

Erster Teil



Abhandlungen



Zur Praxis der physikalischen Bodenanalyse.

Eine Anleitung für Botaniker, Forst- und Landwirte und ihre Institute.

Von

RUDOLF SIEGRIST (Aarau).

(Mit 4 Abbildungen.)

(Als Manuskript eingegangen am 21. Mai 1931.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung	103
I. Das Bodenwasser und die Bodenluft	105
A. Das Bodenwasser	105
Das Verbrauchswasser	105
Die Wasserkapazität	105
B. Die Bodenluft	106
Der Luftgehalt	106
Die Luftkapazität	106
II. Die Technik der Bestimmung des Bodenwasser- und Luft- faktors	107
A. Die Apparatur	107
B. Gang der Untersuchung	108
a. Das Ausheben der Bodenprobe	108
b. Arbeiten zur Ermittlung der festen Bodenbestandteile und des Luft- und Wassergehaltes	109
c. Der Wassergehalt der Kleinprobe	109
d. Beispiel für die Berechnung der Wasser- und Luftfaktoren einer Bodenprobe	110
Schlussfolgerung	111
III. Anleitung für die mechanische Analyse	111
Das Verfahren, Sieben und Schlämmen	112
STOKES'sche Schlämmformel	113
Anhang: Beispiele für die graphische Darstellung der Analyse	114
Literaturverzeichnis	115

Einleitung

Es besteht heute kein Zweifel darüber, dass die Untersuchung der physikalischen Beschaffenheit des Bodens zu den Erfordernissen der Standortcharakteristik gehört. Studiert der Pflanzensoziologe die Oekologie einer Assoziation, dann muss er sich mit den Korngrößen

sowie mit den Durchlüftungsverhältnissen des Bodens ebenso intensiv wie mit den andern Faktoren befassen. Die Kenntnis der Luft- und Wassermengen und -kapazitäten geben ihm wichtige Anhaltspunkte über die Eigenschaften der Böden. KOPECKY und BURGER haben gezeigt, dass die Luftkapazität geeignet ist, die Waldböden nach ihrer Bonität zu klassifizieren. Eigene Untersuchungen in Auenwäldern verschiedener Flussgebiete der Schweiz, sowie an der Drau in Kärnten haben gezeigt, dass die Bodenbildung im engen Zusammenhang mit der Vegetationsentwicklung steht: Wo die Auenwaldpflanzen ersetzt werden durch charakteristische Artenkombinationen von Misch- oder Buchenwaldpflanzen, wie *Convallaria majalis*, *Majanthemum bifolium*, *Paris quadrifolia*, *Anemone hepatica*, *Oxalis acetosella*, *Aposeris foetida*, steigt die ursprüngliche Luftkapazität des Bodens von 8% auf 23%! In einem Falle ungleichen Fichtenwachstums durfte ebenfalls die physikalische Beschaffenheit des Bodens als ausschlaggebender Faktor angesehen werden:

Fichten mit gutem Wachstum. Nadeln sattgrün, 10—12 mm lang: Sandboden mit 8% Ton, 10% Luftkapazität.

Fichten mit schlechtem Wachstum. Nadeln gelblich, 4—6 mm lang: Sandboden mit 42% Ton, 2% Luftkapazität.

Der Unterschied in der Luftkapazität ist in diesem Falle besonders bestimmend für das Gedeihen der Fichten.

Wenn hier sozusagen eine umgekehrte Proportionalität zwischen Tongehalt und Luftkapazität heraussteht, so muss darauf hingewiesen werden, dass diese Tatsache keineswegs verallgemeinert werden darf. Es hat sich in andern Fällen gezeigt, dass bei einem Tongehalt um 40% herum immer noch Luftkapazitäten von 7% vorhanden sein können. Daraus geht hervor, dass sowohl die Struktur des Bodens als auch sein Gehalt an Wasser und Luft bestimmt werden müssen.

Wenn trotz der Zusammenhänge zwischen der Pflanzendecke und den Eigenschaften des Bodens die Feststellung der wichtigsten physikalischen Faktoren meistens unterblieben ist, so liegt das in der Hauptsache darin, dass einerseits die bisherigen Methoden zur Bestimmung der Luft- und Wasserkapazität zu viel Zeit beanspruchen und andererseits der Transport der Proben nach einem Laboratorium zu umständlich ist.

