Zeitschrift: Bericht über das Geobotanische Forschungsinstitut Rübel in Zürich

Herausgeber: Geobotanisches Forschungsinstitut Zürich

Band: - (1934)

Artikel: Vergleichende Untersuchung zweier Methoden zur physikalischen Bodenanalyse

Autor: Lüdi, Werner / Luzzatto, Gina

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-377442

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG ZWEIER METHODEN ZUR PHYSIKALISCHEN BODENANALYSE

von *Werner Lüdi* und *Gina Luzzatto*

Die physikalische Untersuchung der Böden bietet gewisse Probleme, die nur im gewachsenen Boden, das heißt im Boden an seiner natürlichen Lagerstätte untersucht werden können. Das gilt namentlich für die Art der Lagerung der kleinen Bodenteilchen, von der der Porengehalt des Bodens und damit auch seine Fähigkeit Wasser festzuhalten, Wasser durchzulassen und Luft aufzunehmen und auszutauschen, weitgehend abhängig ist. Für den Pflanzenökologen ist die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Böden ein bisher vernachlässigtes, aber nicht unwichtiges Forschungsgebiet, wie die von Hans Burger und Rudolf Siegrist in Beständen verschiedener Art durchgeführten Untersuchungen gezeigt haben. Zur Untersuchung dieser Eigenschaften der Böden hat E. Ramann eine Methode ausgearbeitet, die von J. Kopecky und später von H. Burger [1]) verbessert worden ist. Da die Methode Burger eine schwere Apparatur benötigt und der Hauptteil der Untersuchung ins Laboratorium verlegt ist, wobei trotzdem gewöhnlich ein Feldaufenthalt von mindestens 24 Stunden nicht umgangen werden kann, hat R. Siegrist [2]) eine Methode erdacht, die eine leichte Ausrüstung und eine rasche Feldarbeit ermöglicht. Die Siegristsche Feldmethode ist in der Folge von den Ökologen verschiedentlich verwendet worden. Sie schlägt aber einen ganz andern Untersuchungsgang ein als die Burgersche Methode, und so stellt sich die Frage, inwieweit die mit den beiden Methoden erhaltenen Ergebnisse vergleichbar seien. Nach

---

[1]) Hans Burger: Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden. 1. Mitt., Mitt. Schweiz. Centralanstalt f. forstl. Versuchswesen **13** 1924 (3–231) 2. Mitt., ibid. **14** 1927 (201–250). 3. Mitt., ibid. **15** 1929 (51–104). (Hier auch weitere Literatur.)

[2]) Rudolf Siegrist: Über die Bedeutung und Methode der physikalischen Bodenanalyse. Eine Anleitung zur Durchführung der Untersuchung im Felde. Forstw. Centralbl. **51** 1929 (777–782). R. Siegrist: Zur Praxis der physikalischen Bodenanalyse. Vierteljschr. Naturf. Ges. Zürich **76** 1931 (103–115). R. Siegrist: Zur geobotanischen Bodenuntersuchung. Ber. Geobot. Inst. Rübel, Zürich **1931** 1932 (8–10).

Siegrist sind die Ergebnisse ungefähr übereinstimmend; doch sind Zahlenangaben unseres Wissens bisher nicht veröffentlicht worden.

Die nachstehenden Ausführungen beschäftigten sich mit einer kleinen Untersuchung solcher Art. Bevor wir auf die Ergebnisse eintreten, müssen wir die verglichenen Methoden kurz darlegen.

Burger und Siegrist gehen von der Grundvorstellung aus, daß sich ein bestimmtes Volumen des gewachsenen Bodens zusammensetze aus den festen Bodenteilchen, dem im Boden enthaltenen Wasser und der Bodenluft, was sich durch die Gleichung ausdrücken läßt:

Gesamtboden = feste Bodenteile + Bodenwasser + Bodenluft.

