

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 3 (1923)

Heft: 1-2

Artikel: Wald- und Freilandböden

Autor: Burger, Hans

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-5319>

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: 24.02.2026

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

Wald- und Freilandböden.

Von *Hans Burger*, Zürich.

I. Historische und fachliche Einführung.

Es sei zunächst gestattet, kurz und allgemein über den heutigen Stand der Bodenuntersuchungen zu orientieren, wobei selbstverständlich die Ausführungen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Die Bodenkunde als selbständige Wissenschaft ist sehr jungen Datums. Daß auch heute noch keine vollständige Abklärung erfolgt ist, mag man daran erkennen, daß man noch keine allgemein anerkannte Definition für den Begriff Boden geben kann. R a m a n n (23 a) *) bezeichnet als Boden „die obere Verwitterungsschicht der festen Erdrinde“, W a h n s c h a f f e (31) betrachtet den Boden als „die oberste zum Pflanzentragen geeignete Erdschicht“. Schon durch diese Definitionen des Bodens kommen gewissermaßen die beiden Hauptrichtungen der Bodenkunde zum Ausdruck, die sich bis heute erhalten haben.

Sowohl nach der Bodenkunde von R a m a n n (23 a), als nach der von M i t s c h e r l i c h (21) haben wir zu unterscheiden eine geologisch-mineralogische Richtung und eine agrikulturchemisch-pflanzenphysiologische Richtung der Bodenkunde. Die geologisch-mineralogische Bodenkunde untersucht den Boden und prüft seine Veränderungen meist als Selbstzweck; sie ist daher als reine Wissenschaft anzusehen. Dem Pflanzenphysiologen, Agrikulturchemiker, dem Hygieniker und Waldbauer aber erscheint die Kenntnis der Eigenschaften der obersten verwitterten Erdrinde nur insofern interessant, als sie den Träger der Vegetation darstellt, oder unter gewissen geologischen Verhältnissen als hauptsächlichster Quellbildner in Frage kommt.

*) Die Zahlen entsprechen den Nachweisen im Literaturverzeichnis.

Während die reine Bodenkunde, also der geologisch-mineralogische Zweig derselben, ziemlich konstant fortschritt und aufbaute, hat die angewandte Bodenkunde, besonders beeinflusst durch die Pflanzenphysiologie, seltsame Wandlungen durchmachen müssen. Der Anfang der angewandten Bodenkunde als Wissenschaft fällt mit dem Beginn des Aufschwunges der Pflanzenphysiologie zusammen und es darf nicht vergessen werden, daß auch die reine mineralogisch-geologische Richtung durch die Pflanzenphysiologie, die Pflanzengeographie und den Waldbau manche Anregung erfahren hat. Wohl haben schon die alten Kulturvölker den Zusammenhang zwischen Boden und Pflanze bis zu einem gewissen Grade erkannt und auch rein empirisch manche Bodenverbesserungen durchgeführt. Von irgendwelchem System war aber keine Rede, weil eben die wissenschaftlichen Grundlagen dazu vollständig fehlten. Die Entdeckungen von J. B. van Helmont (15), J. R. Glauber (13), J. Sennebier (28) und Th. de Saussure (24) haben hierin einen vollständigen Umschwung herbeigeführt. Die Erkenntnis, daß die Pflanzen den Kohlenstoff aus der Luft, die Aschenbestandteile aber aus dem Boden entnehmen, bildete die notwendige Grundlage, auf der erst die Agrikulturchemie durch J. B. Boussingault (3) und J. v. Liebig (19) begründet werden konnte.

Man hatte bei den pflanzenphysiologischen Versuchen erfahren, daß gewisse Pflanzen in günstig zusammengesetzten Nährlösungen ein ebenso gutes Gedeihen zeigten wie im Boden. Es war naheliegend, daß diese Erkenntnis weit über Ziel hinaus verallgemeinert wurde und man infolgedessen lange Zeit den physiologischen Vorgang bei der Nahrungsaufnahme der Pflanzen als einen fast rein chemischen Prozeß betrachtete. Manche Gelehrte vermögen sich auch heute noch nur schwer von dieser Anschauung zu befreien. Diese Betrachtungsweise des Zusammenhanges zwischen Boden und Pflanze müßte wohl auch das Ideal für den Mineralogen darstellen. Die Klassifikation der Böden in Güteklassen wäre die denkbar einfachste. Der Pflanzenphysiologe würde an Hand von Nährlösungsversuchen angeben, in welcher Zusammensetzung die mineralischen Bestandteile für jede Pflanze zum besten Gedeihen vorhanden sein müssen; der Mineraloge seinerseits würde den Mineralstoffgehalt der aus verschiedener Unterlage bei gegebenem Klima entstehenden