Sowohl die Pflanzensoziologie wie die auf Forst- und Landwirtschaft angewandte Bodenkunde benötigen eine Methode, die ihr gestattet, auf Exkursionen und Reisen den Boden ohne grosse Umstände

an Ort und Stelle physikalisch zu untersuchen. Diese Möglichkeit ist heute vorhanden, wie nachstehend gezeigt werden soll. In Anlehnung an die Methoden von RAMANN, ALBERT, KOPECKY, BURGER u. a. gelange ich nach mehrjährigen Versuchen zur Empfehlung einer Methode, die den Vorzug hat, einfach und überall im Feld ausführbar zu sein. Kontrollversuche haben erwiesen, dass die Genauigkeit der Resultate ebensogut ist wie bei früheren, komplizierteren Methoden.

I. Das Bodenwasser und die Bodenluft.

A. Das Bodenwasser.

Für die Vegetation ist das Kapillarwasser von besonderer Wichtigkeit. Während das Senkwasser mehr oder weniger rasch abfließt, das hygroscopische Wasser aber von den Wurzeln nicht aufgenommen werden kann, lösen sich im kapillar zurückgehaltenen Wasser die Nährstoffe auf und werden durch die Wurzeln den Pflanzen zugeführt. Sowohl ein Minimal- wie ein Maximalgehalt an Bodenwasser ist für die Ausbildung einer Assoziation unter Umständen ausschlaggebend. Es kann also für die Feststellung ökologisch ausschlaggebender Faktoren in bestimmten Fällen die Notwendigkeit der Ermittlung des Wassergehaltes sich geradezu aufdrängen. Aber auch die Abstufungen in der Menge des Bodenwassers dürften für die Zusammensetzung von Assoziationen in hohem Grade mitbestimmend sein (z. B. Optimalphase im Auenwald!), weshalb auf die Bestimmung des Wasserfaktors stets geachtet werden soll.

Am einfachsten wird die Bodenfeuchtigkeit, das Verbrauchswasser, bestimmt durch Trocknen einer kleinen Bodenprobe bei einer Temperatur von etwas über 100°. Dieser Bestimmung ist grosse Aufmerksamkeit zu schenken, da bei unserer Methode, wie unten noch gezeigt werden soll, nicht bloss der Wassergehalt, sondern, nach Ermittlung des Luftgehaltes, daraus unmittelbar die festen Bodenbestandteile in Volumenprozenten resultieren.

Die Angaben über die Bodenfeuchtigkeit bekommen aber erst dann ihren eigentlichen Wert, wenn die Beobachtungen sich über eine längere Zeitdauer erstrecken und wenn Vergleichswerte aus verschiedenen Pflanzengesellschaften vorliegen. Die Grössen sind dann am besten graphisch zur Darstellung zu bringen.

Die Wasserkapazität. Wir verstehen darunter den Wassergehalt im wassergesättigten Boden oder nach RAMANN „die Fähigkeit des Bodens, Wasser in tropfbar flüssigem Zustande in sich aufzunehmen und längere oder kürzere Zeit festzuhalten“. Untersuchungen, namentlich von BURGER, haben gezeigt, dass der Wasserkapazität

als charakteristischem ökologischem Faktor — neben der Luftkapazität — Bedeutung zukommt.

Zur Feststellung dieser Grösse ist der Boden zunächst mit Wasser zu sättigen, und hernach muss man ihn eine Zeitlang vertropfen lassen. Über diese Zeitdauer muss man sich einigen. 24 Stunden einzusetzen (KOPECKY) dürfte übergenug sein. Für eine Feldmethode ist die Zeit jedenfalls zu lang. 1 Stunde aber (BURGER 1922) genügt erfahrungsgemäss nicht, da den meisten Böden nachher noch beträchtliche Wassermengen entweichen. Die Versuche haben ergeben, dass ein zweistündiges Vertropfenlassen sehr gut brauchbare Werte liefert. Man dürfte sich auf diese Zeit einigen. Auch BURGER (1927) schlägt neuerdings 2 Stunden vor.

Den Wassergehalt dieses zuerst gesättigten und nachher während zwei Stunden vertropften Bodens bezeichnen wir als Wasserkapazität.