Bodenwasser und Bodenluft umfassen zusammen das Porenvolumen des Bodens, und ihre gegenseitigen Anteile sind, im Gegensatze zu den festen Bodenbestandteilen, in einem und demselben Boden starken Schwankungen unterworfen. Mit der Austrocknung des Bodens nimmt der Luftgehalt zu und bei Wasseraufnahme ab. Um eine Vergleichsgrundlage zu erhalten, wird infolgedessen der Wassergehalt bei der Wassersättigung des Bodens bestimmt, die eintritt, wenn man einen vollständig wassergefüllten Boden vertropfen läßt, so daß das Wasser aus den größeren Hohlräumen des Bodens austritt, das hygroskopisch oder kapillar im Boden festgehaltene Wasser aber erhalten bleibt. Der Wassergehalt des kapillar gesättigten Bodens wird Wasserkapazität benannt und der bei Wassersättigung im Boden vorhandene Luftgehalt Luftkapazität.

Zur Bestimmung dieser Größen entnimmt Burger mit einem Stahlzylinder, der 1 dm^2 Querschnitt und 1 dm Höhe besitzt, und der vorsichtig in den Boden eingetrieben wird, genau einen dm^3 des gewachsenen Bodens. Dieser Boden (noch im Zylinder steckend) wird zur Wassersättigung während 24 Stunden in ein Wasserbad gestellt und dann zwei Stunden lang abtropfen gelassen, wodurch sich die größeren Hohlräume des Bodens wieder von Wasser entleeren und mit Luft füllen. Dann wird der Boden aus dem Stahlzylinder herausgenommen und im Trockenschrank bei 105° getrocknet. Der Gewichtsunterschied des frischen und des trockenen Bodens ergibt den Wassergehalt, der Gewichtsunterschied zwischen dem kapillar gesättigten und dem trockenen Boden die Wasserkapazität. Zur Bestimmung des Luftgehaltes und der Luftkapazität muß das Volumen der Erde festgestellt werden. Dies geschieht mit dem Pykno-

meter, wobei die Feinerde und die Steine (und eventuell auch die Wurzeln) gesondert zur Untersuchung gelangen und die Luft aus dem getrockneten Boden durch halbstündiges Kochen im Wasser ausgetrieben wird. Aus dem Volumen der Erde ergibt sich durch Addition des Wassergehaltes (resp. der Wasserkapazität) und Subtraktion dieser Summe von dem Gesamtvolumen der Probe (1 dm^3) sowohl der Luftgehalt zur Zeit der Probeentnahme als auch die Luftkapazität. Ferner läßt sich aus dem Volumen der Erde und ihrem Trockengewichte das spezifische Gewicht bestimmen.

Auch Siegrist arbeitet mit Stahlzylindern, die in den Boden eingetrieben werden. Sie besitzen ein Volumen von $1/4$ dm^3. Die frische Zylinderprobe gelangt zur Wassersättigung in ein mit Wasser gefülltes, evakuierbares Gefäß, aus dem die Luft mittels einer Luftpumpe (Velopumpe) entfernt wird. Wenn keine Luftblasen mehr aufsteigen, wird die Zylinderprobe dem Gefäß entnommen und sogleich gewogen. Dann läßt man sie zwei Stunden vertropfen und wägt wiederum. Um die Beziehung auf Trockengewicht zu ermöglichen, wird neben der Zylinderprobe noch eine weitere Bodenprobe entnommen, an der durch völlige Austrocknung der Prozentgehalt des frischen Bodens an Wasser festgestellt wird. Durch Umrechnung auf das Gewicht der frischen Zylinderprobe wird der Volumengehalt des frischen Bodens an Wasser bestimmt. Ihr Gehalt an Luft ergibt sich aus dem Gewichtsunterschied zwischen der wassergefüllten und der frischen Zylinderprobe. Der Anteil der festen Bodenteile wird durch Addition von Wassergehalt und Luftgehalt und Subtraktion dieser Summe vom Volumen des Zylinders ermittelt. Die Luftkapazität ergibt sich aus dem Gewichtsunterschied von wassergefüllter und vertropfter Zylinderprobe, und die Wasserkapazität aus der Differenz von Zylindervolumen und der Summe von Erdevolumen und Luftkapazität.

