Bdk. XIII. 1923.
335. Krüger, E., Verfahren zur Bestimmung des Einheitsgewichtes von Böden. Int. Mitt. f. Bdk. VI; 1916.
336. Krüger, E., Die Bedeutung und Ermittlung des Raungewichts bei bodenkundlichen Arbeiten. Int. Mitt. f. Bdk. 1921.
337. Lang, C., in Wolny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. 1878, Bd. I.
338. Leeden, v. d. R., u. Schneider, E., Über neuere Methoden der Bodenanalyse und der Bestimmung der Kolloidstoffe im Boden. Intern. Mitt. f. Bodenkunde. 1912, Bd. II.
339. Lummert, R., Neue Methoden der Bestimmung der Durchlässigkeit wasserführender Bodenschichten. Prakt. Hilfsmittel für wassersuchende Ingenieure. 1917.
340. Lyon, T., u. Bizzell, J., Die Veränderungen, die in Böden durch Behandlung mit Wasserdampf unter Druck hervorgebracht werden. Ref. Biederm. Zbl. 41, 1912.
341. Marquis, C., Vergleichende Untersuchungen über die Methoden der Kohärenzbestimmung. Int. Mitt. f. Bodenk. 1915.
342. Marshall, F., Laboratoriumsapparat zur Bestimmung der absoluten Wasserkapazität, der vollen Wasserkapazität von Böden. Landw. Vers.-Stat. 76. 1912.
343. Mayer, Ad., Über das Verhalten erdartiger Gemische gegen das Wasser. Landwirtsch. Jahrbücher III, 771, und Wolny, Forschungen usw., Bd. III. 1880.
344. Melin, E., u. Odén, Sven, Kolorimetrische Untersuchungen über Humus und Humifizierung. Int. Mitt. f. Bdk. 1919.
345. Mitscherlich, A., Beurteilung der physikalischen Eigenschaften des Ackerbodens mit Hilfe seiner Benetzungswärme. Inaug.-Dissertation Kiel 1898. Vgl. auch Journ. f. Landwirtsch. 1898. — Zur Methodik der Bestimmung der Benetzungswärme. Journ. f. Landw. 1900, S. 79, u. Landw. Jahrb. 1902.

346. Mitscherlich, E., u. Floëß, R., Ein Beitrag zur Bestimmung der Hygroskopizität und zur Bewertung der physikalischen Bodenanalyse. *Int. Mitt. f. Bdk. I.* 1911.
347. Mohr, E., Die mechanische Bodenanalyse. *Mitt. aus d. geol.-agron. Labor. d. Dep. f. Landw. zu Buitenzorg, Java VIII*, 1910, und *Ergebnisse mechanischer Analysen tropischer Böden. Ebenda IX*, 1911.
348. Moore, P. J., Fry, W., u. Middleton, H. S., Methoden zur Bestimmung der Mengen von kolloiden Stoffen in Böden. *Journ. Ind. and Engin. Chem.* 13, 1921, Nr. 6.
349. Murawljansky, S., Ultramikroskopie von Bodenauszügen. *La Pédologie* 2/3. 1913.
350. Novák, W., Zur Methodik der mechanischen Bodenanalyse. *Int. Mitt. f. Bdk., 6. H. 2/3*, 1916.
351. Novák, W., Besteht ein Zusammenhang zwischen der Hygroskopizität und der mechanischen Analyse des Bodens? *Landw. Jahrb.* 50, S. 445. 1917.
352. Novák, W., Der jetzige Stand der Methodik der mechanischen Bodenanalyse. Vortrag; *Verh. III. Intern. Konf. f. Bdk. Prag* 1922.
353. Odén, Sven, Eine neue Methode zur mechanischen Bodenanalyse. *Int. Mitt. f. Bdk.* 5 und 6, 1915.
354. Odén, S., Über die Vorbehandlung der Bodenproben zur mechanischen Analyse. *Bull. of the Geol. Inst. of Upsala*, Vol. XVI; 1920.
355. Oryng, T., Kritische Bemerkungen zur Frage der Bestimmung des Absorptionsvermögens des Bodens? *Kolloid-Zeitschr.* 1914, 14.
356. Pfeiffer, K., Beiträge zur Frage der mechanischen Bodenanalyse und der Bestimmung der Bodenoberfläche mittels Benetzungswärme und Hygroskopizität. *Diss. Gießen. Landw. Jahrb.* 1911.
357. Pott, E., Untersuchungen betr. die Fortpflanzung der Wärme im Boden durch Leitung. *Landw. Versuchsst.* XX, 1877.
358. Pratolongo, H., Physikalisch-chemische Studien über die Bodenart. Die Funktion der Kolloide im Erdboden und die davon abhängigen Eigentümlichkeiten. *Staz. sperim. agrar. ital.* 53. 5. 1919. *Chem.-Ztbl.* 1920, IV.
359. Pratolongo, U., Über die physiologisch-mechanische Bodenuntersuchung. *Staz. sperim. agr. ital.* 50, 1917.
360. Puchner, H., Die Schollenanalyse, ein Mittel zur Bestimmung der Bodenstruktur. *Mitt. d. d. landw. Ges.* Berlin 1911. 4.
361. Puchner, H., Untersuchungen über die Kohärenz der Bodenarten. *Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik.* Bd. XII, 1889. — Vergleichende Untersuchungen über die Kohärenz verschiedener Bodenarten. *Intern. Mitt. f. Bodenkunde*, III., 1913.
362. Reichardt, E., Untersuchung fester Körper auf Gase. *Fresenius' Zeitschr. f. analyt. Chemie.* VII. 1866.
363. Richter, G., Die Ausführung mechanischer und physikalischer Bodenanalysen. *Int. Mitt. f. Bdk.* 6. 1916.
364. Robinson, G. W., Note on the mechanical analysis of humus soils. — A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersoids. *The Journal of Agric. Science.* Vol. XII. P. III. July 1922.
365. Rodewald, H., Theorie der Hygroskopizität. *Landw. Jahrb.* 1902.
366. Rohland, P., Die quantitative Bestimmung der Kolloidstoffe in den Tonen. *Silikat-Zeitschr.* Nr. 9, 1913.