B. Die Bodenluft.

Weder die Wasserkapazität noch das Porenvolumen geben ein vollständiges Bild der Güte eines Bodens. Es gehört dazu noch

der Luftgehalt. Ohne weiteres leuchtet ein, dass die Durchlüftung des Bodens der pflanzlichen Atmung wegen von ausschlaggebendem Einfluss auf die Vegetationsentwicklung ist. In luftreichen Böden wird nicht bloss der Sauerstoffgehalt gesteigert, sondern zugleich auch der CO_2 -Gehalt verhältnismässig herabgesetzt, während umgekehrt nach ROMELL (1922, cit. n. BRAUN-BLANQUET) in nassen Böden neben einem Sauerstoff- und Luftminimum ein grosser CO_2 -Überschuss zu finden ist. Dieses umgekehrte Verhältnis im Auftreten der für die Wurzelatmung entgegengesetzt wirkenden Gase O und CO_2 gestattet in Fällen, wo nicht ganz besondere Verhältnisse vorliegen, die Umgehung der Untersuchung der Bodenluft auf ihren CO_2 -Gehalt.

Die Luftkapazität. Wir verstehen unter der Luftkapazität die nach der Sättigung mit Wasser und nach zweistündigem Vertropfen im Boden vorhandene Luftmenge.

Dieser Faktor ist hervorragend geeignet, die Böden zu klassifizieren. Insbesondere hat BURGER (1922) festgestellt, dass vom forstlichen Gesichtspunkt aus die grössere Luftkapazität stets eine bessere Bonität des Bodens zur Folge hat. Auch KOPECKY (1914) hat solche Feststellungen gemacht.

Zum Schlusse erhellt, dass die Angaben über den Wasser- und Luftgehalt des Bodens zweckmässig in Volumenprozenten gemacht

werden, woraus sich als Rest ohne weiteres das Volumen der festen Bodenbestandteile ergibt:

- I. Frischer Boden = Feste Bestandteile + Bodenwasser + Bodenluft.
- II. Gesättigter „ = Feste Bestandteile + Wasserkapaz. + Luftkap.

II. Die Technik der Bestimmung des Bodenwasser- und Luftfaktors.

Ähnlich wie RAMANN u. a. es getan haben, steche ich die Bodenproben mit Stahlzylindern und zwar von 250 ccm Inhalt.

Ich möchte hier der Meinung Ausdruck geben, dass eine Bodenuntersuchung, die in direkte Beziehung zur Vegetation gestellt werden will, unter allen Umständen nur am natürlichen Boden selbst, am gewachsenen Boden (RAMANN), stattfinden darf. Für den Biologen geht es keineswegs an, die natürliche Struktur des Bodens zu zerstören, um erst nachher die physikalischen Eigenschaften im Laboratorium zu untersuchen. ATTERBERG bemerkt mit Recht:

„Leider sind die physikalischen Eigenschaften der Böden bisher gar zu wenig erforscht, und gute Untersuchungsmethoden fehlen hier meistens. Die bisher meist angewendete mechanische Bodenanalyse ist eine Methode für petrographische Untersuchungen. Über die physikalischen Eigenschaften der Böden kann diese Analysenmethode keine zuverlässigen Aufschlüsse geben.“

Andererseits hat es aber keinen Sinn, die für die Probeentnahme verwendeten Stahlzylinder hinsichtlich ihrer Grösse normalisieren zu wollen. Für das Volumen einer Probe sollte die Art des Bodens einer Assoziation den Ausschlag geben. Wenn wir mit einem mittleren Zylinder von 250 ccm Inhalt arbeiten, so liegt der Grund darin, dass er auf wenig mächtige Böden gewisser Pflanzengesellschaften besser anwendbar ist, als ein grosser, z. B. 1000 ccm fassender Zylinder. Der Umstand, dass die 250 ccm haltenden Zylinder nur 7 cm hoch sind, ermöglicht die Untersuchung sehr vieler Bodenhorizonte. Beim Studium der Ökologie von Kleinassoziationen müssten jedenfalls noch niedrigere Gefässe verwendet werden.

A. Die Apparatur.

Es ist darauf Bedacht genommen worden, alle Arbeiten im Laboratorium auszuschalten, eine Apparatur zu erstellen, die handlich ist und als leichtes Werkzeug im Rucksack untergebracht werden kann. Sie enthält folgende Teile:

- 6 Stahlzylinder von je 250 ccm Inhalt, einseits geschärft, zum Ausstechen der Bodenproben.