Die Methode von Siegrist läßt sich nur in einem homogenen und steinearmen Boden ausführen; denn infolge der relativen Kleinheit der mit dem Zylinder entnommenen Bodenprobe müssen sich Ungleichheiten in der Bodenzusammensetzung stark auswirken. Bei reichlichem Stein- oder Wurzelgehalt des Bodens ist die Gefahr vorhanden, daß beim Einschlagen des Zylinders die natürliche Bodenstruktur beschädigt werde, oder daß bei ungleicher Verteilung der Feinerde und der Steine der Zufall bald einen höheren, bald einen ge-

ringeren Anteil dieser Komponenten in den Zylinder bringe. Insbesondere liegt eine Fehlerquelle solcher Art vor in der Berechnung des Wassergehaltes und des Erdevolumens mit Hilfe einer außerhalb der Zylinderprobe entnommenen Bodenprobe. Falls diese mehr oder weniger Steine enthält, als die Zylinderprobe, so ergibt sich daraus ein Fehler, der in der weiteren Berechnung einen wesentlichen Umfang annehmen kann. Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, daß es im Freien infolge der Luftbewegung meist nicht möglich ist, eine einigermaßen genaue Wägung vorzunehmen, wodurch auch die Prüfung der völligen Austrocknung des Bodens, der auf dem Sandbade getrocknet wird, eine Erschwerung erfährt. Schließlich ist auch eine Fehlerquelle gegeben durch die Art, in der die Gewichtsbestimmung der wassergetränkten Zylinderprobe ausgeführt wird. Es ist dabei nicht zu umgehen, daß das an der Zylinderwand, an und innerhalb der Deckel und an den zum Abdichten verwendeten Leinenläppchen haftende Wasser mitgewogen wird. Durch gutes Einfetten des Zylinders und der Deckel wird die Menge des anhaftenden Wassers verkleinert, und wenn immer auf genau gleiche Art vorgegangen wird, so bleibt dieser Fehler annähernd konstant, kann abgeschätzt und in Rechnung gestellt werden.

Diesen Nachteilen der Methode Siegrist, die der Methode Burger in kleinerem Maße oder gar nicht anhaften, steht aber der große Vorteil gegenüber, daß die Untersuchung viel rascher und zur Not auch im Felde durchzuführen ist und die ganze Ausrüstung ohne Schwierigkeiten in einem Rucksacke mitgetragen werden kann, während die Apparatur von Burger eine große Kiste beansprucht und mit gefüllten Zylindern auch für einen Träger eine gute Last bildet. Ferner können mit den kleinern Zylindern (7 cm hoch) auch feinere Schichtungen des Bodens berücksichtigt werden. Siegrist macht den Vorschlag, für solche Zwecke noch niedrigere Zylinder zu verwenden, was auch für die Untersuchung nach der Methode Burger berücksichtigt zu werden verdient. Die Fehlerquellen der Methode Siegrist wird man durch besonders sorgfältige Probenentnahme, durch Ausscheidung aller nicht ganz einwandfreien Proben und durch Untersuchung einer Mehrzahl von Proben des gleichen Standortes zu eliminieren suchen. Die Untersuchung sollte außerdem, so weit als möglich, in das Laboratorium oder doch in einen geschlossenen Raum verlegt werden.

Die vergleichende Untersuchung der beiden Methoden, die wir ausführten, bestand darin, daß wir an zwei Örtlichkeiten, in homogenem Boden, je fünf Zylinderproben nach der Methode Burger und der Methode Siegrist entnahmen und im Laboratorium sorgfältig nach den oben skizzierten Verfahren untersuchten. Der eine von uns kannte beide Verfahren bereits aus eigenen Untersuchungen, der andere nur die Methode Siegrist.