367. Rohland, P., Über eine Bestimmungsmethode der Kolloidstoffe in den Böden. Landw. Jahrb. 1912, 77.
368. Romberg, G. v., Praktische Winke für die Ausführung von Hygroskopizitätsbestimmungen nach Rodewald-Mitscherlich. Landw. Versuchst. 1911.
369. Rupp, Der Einfluß der Düngung auf Kalkgehalt und Bodenreaktion. Mitt. d. Deutsch. Landw.-Gesellsch. 1922, Stück 28.
370. Saidel, Th., Über die Methode der Messung der elektromotorischen Kraft. Int. Mitt. für Bdk. 1915, S. 147.
371. Schenke, V., Zwei maßanalytische Methoden zur Bestimmung von Kalk und Magnesia. Chem. Ztg. 33, 1909.
372. Scheeffer, F., Eine Methode zur Bestimmung der äußeren Bodenoberfläche. Diss. Königsberg. 1909.
373. Schermbeek, A. van, Bodensonde. Forstw. Zentralblatt, 24. Jahrg. 1902.
374. Scheermesser, Die Absorption der Gase durch Erdgemische. Jena 1871.
375. Schöne, E., Über Schlämmanalyse und einen neuen Schlämmapparat. Berlin 1867.
376. Schübler, Grundsätze der Agrikulturchemie 1830.
377. Sjollem, B., Die Isolierung der Kolloidsubstanzen des Bodens. Journ. f. Landw. 1905, Bd. 53.
378. Sjollem, B., Anwendung von Farbstoffen bei Bodenuntersuchungen. Journ. f. Landw. 1905, Bd. 53.
379. Sokol, R., Über eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Kolloidtons. Int. Mitt. f. Bdk. 1921.
380. Steinkönig, L., Die Verteilung gewisser Bodenbestandteile in den Schlämfraktionen von Lehm Böden. Journ. of Ind. and Engin. Chem. 6, 1914.
381. Stremme, H., u. Aarnio, B., Die Bestimmung des Gehaltes anorganischer Kolloide in zersetzten Gesteinen und deren tonigen Umlagerungsprodukten. Zeitschr. f. prakt. Geologie XIX, 1911.
382. Stremme, H., Die Bestimmung des Kolloidgehalts im Boden. Pédologie 1911, H. 4.
383. Trnka, R., Neue Methode zur Bestimmung des Volumengewichts des Bodens und anderes. 7. Int. Congr. of appl. Chem. London 1909.
384. Tulaikow, N., Einige Laboratoriumsversuche über die Kapillarität der Böden. Russ. Journ. exper. Ldw. 8, 1907.
385. Vageler, P., Die Nikattaebene 1910.
386. Vageler, P., Die Rodewald-Mitscherliche Theorie der Hygroskopizität vom Standpunkte der Kolloidchemie und ihr Wert zur Beurteilung der Böden. Fühlings Landw. Zeitung. 61, 1912.
387. Wache, R., Beitrag zur Bestimmung und Bewertung der Kolloide im Boden. Mitt. a. d. Labor. d. Preuß. Geol. Landesanstalt, H. 2, 1921.
388. Wagner, F., Untersuchungen über das relative Wärmeleitungsvermögen verschiedener Bodenarten. Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, VI., 1883.
389. Welischkowsky, D. v., Über die Permeabilität der Böden für Luft und Wasser. Archiv f. Hygiene 1884, II.
390. Wells, A., Stevenson, W., u. Coover, W., A centrifugal method for the determination of humus. Iowa Agric. Exp. Station Bull. 124.
391. Wiegner, G., Über eine neue Methode der Schlämmanalyse. Ldw. Versuchsstat. 91, 1918.