- 12 Siebdeckel und 12 Leinenlappen zum Schliessen der Zylinder.
- 4 Deckel, wovon einer zum Schliessen des Siebdeckels beim Ausheben der Probe aus dem Glasgefäss dient. 3 Stück sind Reserve.
- 1 kleine, flache Schaufel zum Abstechen der Zylinderproben.
- 1 Glasgefäss zur Aufnahme der Zylinderprobe zwecks Auspumpens der in der Bodenprobe enthaltenen Luft.
- 1 Ventildeckel zum Glasgefäss. 1 Vakuumpumpe, einfaches Modell.
- 1 empfindliche Waage mit Gewichtsatz von 2×200 g bis 0,5 g.
- 6 hermetisch verschliessbare Büchsen zur Aufnahme von je ca. 50 g frischem Boden zwecks Bestimmung des Wassergehaltes.
- 4 eiserne Abdampfschalen, davon 3 zum Trocknen obiger Proben, 1 zum Trieren bestimmt.
- 1 Rost für 3 Abdampfschalen. 1 Spirituskocher.

Der Spirituskocher soll mit verstellbarem Brenner, mit oder ohne Sandbad verwendet werden. Mit Rücksicht auf die Anpassung von Rost und Abdampfschalen ist z. B. ein Touristenkocher mit konischem Gestell und konischen Gefässen von 1,5 l Inhalt gut geeignet.

B. Gang der Untersuchung.

a. Das Ausheben der Bodenprobe.

1. Unterwuchs und Laubstreue werden entfernt.
2. Der Stahlzylinder wird mit der scharfen Schneide nach unten in den Boden eingetrieben. Dabei ist Sorge zu tragen, dass die natürliche Struktur des Bodens gewahrt bleibt. Es dürfen nur einwandfrei gestochene Proben zur Untersuchung gelangen. Von jedem Standort sind mehrere Bodenuntersuchungen zu machen und ihre Mittelwerte zu bestimmen.
3. Die Probe wird mit Leinenlappen und Siebdeckel oben verschlossen.
4. Die Erde wird rings um den Zylinder entfernt und die flache Schaufel darunter durchgestossen.
5. Der volle Zylinder wird ausgehoben, die denselben überragende Erde abgeschnitten und die Probe mit Leinenlappen und Siebdeckel verschlossen.
6. Derselben Stelle wird eine Kleinprobe von ca. 50 g entnommen und in die hermetisch verschliessbare Büchse gebracht, zur möglichst baldigen Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit.
7. Weitere ca. 100 g werden in solidem Papiersack aufgehoben. Sie dienen der später auszuführenden mechanischen Bodenanalyse, der Bestimmung der Korngrössen.

*b. Arbeiten zur Ermittlung der festen Bodenbestandteile
sowie des Luft- und Wassergehalts.*

8. Die Bodenprobe wird gewogen, wobei zweckmässig ein leerer Zylinder zum Trieren verwendet wird. Gewicht G_f
9. Der Zylinder wird mit einem elastischen Band versehen, ins Wasserbad des Glasgefässes gebracht und dieses mit dem Ventildeckel verschlossen.
10. Die Pumpe wird am Ventil angeschraubt und sorgfältig in Betrieb gesetzt, damit die aus der Bodenprobe austretenden Luftbläschen nicht feste Bestandteile mitreissen. Die Pumpe wird so lange in Funktion gehalten, bis dem Boden keine Luftbläschen mehr entsteigen. (Sollte die Pumpe nach längerem Unterbruch im Gebrauch nicht mehr gut „schöpfen“, so ist der Kolben zu ölen. Das Ventil des Deckels ist regelmässig zu prüfen und stets peinlich rein zu halten.)
11. Die Probe wird dem Bad entnommen und gewogen.
Das Ausheben geschieht am besten in folgender Weise:
 - a. Das Wasser wird ausgegossen bis zum oberen Rand des Stahlzylinders.
 - b. Das elastische Band wird über den Siebdeckel abgestreift und über diesen der massive Deckel gestülpt. Mit der einen Hand an diesem Deckel, mit der andern am Glasgefäss wird das Ganze rasch umgekippt zum Entleeren des im Glasgefäss noch vorhandenen Wassers.
 - c. Die Probe wird sofort auf die Wage gebracht und nach Wegnahme des massiven Deckels gewogen. Das aus dem Zylinder allfällig in den Deckel herausgeflossene Wasser muss selbstverständlich mitgewogen werden. Gewicht G_n
12. Die Probe wird während zwei Stunden zum Abtropfen auf ein Sieb oder dergleichen gestellt. Eine allfällige Verdunstung kann durch Auflegen eines Deckels verhindert werden.
13. Die abgetropfte Probe wird gewogen. Gewicht G_v

c. Der Wassergehalt der Kleinprobe.