Wir entnahmen die Proben jeweils auf einer Fläche von 1 m^2, wobei die zehn Zylinder in regelmäßiger Abwechslung verteilt wurden. Die Schöllchenproben zur Ergänzung der Siegrist-Zylinderproben gelangten in unmittelbarer Nähe der entsprechenden kleinen Zylinder zur Aushebung. Die Burger-Zylinder wurden 2 cm unter die Bodenoberfläche versenkt, so daß sie den Boden aus 2 bis 12 cm Tiefe erfaßten; dementsprechend entnahmen ihn die Siegrist-Zylinder aus 3 bis 10 cm Tiefe.

Die ersten fünf Proben stammen aus dem Buchenwald auf dem Zürichberg in der Nähe der Escherhöhe (ca. 660 m ü. M.), aus ebener Lage. Der Boden war eine saure, lehmige, steinarme Braunerde (Grundmoräne) mit etwa 2 cm dicker Mulldecke, und war reich an Regenwürmern. Der Oberwuchs bestand aus *Fagus* mit beigemischten *Fraxinus* (stellenweise durch Kultur vorherrschend), *Pinus silvestris*, *Quercus robur;* der Unterwuchs war der des typischen Fagetum. Wir entnahmen die Proben unter reinem *Fagus*-Bestand in einer Kolonie von *Asperula odorata.* Störungen in der Homogenität des Bodens wurden an der Stelle der Probenentnahme nicht bemerkt.

Die zweite Probengruppe stammt aus dem Rasen des Institutgartens, der in flacher Lage, am Westhange des Zürichberges gelegen ist (466 m ü. M.). Dieser Rasen ist alte Fettwiese eines Obstgartens und wurde bis in die letzten Jahre gedüngt. Der Boden ist ebenfalls lehmiger Moränenschutt, humusarm aber alkalisch. Sein Gehalt an Steinen ist wesentlich größer als in der ersten Gruppe. Störungen in der Homogenität des Bodens wurden am Ort der Probenentnahme nicht bemerkt. Der Boden war an beiden Örtlichkeiten sehr feucht infolge starker Niederschläge in den vorhergehenden Tagen.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in der untenstehenden Tabelle zusammengestellt. Wir verzichten darauf, die Zahlenwerte für jeden einzelnen Zylinder zu bringen, sondern geben nur die Mittelwerte für die fünf Messungen einer Gruppe sowie den mittleren Fehler,

aus dem sich die Größe der Abweichungen erkennen läßt. Die pH-Werte sind ebenfalls die Mittelwerte aus fünf Beobachtungen.

Zusammenstellung der Ergebnisse der physikalischen Bodenuntersuchung nach den Methoden von Hans Burger (B.) und Rudolf Siegrist (S.) (S. 1 und S. 2 siehe Seite 8)

	pH	Erdevolumen %				Wassergehalt Vol. %	
		B.			S.	B.	S.
		Feinerde	Steine	Gesamt			
Zürichberg							
Mittelwert . . .	5,44	44,6	1,6	46,2	48,1	41,9	38,8
mittlerer Fehler.	±0,048	—	—	±0,38	±1,26	±0,67	±1,21
Institutgarten							
Mittelwert . . .	7,75	42,1	5,9	48,0	45,1	34,6	34,7
mittlerer Fehler.	±0,034	—	—	±0,68	±0,91	±0,29	±0,26

	Luftgehalt Vol. %		Wasser-kapazität %		Luftkapazität %		
	B.	S.	B.	S.	B.	S. 1	S. 2
Zürichberg							
Mittelwert . . .	11,9	13,1	47,8	49,7	6,0	—	2,2
mittlerer Fehler.	±0,69	±0,91	±0,83	±0,86	±0,83	—	±0,54
Institutgarten							
Mittelwert . . .	17,4	20,2	47,2	53,0	4,8	1,4	1,9
mittlerer Fehler.	±0,75	±0,87	±0,67	±1,05	±0,33	±0,12	±0,35