392. Wolff, E., Der Nöbelsche Schlämmapparat, nach Versuchen von Dr. C. Werner. *Landw. Vers.-Stat.* 8, 408, 1866.
393. Wollny, E., Untersuchungen über die Temperatur des Bodens im dichten und lockeren Zustande. *Forsch. a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik.* II, 1879.
394. Wollny, *Forschungen a. d. Gebiete der Agrikultur-Physik* 1891, Bd. 14, 1.
395. Zunker, F., Die Bestimmung der spezifischen Oberfläche des Bodens. *Landw. Jahrb.* 58, 1923.
396. Zyl, J. P. van, Der Atterbergsche Schlammzylinder. *Int. Mitt. f. Bdk.* 8, 1918.
397. Wrochem, J. v., Über Apparate zur Bestimmung des spezifischen Gewichts fester Körper in pulveriger und körniger Form. *Mitt. a. d. Kgl. Materialprüfungsamt Lichterfelde.* 1904. *Chem. Zbl.* 1905, 1.
398. Brögger, Om en ny Konstruktion af et isolationsapparat for petrografiske undersøgelser. *Geol. Fören i Stock. Forhand.* Bd. VII, H. 7, 1884. Vgl. auch *Neues Jahrb. f. Mineralogie usw.* Jahrg. 1885, Bd. I, 395.
399. McCaughey, W. J., u. Fry, W. H., Die mikroskopische Bestimmung bodenbildender Mineralien. *U. S. Dep. of Agr. Bur. of Soils. Bull.* 91, 1913.
400. Déherain, M. P., L'acide phosphorique du sol. *Ann. agronom.* 1891, T. XVII, S. 445.
401. Fry, W., u. Cullen, J., Aufhellung der Böden für die mikroskopische Untersuchung. *Journ. Ind. and Engin. Chem.* 7, 1915.
402. Hazard, J., Zur quantitativen Bestimmung des Quarzes in Gesteinen und Bodenarten. *Fresenius' Zeitschrift für analytische Chemie.* XXIII, H. II.
403. Klein, D., *Compt. rend.* 93, S. 318, 1881, und *Bull. de la Soc. Mineralogique de France* 4, 1881.
404. Rohrbach, C., Über die Verwendbarkeit einer Bariumquecksilberjodidlösung zu petrographischen Zwecken. *Neues Jahrbuch für Mineralogie usw.* 1883, Bd. II, S. 186. (Vgl. Goldschmidt, Über Kaliumquecksilberjodidlösung. *Ebenda.* 1881.)
405. Seemann, Fr., Leitfaden der mineralogischen Bodenanalyse. Nebst Beschr. d. wichtigsten Unters. am gewachsenen Boden. 1914.
406. Steinriede, Fr., Anleitung zur mineralogischen Bodenanalyse; insbesondere zur Bestimmung der feineren Bodenmineralien, unter Anwendung neuerer petrographischer Untersuchungsmethoden. II. Auflage. Leipzig 1921.
407. Thoulet, Über die Bestimmung des spez. Gewichts v. Mineralien. *Bull. de la Soc. mineralogique de France*, Nr. 1, 1879.