14. Von der unter 6. aufgeführten Kleinprobe werden 30 g gewogen und im Sandbad auf dem Rost des Kochers getrocknet.
15. Die getrocknete Kleinprobe wird gewogen. Die Differenz ergibt den Wassergehalt von 30 g frischem Boden. Daraus lässt sich der Wassergehalt der frischen Zylinderprobe berechnen.

d. Beispiel für die Berechnung der Wasser- und Luftfaktoren einer Bodenprobe.

Probe Nr.

1. Bestand. Art, Alter, Lage
2. Bestandesaufnahme. Siehe Artenliste¹⁾ Seite (in bes. Heft!) . .
3. Bodenbeschaffenheit
4. Tiefe der Probeentnahme

Die Berechnung.

Gewicht der Zylinderprobe	Differenz per 250 ccm	Volumen in %
Gew. d. frischen Probe G_f 369 g	} 96 ccm	96.0,4 = 38,4 % Luftgehalt.
" " nassen " G_n 465 "		
" " vertropft. " G_v 442 "		
	} 23 ccm	23.0,4 = 9,2 % Luftkapazit.

Die Kleinprobe.

Frischgew. 30,0 g }
 Trockengew. 24,5 g } Differenz = 5,5 g Wasser in 30 g Frischgewicht.

Daraus ergibt sich der Wassergehalt x der frischen Zylinderprobe:

$$30 : 369 = 5,5 : x$$

$$x = 67,6$$

In 250 ccm frischem Boden sind also 67,6 g oder 67,6 ccm Wasser, oder in Volumenprozenten $67,6 \cdot 0,4 = . . . 27\%$ Wassergehalt.

Der frische Boden enthält somit 38 % Luft, 27 % Wasser, 35 % feste Bestandteile (als Rest).

¹⁾ Anmerkung zur „Artenliste“. Der Pflanzensoziologe muss in seinen Listen unter allen Umständen die Mengenverhältnisse und die Soziabilität der einzelnen Arten aufnehmen. Ich verweise auf das grundlegende Werk von BRAUN-BLANQUET (1928), Pflanzensoziologie, und begnüge mich hier lediglich, auf seine bewährten Abundanz- und Dominanz-, sowie seine Soziabilitätszahlen zu verweisen.

a. Abundanz- und Deckungsgrad:

- + = spärlich oder sehr spärlich vorhanden, Deckungswert gering.
- 1 = reichlich, aber mit geringem Deckungswert.
- 2 = sehr zahlreich oder mindestens $\frac{1}{20}$ der Aufnahmefläche deckend.
- 3 = Individuenzahl beliebig, $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ " " "
- 4 = " " $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ " " "
- 5 = " " mehr als $\frac{3}{4}$ " " "

b. Gruppierungsweise, Soziabilität:

- 1 = einzeln wachsend. 2 = gruppen- oder horstweise wachsend.
- 3 = truppweise wachsend. (Kleine Flecken oder Polster.)
- 4 = in kleinen Kolonien wachsend oder ausgedehnte Flecken oder Teppiche
- 5 = in grossen Herden wachsend. [bildend.]

Der gesättigte Boden (d. h. die während 2 Stunden vertropfte Probe) enthält 35 % feste Bestandteile (wie oben), 9 % Luftkapazität und 56 % Wasserkapazität (als Rest).

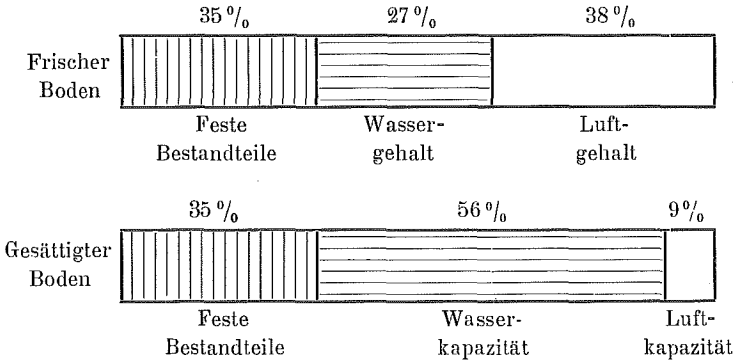


Abb. 1.