Der Vergleich zeigt, daß die mit den beiden Methoden erhaltenen Werte mit Ausnahme der Luftkapazität, auf die wir unten zurückkommen werden, eine befriedigende Übereinstimmung aufweisen. Der mittlere Fehler ist im allgemeinen bei der Methode Siegrist etwas größer; aber die Abweichungen überschneiden sich regelmäßig. Das Erdevolumen ist beim Zürichbergboden nach der Methode Siegrist etwas größer, der Wassergehalt etwas kleiner; beim Gartenboden verhalten sich die Werte für das Erdevolumen umgekehrt, und für

den Wassergehalt sind sie nach den beiden Methoden beinahe gleich groß. Luftgehalt des frischen Bodens und Wasserkapazität sind nach der Methode Siegrist in den Mittelwerten stets etwas größer, bewegen sich aber in der gleichen Größenordnung.

Nur in der Luftkapazität sind die Unterschiede so groß, daß die Vergleichbarkeit in Frage gestellt wird. Sie ist entsprechend der dichten Lagerung des lehmigen Bodens klein, erreicht aber nach der Methode Siegrist 2,5- bis 3mal kleinere Werte als nach der Methode Burger. Wenn wir den mittleren Fehler auf Prozente der Mittelwerte umrechnen, so erhalten wir nach den beiden Methoden hohe Beträge, die das Ergebnis als recht unsicher erkennen lassen. Die Schwankungen sind aber nach der Methode Siegrist bedeutend größer.

Die Luftkapazität wird nach der Methode Burger sekundär bestimmt durch die Ergänzung der Werte von Erdevolumen und Wasserkapazität zum Gesamtvolumen. Ihre Genauigkeit ist also abhängig von der Genauigkeit dieser Werte. Das Erdevolumen wird nach einer genauen Methode bestimmt; als Fehler bleibt nur die Möglichkeit, daß Luft, die in kleinsten Bläschen der Erde anhaftet, als Erde mitgemessen wird, wodurch der Wert für das Erdevolumen zu groß ausfallen muß. Burger sucht die Luft durch das halbstündige Kochen der Erde im Pyknometer auszutreiben. Vergleichende Versuche (Kochen der Erde im Pyknometer und parallel dazu bei Zwillingsproben Entfernen der Luft durch Evakuieren mit der Wasserluftpumpe) führen ihn zum Schlusse, daß der Fehler durch die nach dem Kochen noch anhaftende Luft nur unbedeutend sei. Wir können nach eigenen Vergleichsversuchen diese Ansicht nur bestätigen. Die Bodenproben wurden zuerst eine halbe Stunde gekocht, und dann das Volumen auf die gewöhnliche Weise bestimmt. Daraufhin wurde die Probe eine halbe Stunde unter der Wasserluftpumpe evakuiert und das Gewicht ein zweites Mal bestimmt. Die Gewichtszunahme betrug bei den vier Proben je 1,5 bis 2 g, also rund ein Fünftel-Volumenprozent, was ruhig vernachlässigt werden kann.

Bei der Bestimmung der Wasserkapazität liegt die Sache weniger einfach. Sie errechnet sich als Differenz des wassergesättigten Bodens und des bei 105° ausgetrockneten Bodens. Der letztere Wert kann genau bestimmt werden, die Wassersättigung aber nicht. Erstens stellt sich die Frage, ob während der 24stündigen Aufsättigung wirklich alle Luft aus dem Boden verdrängt werde und zweitens die