Böden bestimmen und die ganze Anleitung zum rationellen Pflanzenbau wäre fertig. Diese hier etwas drastisch dargestellte mineralogisch-chemische Richtung der angewandten Bodenkunde hat bei den Garten- und Ackerbauern naturgemäß am meisten Anhänger gefunden. Ich will gleich hier bemerken, daß wohl auch in Zukunft für den Ackerbau die chemisch-mineralogischen Verhältnisse am meisten der Erforschung bedürfen, weil der Entzug von Mineralstoffen durch die Ackerkultur ein großer ist und die physikalischen Verhältnisse jederzeit durch Bodenbearbeitung in den für die betreffende Kultur günstigen Zustand gebracht werden können.

Auch den Agrikulturchemikern kamen aber bald einige Zweifel an der einfach chemischen Art der Pflanzenernährung. Man sagte sich auf Grund von Kulturversuchen, daß es nicht genüge, eine gewisse Menge Nährstoffe im Boden zu haben; schließlich sei auch notwendig, daß die Mineralstoffe in einer für die Pflanze leicht aufnehmbaren Form vorhanden seien. Diese Überlegung fand ihren Ausdruck in der Untersuchungsmethode. Die Mineralogen als reine Wissenschaftler, die eben den Boden an sich kennen wollten, führten meistens sog. chemische Totalanalysen aus, ergänzt durch eine mineralogische Analyse; sie bestimmten also den totalen prozentualen Gehalt des Bodens an verschiedenen Mineralbestandteilen und machten Angaben über die Löslichkeit der vorhandenen Mineralien. Die Pflanzenphysiologen setzten dieser Untersuchungsmethode entgegen, daß die mühevollen Arbeit jedenfalls zum großen Teil vergeblich sei. Sie nahmen an, daß die Pflanze nicht im Stande sei, mehr aus dem Boden aufzunehmen, als sich in Salzsäure lösen lasse. Die Agrikulturchemiker haben sich daher bis in die neueste Zeit begnügt mit der Analyse eines Salzsäurebodenauszuges. Ganz befriedigt hat aber diese Teilanalyse niemand; man hatte immer das Gefühl einer gewissen Unsicherheit. Da man lange Zeit annahm, die Kohlensäure sei das zwar schwache, aber durch die Dauer doch intensiv wirkende Agens der Bodenauflösung, so hat besonders Mitscherlich (21) kunstvolle Einrichtungen erfunden, um Kohlensäurebodenauszüge analysieren zu können. Großen Anklang haben indessen die Bestrebungen Mitscherlich's nicht gefunden, besonders weil man neuestens überhaupt nicht mehr an die Zersetzung des Bodens durch die Kohlensäure glauben

will. Die ernsthaftesten Forscher, wie R a m a n n (23 d) u. a., stellen es als gewiß dar, daß wir die Bodenbildung hauptsächlich der Hydrolyse zu verdanken haben. Man findet heute wieder, besonders beeinflusst durch die nordeuropäischen Bodenkundler, daß zu einer richtigen chemischen Bodenuntersuchung eine Totalanalyse gehöre, die mineralogisch zu ergänzen sei.

Tatsache ist, daß man heute mit den mineralogisch-chemischen Bodenuntersuchungen, vom Standpunkt des Pflanzenbaues aus betrachtet, gewissermaßen auf einem toten Punkt angelangt ist. Die Totalanalyse, wie die sog. Nährstoffanalyse, liefern wohl wertvolle Daten zur Beurteilung der Bodeneigenschaften; sie sind ferner höchst wertvoll zur Beurteilung der Notwendigkeit einer mineralischen Düngung. Die chemische Analyse hat aber sogar versagt, als man versuchte, die Düngermenge nach ihren Ergebnissen zu dosieren. Hier ist zwar der praktische Kulturversuch etwas in die Lücke getreten; aber es gibt nach der Erklärung Mitscherlich's (21), in seiner neuen Auflage der „Bodenkunde“ vom Jahre 1920, bis jetzt keine chemisch-mineralogische Untersuchungsmethode, die gestatten würde, die Kulturböden nach den Analysenergebnissen zu bonitieren, also in Güteklassen einzuteilen.