Als Schlussfolgerung

ergibt sich für die vorstehende Untersuchungsmethode, dass obige Art der Bodenuntersuchung eine Methode für die Arbeit im Feld ist. Sämtliche Verrichtungen können im Freien ausgeführt werden. Infolge der mittelgrossen Zylinder ist sie auf wenig mächtige Böden gewisser Pflanzenbestände sehr gut anwendbar, und sie gestattet die Untersuchung vieler Bodenhorizonte.

Der Hauptvorteil liegt in der Ausschaltung der 24-stündigen Sättigung der Probe im Wasserbad. Statt dessen wird die Luft in wenigen Minuten evakuiert, wodurch überdies eine genauere Ermittlung des Porenvolumens erfolgt als durch die 24 stündige Sättigung.

III. Anleitung für die mechanische Analyse.

(Die Bestimmung der Korngrössen durch Sieben und Schlämmen.)

Hinsichtlich der Korngrössen müssen wir uns an eine bewährte Klassifikation halten. Da die ATTERBERG'sche Methode internationale Bedeutung hat, nehme auch ich sie in der Hauptsache als Grundlage, wenn ich in folgende Fraktionen trenne:

- Grobkies über 20,0 mm ø
- Feinkies 20,0—2,0 mm ø
- Grobsand 2,0—0,2 mm ø
- Feinsand 0,2—0,02 mm ø
- Staub (Schluff) und Ton . . unter 0,02 mm ø

Eine erste Trennung der Korngrössen erfolgt in der Weise, dass der Kies mit 20 mm- und 2 mm-Sieb entfernt, der Staub und Ton

dagegen durch Schlämmen im ATTERBERG'schen oder KÜHN'schen Zylinder vom Sand getrennt wird. (Der KÜHN'sche Schlämmzylinder ist bei 8,5 cm \varnothing ungefähr 30 cm hoch. 5 cm über dem Boden besitzt er seitlich eine verschliessbare Öffnung, 20 cm über dieser ist eine Marke angebracht. Der ATTERBERG'sche Zylinder ist von ähnlicher Ausführung.)

Bei verhältnismässig grossem Anteil einer Fraktion kann diese selbstverständlich weiter unterteilt werden.

Das Verfahren (Sieben und Schlämmen).

a. Sieben.

1. Mit dem 20 mm-Sieb wird der Grobkies einer trocken gewogenen Bodenmenge bestimmt und dieser Anteil prozentual berechnet.
2. Mit dem 2 mm-Sieb wird der Feinkies ermittelt und dieser Anteil ebenfalls in % festgestellt.

b. Schlämmen.

3. 50 g des getrockneten Bodens oder ein entsprechender Anteil des durchgeseihten Bodens werden ungefähr eine Stunde mit ca. $\frac{1}{4}$ l Wasser gekocht. Dabei ist gelegentliches Umrühren notwendig.
4. Der Inhalt wird gut gekühlt, in den Schlämmzylinder übergossen, Wasser bis zur Marke, 20 cm über dem Ausfluss nachgefüllt und das Ganze aufgeführt.
5. Nach $9\frac{1}{3}$ Minuten Stehenlassen — eine Wassertemperatur von 20° vorausgesetzt — wird der Pfropfen ausgezogen, wodurch das Wasser mit den suspendierten Staub- und Tonteilchen abfließt. Darauf wird mit Wasser wieder nachgefüllt.
6. $9\frac{1}{3}$ Minuten stehen lassen, abfließen lassen, nachfüllen.
7. usw. bis das Wasser sich nicht mehr trübt.
8. Der Sand, der nun frei von Staub und Ton ist, wird in eine Schale gespült,
9. getrocknet und
10. gewogen. Die Gewichtsabnahme entspricht dem Gehalt an Staub + Ton, also dem Anteil mit weniger als 0,02 mm \varnothing .

c. Sieben.