Frage, ob bei dem zweistündigen Vertropfen das Wasser aus allen größeren Hohlräumen ausfließe, so daß nur das kapillar festgehaltene Wasser zurückbleibt (neben dem adsorptiv festgehaltenen). Das Problem, ob die Wassersättigung innerhalb 24 Stunden vollständig werde, scheint von Burger nicht untersucht worden zu sein. Wir haben in dieser Richtung einige Versuche gemacht. Wenn wir in einem gefüllten Burger-Zylinder, nachdem er 24 Stunden unter Wasser gestanden hat, unter Wasser mit dem Finger die Erde sorgfältig zusammendrücken, so steigen reichlich große Luftblasen auf. Bei fortgesetztem Drücken nimmt die Zahl der Blasen rasch ab, und schließlich kann man nur noch kleine Bläschen herausdrücken. Um einen Anhaltspunkt zu bekommen über das Volumen, das diese Luftblasen im gefüllten Zylinder einnehmen, haben wir mit dem gefüllten Siegrist-Zylinder Versuche gemacht (für den Burger-Zylinder reichte leider die Größe der uns zur Verfügung stehenden Evakuierungsgefäße nicht aus). Der Zylinder wurde auf die gewöhnliche Weise mit Erde gefüllt, 24 Stunden ins Wasserbad gestellt und pyknometrisch gewogen. Dann wurde er eine Stunde lang durch die Wasserluftpumpe kräftig evakuiert und wiederum pyknometrisch gewogen. Die Gewichtszunahme betrug bei drei Proben: 13 g, 14 g, 14,5 g, was einem mittleren Werte von 5,5 Volumenprozenten entspricht. Soweit diese 5,5 Prozent Luft in größeren Hohlräumen stecken, die sich beim Vertropfen wieder mit Luft füllen würden, fallen sie als Fehler bei der Bestimmung der Wasserkapazität weg. Soweit es sich um Luft aus kapillaren Hohlräumen handelt, aus denen das Wasser, wenn es sie erst einmal ausgefüllt hat, beim Vertropfen nicht wieder ausfließt, bewirkt sie einen Fehler in der Größe der Wasserkapazität, und zwar wird diese zu klein ausfallen, um so viele Gramm, als die kapillar festgehaltene Luft cm^3 ausmacht. Dem Anscheine nach war der Hauptteil der eingeschlossenen Luft in größeren Hohlräumen, da er in großen Blasen bereits bei leichtem Drucke aufstieg, oft geradezu explosionsartig. Außerdem erfolgte das Aufsteigen vor allem dem Rande des Zylinders nach, was darauf hindeutet, daß hier durch Pressung und Verletzung der natürlichen Bodenstruktur Hohlräume von ihrer natürlichen Verbindung mit der Außenwelt abgeschlossen waren. Auf das Gesamtvolumen bezogen, müssen diese Verletzungen bei den Zylindern Siegrists größer sein als bei den viermal größeren Zylindern Burgers.

Durch unvollständiges Austropfen des Zylinders muß die Wassersättigung und dadurch die Wasserkapazität zu hoch erscheinen. Es unterliegt gar keinem Zweifel, daß nach zweistündigem Vertropfen nicht alles Wasser aus den Hohlräumen des Bodens ausgeflossen ist, ebenso wenig, wie nach 24 Stunden alle Luft verschwunden war. Die Schnelligkeit des Vertropfens hängt wesentlich von der Art des Bodens und von der Aufstellung des Zylinders ab. Wir haben den Zylinder schief auf ein Sieb gestellt, wodurch freies Ausfließen gewährleistet wurde, und haben außerdem in der Regel den Zylinder während der Vertropfenszeit mehrmals gedreht. In einigen Fällen untersuchten wir bei großen und kleinen Zylindern das Vertropfen während mehreren Stunden unter Ergreifen der nötigen Vorsichtsmaßregeln gegen die Verdunstung. Wir erhielten immer noch einige Gramm Abnahme über den Zweistundenwert hinaus, doch kaum je mehr als 1% Luftkapazität entsprach[1]).

Die eine Fehlerquelle der Bestimmung der Wasserkapazität wird also die Wasserkapazität verkleinern, die andere vergrößern. Auf die Luftkapazität ist der Einfluß umgekehrt. Man wird geneigt sein, die nicht völlige Aufsättigung im Wasserbade für bedeutender zu halten, wodurch die Luftkapazität zu groß erscheinen müßte. Ich glaube eher, daß sich die beiden Komponenten im allgemeinen annähernd aufheben werden. Da auch das Erdevolumen, wie wir gesehen haben, eher zu groß als zu klein ausfällt, so dürfte jedenfalls der Wert für die Luftkapazität nicht wesentlich zu groß, sondern annähernd richtig sein. Dafür spricht auch die Tatsache, daß Burger bei seinen Untersuchungen hin und wieder negative Luftkapazität erhielt, was nur dadurch möglich ist, daß die zu seiner Errechnung benutzten Werte zu groß sind (Erdevolumen + Wasserkapazität > 100). In Wirklichkeit ist dieser Zustand ja nicht möglich.