E. Biologische Untersuchungsmethoden.

408. Abel, R., Bakteriologisches Taschenbuch. Verlag Kabitzsch, Würzburg. Koch, Alfr., Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft. 1899, Heft 40, S. 14.
409. Baragiola u. Schuppli, Die landw. Versuchsstationen 1917, Bd. 90, S. 123.
410. Brodemann, G., *Zentralbl. f. Bakteriologie, Abt. II.* 1909, Bd. 23, S. 488.
411. Christensen, H., *Zentralbl. f. Bakteriologie, Abt. II.* 1911, Bd. 29, S. 347. *Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung* 1922, Teil A, Bd. 1, S. 265.

412. Densch, Mitt. d. Kaiser-Wilhelms-Instituts für Landwirtschaft in Bromberg 1908, Bd. I, S. 207, 402.
413. Heim, Lehrbuch der Bakteriologie. Verlag Enke, Stuttgart.
414. Hesselink van Suchtelen, Zentralblatt f. Bakteriologie, Abt. II, 1910, Bd. 28, S. 45.
415. Hiltner, L., u. Störmer, Arbeiten aus der Biologischen Abteilung für Land- u. Forstwirtschaft am Kaiserl. Gesundheitsamte. 1903. Bd. 3, S. 474.
416. Koch, Alfr., Mikrobiologisches Praktikum. Verlag Springer, Berlin.
417. König, Coppenrath u. Hasenbäumer, Die Landw. Versuchsstationen 1906, Bd. 63, S. 472; 1907, Bd. 66, S. 417.
418. König u. Hasenbäumer, Landwirtschaftliche Jahrbücher 1921, Bd. 55, S. 185.
419. Küster, E., Anleitung zur Kultur der Mikroorganismen. Verlag Teubner, Leipzig-Berlin.
420. Lemmermann, Aso, Fischer u. Fresenius, Landwirtschaftliche Jahrbücher 1911, Bd. 41, S. 217.
421. Löhnis, F., Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie. Verlag Bornträger, Berlin.
422. Löhnis, F., Landwirtschaftlich-bakteriologisches Praktikum. Verlag Bornträger, Berlin.
423. Meyer, A., Praktikum der botanischen Bakterienkunde. Verlag Fischer, Jena.
424. Ölsner, Zeitschr. f. angew. Chemie, 1918, Bd. 31, S. 170.
425. Stoklasa, Zentralblatt f. Bakteriologie, Abt. II, 1905, Bd. 14, S. 723. Zeitschrift für das Landw. Versuchswesen in Österreich, 1911, Bd. 14, 1241.

Sachregister.

- A**bsorption 156.
 Absorption für Wasserdampf 172.
 Ackerboden 2.
 Adhäsion 204.
 Adsorptiv gebundene Basen 160.
 Allert- u. Bogs-Methode 76.
 Alkalienbestimmung 123.
 Alkalität 189.
 Amerikanischer Tellerböhrer 14.
 Ammoniakbestimmung 144.
 Atomgewichte 217.
 Arterbergs Schlämmapparat 25.
 Aufsaugungsvermögen 170.
 Azidität 102, 189.
 Azotobacter-Methode 212.
 Azotometer 141.
- B**ausechanalyse 96.
 Benditzungswärme 184.
 Böttgenschke Flasche 24.
 Biologie des Bodens 209.
 Biologischer Nachweis des Kalkbedürfnisses 211.
 Bodenanalyse, Grundsätze 214.
 Bodenauszüge 101.
 Boden, Begriff 1.
 Boden, Entstehung 8.
 Bodenhorizonte 3.
 Bodenkonstituenten 50.
 Bodenprofil 13.
 Bodenreaktion 189.
 Bodensonde 206, 208.
 Bodenthermometer 182.
 Bodenuntersuchung, Zweck 9.
 Bohrzeug 14.
- C**hristiensen's Methode, Azidität 193, 195, Azotobacter 212.
- Clausenscher Apparat 25.
 Combersche Methode 196.
- D**aikuharas Methode 198.
 Dennstedts Methode 76.
 Derivatböden 5.
 Durchlässigkeit 108.
 Durchlüftungsfähigkeit d. Bodens 180.
- E**isenbestimmung 83, 118.
 Eisenoxydulverbindung 148.
 Elektrische Messung, Salze 203, Wasser 204.
 Elektrolitische Leitfähigkeit 204
 Elektrometrische Messung der Wasserstoffionenkonzentration 191.
 Elementaranalyse 70.
 Essigsäureauszug 113.
- F**arbvorgleicher 194.
 Feinboden 19.
 Ferroverbindungen 148.
 Finkeners Methode 58.
 Flora 4.
- G**aßens molekulare Berechnung 212.
 Gase des Bodens 171.
 Gebirgsböden 15.
 Gewicht des Bodens 152.
 Glühverlust 75.
 Görtbinger'scher Löffel 14.
 Grandaens Methode 78.
- H**asenbäuners Methode 192.
 Hilgards Schlämverfahren 46.
 Hissinks Methode der Basenbestimmung 160, Azidität 197, Schlämverfahren 27.