Der übriggebliebene Sand besteht aus Grob- + Feinsand von der Grössenordnung 2—0,02 mm \varnothing . Die Trennung des trockenen Sandes geschieht

11. durch das 0,2 mm-Sieb. Dabei ergibt sich:
12. Gewicht des Rückstandes = Grobsand,
13. Gewicht des durchgeseihten Anteils = Feinsand.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Schema:

Grösser als 2 mm	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Grobkies . über 20,0 mm } \emptyset \\ \text{Feinkies . 20,0—2,0 mm } \emptyset \end{array} \right\}$	Trennung durch das 20 mm-Sieb.
Kleiner als 2 mm		
	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Grobsand 2,0—0,2 mm } \emptyset \\ \text{Feinsand . 0,2—0,02 " } \emptyset \end{array} \right\}$	Trennung durch das 2 mm-Sieb.
Schlämmen	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Staub u. Ton, unter 0,02 " } \emptyset \end{array} \right\}$	Trennung durch das 0,2 mm-Sieb.
		Trennung durch Schlämmen.

Die Schlammformel.

Die oben mitgeteilten Zylinderdimensionen und Fallzeiten sind besonders praktisch, wenn eine gleichzeitige Untersuchung mehrerer Bodenproben vermitteltst einiger Zylinder vorgenommen wird.

Die Berechnung der Fallzeit t der sich absetzenden Teilchen,

Fallzeit $t = \frac{\text{Fallhöhe}}{\text{Fallgeschwindigkeit}} = \frac{h}{v}$ geschieht mit der STOKES'-schen Formel $v = \frac{2}{9} \cdot \frac{(D_1 - D_2)g}{\eta} \cdot r^2$ ²⁾

In obigen Formeln bedeutet:

h	= Fallhöhe, Abstand der Wasserflächen vor und nach dem Ablassen.	
v	= Geschwindigkeit in cm/sec.	η = Viskosität der Flüssigkeit ³⁾
D_1	= Spez. Gew. d. Teilchen	für H_2O :
	(2,65—2,7)	$10^\circ = 0,0131$
D_2	= Spez. Gew. d. Flüssigkeit	$15^\circ = 0,01145$
r	= Radius der Teilchen in cm	$20^\circ = 0,0101$
g	= 981	$25^\circ = 0,00895$

Beispiel. Es soll bei 20 cm Fallhöhe die Fallzeit der Tonteilchen von 0,02 mm \emptyset berechnet werden, um die Teilchen unter 0,02 mm zu schlämmen.

Mit der STOKES'-schen Formel ergibt sich

bei 10°	Wassertemperatur	eine Fallzeit von 12	Minuten
" 15°	"	"	" $10^{1/2}$ "
" 20°	"	"	" $9^{1/3}$ "

Schlussbemerkung zur mechanischen Bodenanalyse.

Die vorstehende Methode der Schlämmanalyse hat ihrer Einfachheit, Genauigkeit und der geringen Kosten wegen grosse Vorzüge. Wo dagegen Apparate von KOPECKY, SCHÖNE oder WIEGNER und GESSNER

²⁾ Diese Formel gilt für Teilchen unter 0,1 mm \emptyset . Für grössere Teilchen müsste die Formel von OSEEN angewendet werden.

³⁾ Intern. Critical Tables, New York 1926, Bd. V, S. 10 ff.

bereits vorhanden sind, wird man zur Hauptsache diese benützen. Für die Bestimmung der feinsten Anteile wäre die Pipettemethode von ROBINSON oder KRAUS gegeben.

Zum Schlusse sei noch erwähnt, dass wir in der Anleitung humusarme Böden vorausgesetzt haben. Dabei wird die Hauptmenge des Humus mit dem Ton abgeschlämmt und mit ihm zusammen bestimmt. Bei humusreichen Böden ist es notwendig, den Humus für sich zu bestimmen.

Anhang.

Beispiele für die graphische Darstellung der physikalischen Bodenanalysen.

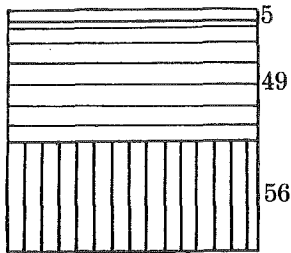
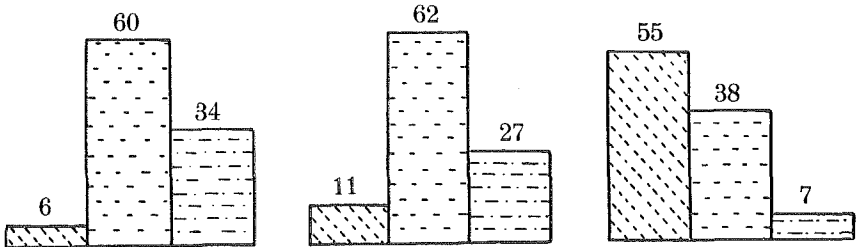


Abb. 2.