Durch die Methode Siegrist wird die Luftkapazität primär, als Gewichtsdifferenz des wassergefüllten und des vertropften Zylinders bestimmt. Nun ist gerade die Bestimmung des Gewichtes des wassergefüllten Zylinders, von der die Zuverlässigkeit aller Berechnungen

[1]) Viel größere Beträge erhielt beim Abtropfen G. Schreckenthal-Schimitschek (Beih. Bot. Centralblatt **52** 1935, Abt. B., S. 455). Da sie aber ihre Zylinder zum Abtropfen auf Fließpapier stellte und dieses so lange erneuerte, bis es trocken blieb, trat zugleich eine kapillare Saugwirkung ein, die gänzlich veränderte Bedingungen schuf, so daß sich ihre Ergebnisse nicht mit den beim normalen Vertropfen erhaltenen vergleichen lassen.

der Methode Siegrist mit Ausnahme des Wassergehaltes der frischen Probe abhängt, besonders schwierig und mehrfachen Fehlern ausgesetzt. Bereits wurde darauf hingewiesen, daß ein Fehler durch das Mitwägen des anhaftenden Wassers bedingt ist. Wir haben versucht, ihn zu verkleinern, indem wir den nassen Zylinder rasch etwas abtrockneten. Doch muß dies in dem Bruchteil einer Sekunde geschehen, da das abtropfende Wasser sogleich aus dem Zylinder auszulaufen beginnt. Infolge des am Zylinder haftenden Wassers erscheint die Luftkapazität etwas zu groß. Wir haben diesen Fehler auf etwa 3 bis 5 g geschätzt, was einer Luftkapazität von 1,2 bis 2 % entspricht. Er wurde in den Angaben der Luftkapazität nicht abgerechnet, sonst würde diese in den meisten Proben gleich Null oder sogar negativ geworden sein. Gegenüber dieser die Luftkapazität vergrößernden Fehlerquelle liegen zwei andere vor, die verkleinernd wirken und von denen wir glauben, daß beiden ein gewisser Anteil zukomme. Erstens das unvollständige Vertropfen. Was wir darüber bei der Methode Burger gesagt haben, gilt auch hier. Zweitens die unvollständige Aufsättigung mit Wasser. Es war auffallend, wie gering der Effekt der zum Evakuieren der Siegrist-Ausrüstung beigegebenen Luftpumpe sich trotz ausdauernder Bemühung auswirkte. Manchmal war er gleich Null. Beim Eintauchen des Zylinders in das Gefäß stiegen Blasen auf, und während des Evakuierens nur noch wenige, von denen man den Eindruck erhielt, daß sie nur mit Mühe zur Oberfläche gelangen konnten. Wir brachten daraufhin das Gefäß mit dem Zylinder unter die Wasserluftpumpe und konstatierten hier ein intensives und lange andauerndes Aufsteigen von Luftblasen. Die Wägung des gesättigten Zylinders wurde zweimal durchgeführt, zuerst nach der Evakuierung durch die Velopumpe und dann nach der Behandlung mit der Wasserluftpumpe. Als mittlere Gewichtszunahme unter der Wasserluftpumpe erhielten wir 6 g. Wahrscheinlich haben wir auch unter der Wasserluftpumpe nicht alle Luft entziehen können. Die Pumpe konnte nicht mit voller Kraft eingesetzt werden, weil sich sonst trotz des abschließenden Deckels samt Leinenlappen (die übrigens für den Austritt der Luft ein wesentliches Hindernis bedeuten) beträchtliche Mengen der Erde loslösten und in das Wasser übergingen. Kleinere Verluste von Erde sind nicht zu verhindern, wie auch nicht bei der Sättigung nach der Methode Burger; sie bleiben aber nach den angestellten Messungen in der Regel weit unter 1 Volumenprozent.