- Horizonte 3.
 Humusbestimmung 65, 66, 70, 76, 78.
 Humussäure 147, 199.
 Hutchinson-Methode 65.
 Hygroskopisches Wasser 171.
 Hygroskopizität n. Mitscherlich 172.

Kali, leicht lösliches 114.
 Kalibestimmung 124.
 Kalibestimmung nach Biéler-Chatelan 113.
 Kaliumpermanganatlösung 84.
 Kalkbedürfnis, biologischer Nachweis 211.
 Kalkerdebestimmung 121.
 Kapillaranziehung 170.
 Karbonate, Bestimmung 51—65.
 Katalytische Kraft des Bodens 210.
 Keimgehalt des Bodens 209.
 Kieselsäure im H Cl-Auszuge 127.
 Kjeldahls Methode 132.
 Klassifikation 4.
 Knop, Absorption 157.
 Knops Humusbestimmung 66.
 Knopscher Schlammzylinder 24.
 Knop-Wagnersches Azotometer 141.
 Kochsalzgehalt 148.
 Koeffizienten 217.
 Kohäsion 204.
 Kohlensäurebestimmung
 nach Finkener 58.
 nach Mohr 56.
 nach Scheibler 51.
 Kohlenstoffbestimmung 70.
 Kolloidbestimmung 184.
 Kolorimetrische Humusbestimmung 76.
 Kopeckýs Schlammverfahren 48.
 Körnung 17.
 Krauß' Schlammverfahren 30.
 Kühnscher Apparat 22.

Literatur 220.
 Loews Methode 203.
 Luftkapazität 179.

Magnesiabestimmung 122.
 Manganbestimmung 120.
 Mechanische Analyse 17.
 Mineralien des Bodens 90.
 Mitscherlichs Hygroskopizitätsbestimmung 172.
 Mohrs Methode 56.
 Mohrs Schlammverfahren 28.
 Molekulare Berechnung 202.
 Moorböden, Untersuchung 109.

Nährstoffe der Pflanze 10, 99.
 Natronbestimmung 125.
 Nöbels Schlammverfahren 24.

Oberkrume 2.
 Odéus Schlammverfahren 30, Azidität 201.

Passonscher Apparat 53.
 Petrographische Untersuchung 89.
 Pflanzennährstoffe 10, 99.
 Phosphorsäure, assimilierbare 113, nach Pagnoul 113.
 Phosphorsäurebestimmung 118, 128, nach Finkener 130, nach Mitscherlich 131.
 Pichls Apparat 53.
 Porenvolumen 153.
 Porosität 155.
 Primitivböden 5.
 Probeentnahme 13.
 Profil des Bodens 13.

Quartzgehalt 94.

Reaktion des Bodens 189.
 Robinsons Schlammverfahren 33.

Salpetersäurebestimmung 103.
 Salze des Bodens, Bestimmung 203.
 Salzsäureauszug 115.
 Sandgehalt 89.
 Sauerstoffgehalt des Bodens 179.
 Säurebestimmung 102.
 Schädliche Stoffe 147.
 Scheiblers Apparat 51.
 Scheinbares spez. Gewicht 154.
 Schießofen 81.
 Schlammverfahren 18, 20.
 Schlösings Methode (NH_3) 145.
 Schönes Schlammverfahren 34.
 Schwefelgehalt 151.
 Schwefelsäurebestimmung 103, 148.
 Schwemmböden 5.

Siebverfahren 17.

Spezifisches Gewicht der Mineralien
90, des Bodens 152, 154.

Sterilisierung des Bodens 209.