Alnetum der Drau in Kärnten. Mittellauf.

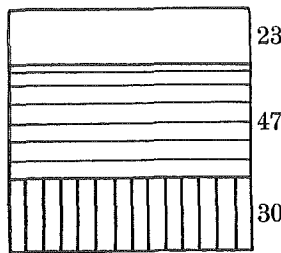


Abb. 3.

Lockerung des Bodens am Fusse von Erlenstämmen.

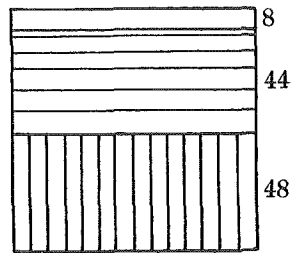


Abb. 4.

Alnetum der Drau in Kärnten. Oberlauf.

Korngrößen, Luft- und Wasserkapazitäten und feste Bestandteile einiger Auenwaldböden.

Im oberen Blockdiagramm kommt die Zusammensetzung des Bodens in Gewichtsprozenten nach Korngrößen mit den bei der internationalen Methode (ATTERBERG)⁴⁾ üblichen Signaturen zur Darstellung. Das untere Rechteck enthält von oben nach unten die graphische Darstellung der Volumenprocente von Luft, Wasser und festen Bestandteilen des gleichen Bodens. Der durch Abb. 2 charakterisierte Boden besteht somit aus 6% Grobsand (0,2—2 mm),

⁴⁾ Vergl. z. B. BRAUN, S. 175.

60% Feinsand (0,02—0,2 mm) und 34% Staub und Rohton (kleiner als 0,02 m). Seine Luftkapazität beträgt 5%. Der in Abb. 3 dargestellte ältere Auenwaldboden hat durch die Einwirkung von Mikroorganismen, aber auch durch Ameisen und Mäuse bei ungefähr gleicher Zusammensetzung nach Korngrößen eine auffallende Auflockerung erfahren, die zu einer Luftkapazität von 23% geführt hat. Dementsprechend hat sich die Vegetation geändert; die charakteristische Artenkombination des Auenwaldes wird durch das Auftreten eigentlicher Mischwaldarten abgelöst.⁵⁾

⁵⁾ AICHINGER u. SIEGRIST, S. 806.

Zitierte Literatur.

- AICHINGER, E. u. SIEGRIST, R. Das «*Alnetum incanae*» der Auenwälder an der Drau in Kärnten. Forstwissensch. Centralbl. Berlin 1930.
- ALBERT, R. Bodenuntersuchungen im Gebiet der Lüneburger Heide. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwesen. 1912.
- ALBERT, R. Bodenuntersuchungen in der Oberförsterei Ebsdorf und Münster. Eben-
dasselbst 1912, 1913.
- ATTERBERG, A. Über physikalische Bodenuntersuchung. Int. Mitt. für Bodenkunde 1911
- BRAUN-BLANQUET, J. Pflanzensoziologie. Berlin 1928.
- BURGER, H. Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. Mitt. d.
Schweiz. Centralanst. f. d. forstl. Versuchswesen. I. Mitt. 1922, II. Mitt. 1927.
- GESSNER, H. Die Schlämmanalyse. (Kolloidforschung in Einzeldarstellungen). Leipzig.
- HEINE, E. Die praktische Bodenuntersuchung. Berlin 1911.
- KOPECKY, J. Die physikalischen Eigenschaften des Bodens. 1914. Abdr. aus den
Intern. Mitt. für Bodenkunde.
- KRAUS, G. Boden und Klima auf kleinstem Raum. Jena 1914.
- LUNDEGARDH, H., Klima und Boden. Jena 1925.
- RAMANN, E. Bodenkunde. Berlin 1911.
- RAMANN, E. Untersuchungen über Waldböden. Forschungen auf dem Gebiet der
Agrikulturphysik. Band 11.
- WIEGNER, G. Agrikulturchemisches Praktikum. Berlin 1927.
- SIEGRIST, R. Über die Bedeutung und Methode der physikal. Bodenanalyse. Forst-
wissensch. Centralbl. Berlin 1929.
-