Für die zweite Serie der Böden (Institutsgarten) haben wir auch das Vertropfen zweimal vorgenommen. Wir ließen nach der Evakuierung mit der Velopumpe vertropfen, sättigten mit der Wasserluftpumpe wieder auf und ließen von neuem vertropfen. Es tropfte aber während des zweiten Vertropfens nur wenig Wasser mehr aus als nach der Aufsättigung mit der Velopumpe, in einzelnen Fällen sogar gleichviel oder weniger, was dadurch bedingt ist, daß bei der Aufsättigung mit der Wasserluftpumpe sich Bodenkapillaren mit Wasser füllten, die ihr Wasser beim Vertropfen nicht mehr abgaben, vielleicht aber zum Teil auch auf Veränderungen der inneren Bodenstruktur unter der Wasserluftpumpe hindeutet. In der Tabelle haben wir überall die aus dem Vollgewicht nach der Sättigung mit der Wasserluftpumpe ermittelten Werte angegeben, außerdem für die Böden aus dem Institutsgarten die beiden Werte für die Luftkapazität (S_1 = nach der Aufsättigung der Velopumpe, S_2 = nach der Aufsättigung mit der Wasserluftpumpe). Sie sind aus dem angegebenen Grunde nur wenig voneinander verschieden, während die Differenz im Sättigungsgewichte bei der Berechnung von Luftgehalt und Wasserkapazität voll in Erscheinung tritt.

Wahrscheinlich beruht der Unterschied in den Werten für die Luftkapazität, den die beiden Methoden uns gegeben haben, zum größern Teil auf einem zu geringen Werte der Methode Siegrist. Natürlich werden bei dieser Methode auch alle andern Werte, die wir zu bestimmen gesucht haben, mit Ausnahme des Wassergehaltes des frischen Bodens durch den Fehler in der Bestimmung des Vollgewichtes in Mitleidenschaft gezogen, da wir zu ihrer Berechnung auf das Vollgewicht des Zylinders abstellen müssen. Doch handelt es sich bei ihnen um so hohe Prozentzahlen, daß der von der ungenauen Bestimmung des Vollgewichtes, resp. von der Luftkapazität herrührende Fehler die Vergleichbarkeit nicht verhindert. Die Unsicherheit in bezug auf die Luftkapazität ist aber um so unangenehmer, als sie der ökologisch wichtigste der hier ermittelten Werte ist (wir sehen vom Wassergehalt ab, da dieser sich ja jederzeit leicht und genau bestimmen läßt). Es ist sehr wünschbar, daß die Frage der Genauigkeit der Bestimmung der Luftkapazität nach beiden Methoden durch Experimente in größerem Umfange und bei Verwendung verschiedener Bodentypen, eventuell auch künstlicher Bodenmischungen eingehend geprüft wird.

Wir haben bei unseren Untersuchungen mit Böden gearbeitet, die zwar sehr verbreitet und wichtig sind, aber für die physikalische Untersuchung besondere Schwierigkeiten bieten, infolge ihrer Dichte und Wasserundurchlässigkeit, welche sowohl die rasche Aufsättigung als auch das Vertropfen erschweren. Bei lockeren, leichter wasserdurchlässigen Böden wird sich der von uns gefundene Fehler kaum stark geltend machen. Siegrist gibt in seiner einleitend genannten Anleitung für die Auenwaldböden an der Drau Werte der Luftkapazität bis 23% an. In den von uns untersuchten Beispielen bleibt übrigens nach beiden Methoden die Zuordnung der Böden zu der Gruppe mit geringer Luftkapazität bestehen. Aber 2,2 und 6% (resp. 1,4 und 4,8%) machen immerhin in der Abschätzung der Bonität einen wesentlichen Unterschied aus.