Stickstoffbestimmung 132, 138.

Stutzer u. Haupts Methode 202.

Tellerbohrer 14.

Thaers Klassifikation 6.

Thouletscher Scheideapparat 91.

Ton, Bestimmung 78.

Tonbildung 9.

Tonerdebestimmung 83, 118.

Truog-Methode, Karbonate 65, Azi-
dität 203.

Untergrund 2.

Verbrennungsofen 72.

Verdunstungsfähigkeit 167.

Verwitterung 8.

Volumgewicht 153.

Wärmeabsorption 181.

Wärmeleitungsvermögen 183.

Wasserauszug des Bodens 101.

Wasserkapazität 161.

Wasserstoffionenkonzentration 191.

Wiegners Methode 28.

Zitronensäure-Auszug 113.

Zunkers Methode 29.

Druckfehler.

S. 119. Zeile 5 v. o. ließ Metalljodide statt -jodüre.

S. 133. „ 1 „ „ „ „ Behandlung „ Oxydation.

Biblioteca USV

Die Untersuchung landwirtschaftlich und landw.-gewerbl. wichtiger Stoffe

Praktisches Handbuch

von Dr. J. König, Dr.-Ing. h. c., Geh. Reg.-Rat,
Professor an der Universität in Münster i. W.

Fünfte, neubearbeitete Auflage.

Band I. Die Untersuchung landwirtschaftlich wichtiger Stoffe. Mit 360
Textabbildungen und 1 farbigen Tafel. Gebunden, Preis 28 Goldmark.

Band II. Die Untersuchung landwirtschaftlich-gewerblich wichtiger Stoffe.
Im Druck.

Bodenkunde für Land- und Forstwirte

Von Dr. E. A. Mitscherlich, Prof. in Königsberg i. Pr.

Vierte, neubearbeitete Auflage. Mit 37 Textabbildungen.

Gebunden, Preis 9 Goldmark.

Die Bodenkunde auf chemisch-physikalischer Grundlage

Von Prof. Dr. Moritz Fleischer, Wirkl. Geh. Ob.-Reg.-Rat in Berlin.

Fünfte, neubearbeitete Auflage. Mit zwei farbigen Tafeln.

Gebunden, Preis 7 Goldmark.

Praktische Bodenkunde

Anleitung zur Untersuchung, Einteilung und Darstellung
des Grund und Bodens.

Von Prof. Dr. A. Nowacki in Zürich.

Siebente, neubearbeitete Auflage.

Mit 12 Textabbildungen und 1 Farbendrucktafel.

(Thaer-Bibliothek.) Gebunden, Preis 4 Goldmark.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

Verlag von Paul Parey in Berlin SW 11, Hedemannstr. 10 u. 11

Entdeckte Verborgenschaften aus dem Alltagsgetriebe des Mikrokosmos.

Von Prof. Dr. Paul Lindner,

Vorsteher der Biologischen Abteilung am
Institut für Gärungsgewerbe in Berlin.

Mit 1 farbigen Tafel und 56 Textabbildungen.
Geheftet, Preis 6 Goldmark; gebunden, Preis 9 Goldmark.

Die Düngerlehre.

Von D. N. Prjanischnikow,

Prof. an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Moskau.

Nach der 5. russischen Auflage herausgegeben von

Dr. M. von Wrangell, Prof. in Hohenheim.

Mit 84 Textabbildungen.

Geheftet, Preis 9 Goldmark; gebunden, Preis 11 Goldmark.

Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen.

Lehrbuch auf der Grundlage wissenschaftlicher Forschung und praktischer Erfahrung bearbeitet von

Professor Dr. W. Schneidewind,

Direktor der agrik.-chem. Versuchsstation der Landwirtschaftskammer
für die Provinz Sachsen in Halle a. S.

Fünfte, neubearbeitete Auflage.

Mit 15 Tafeln. Gebunden, Preis 15 Goldmark.

Illustriertes Landwirtschafts-Lexikon.

Unter Mitwirkung zahlreicher Fachmänner aus Wissenschaft und Praxis

herausgegeben von Dr. P. Gisevius,

Geheimer Hofrat, Professor an der Universität Gießen.

Sechste, neubearbeitete Auflage.

Mit 65 Bildnissen und 1309 Textabbildungen.

Zwei Bände. Gebunden, Preis 40 Goldmark.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung.