Ein anderer Zweig der angewandten Bodenkunde befaßte sich mehr mit den physikalischen Eigenschaften des Bodens. Einer der ersten, der auf die Wichtigkeit der physikalischen Eigenschaften des Bodens hinwies, war der Engländer Tull (31) und später D a v y (7). Der eigentliche Begründer der physikalischen Bodenkunde, nach dessen Methoden heute noch vielfach gearbeitet wird, ist aber S c h ü b l e r (25). Ein besonders hervorragender Vertreter der Agrikulturphysik alter Schule ist W o l l n y (35) gewesen. Er hat alle Fragen der physikalischen Eigenschaften der Böden mit unglaublicher Arbeitskraft nach allen Richtungen erforscht und die Resultate meistens durch Kulturversuche zu festigen versucht.

Wie bei der mineralogisch-chemischen Analyse, glaubte man anfänglich auch die physikalischen Eigenschaften der Böden nur feststellen zu können an Proben, die sich nicht mehr in natürlicher Lagerung befanden. Einsichtige Forscher wandten dagegen ein, daß der Boden den Pflanzen in der Natur in einer bestimmten Lagerung zur Verfügung stehe

und daß es gar keinen Zweck habe, die physikalischen Eigenschaften an künstlich umgelagerten Böden zu bestimmen. Schumacher (27) war einer der ersten, der bestimmt die Forderung vertreten hat, die physikalischen Eigenschaften müßten an natürlich gelagerten, sog. gewachsenen Böden untersucht werden.

Während, wie wir gesehen haben, die chemisch-mineralogische Richtung ihre meisten Anhänger bei den Ackerbauern finden konnte, so fanden sich bei den Agrikulturphysikern bald alle zusammen, die mit dauernden Pflanzenformationen zu tun hatten. Die Pflanzengeographen und Forstleute mußten oft erfahren, daß an vielen Orten, besonders auffällig bei gebildetem Neuland, Pflanzengesellschaften sich nach und nach ablösten, ohne daß sich die Tatsachen durch chemische Veränderungen des Bodens erklären ließen. Diese sog. Sukzessionen spielen heute eine große Rolle bei den Geobotanikern und Pflanzengeographen. Eine vorzügliche, kurze, orientierende Arbeit aus der umfangreichen Literatur dieses Gebietes besteht von K. A. Meyer (20), dem Sekretär der eidgen. forstl. Versuchsanstalt.

Das Studium der Sukzessionen der Dauervegetationen zeigte aber auch sehr schön, wie eine Pflanzengesellschaft der anderen vorarbeitet, wodurch der Boden im Laufe der Jahrhunderte befähigt wird, immer höhere Pflanzen zu tragen. Es konnte anderseits auch verfolgt werden, wie hochwertiger Waldboden relativ rasch verödete, wie sich Rohhumus zu bilden begann, der Waldbestand langsam abstarb, sich nicht mehr verjüngte und den Boden minderwertigen Sträuchern und besonders den üppig wuchernden Moosen überließ, die den bisherigen Wald in Hochmoor überführten.

Es ergab sich aus diesen Beobachtungen zwanglos der Schluß, es müsse einer bestimmten Pflanzen- und Tiergesellschaft eine bestimmte Struktur des Bodens entsprechen. Es lag auch nahe, daß die Lagerungsverhältnisse eines solchen Bodens nur richtig bemessen werden konnten, wenn man den Boden vor der Untersuchung möglichst wenig störte. Es bedarf wohl keiner weiteren Erklärung, daß es wesentlich leichter ist, bezüglich der physikalischen Untersuchungen diesem natürlichen Verlangen nachzukommen, als bezüglich der chemischen Nährstoffanalyse.

Schon Schumacher (27) hat den einzuschlagenden Weg angedeutet, indem er vorschlug, unten scharf geschliffene

Zylinder zur Entnahme gewachsener Bodenproben zu verwenden. Heinrich (14), besonders aber R a m a n n (23 b) haben zuerst nach diesem System gearbeitet. R a m a n n hat als erster gewachsene Waldböden untersucht. K o p e c k y (18) hat dann die physikalische Untersuchung gewachsener Böden theoretisch präzisiert und besonders auf die Bedeutung der Luftkapazität und Durchlässigkeit hingewiesen. Viele Untersuchungen an gewachsenen Böden hat Albert (1) vorgenommen, die umso wertvoller sind, als meistens vergleichsweise chemische und physikalische Bodenanalysen ausgeführt worden sind. Mit der Erforschung gewachsener Böden haben sich auch beschäftigt v. S i g m o n d (29), F i s c h e r (12), B e r k m a n n (2), T s c h e r m a k (30), besonders aber E n g l e r (11 a) und der Verfasser dieser Arbeit (6) als Schüler und Assistent Englers. Die zahlreichsten bis jetzt veröffentlichten Untersuchungen gewachsener Böden sind von der eidgen. forstlichen Versuchsanstalt ausgeführt worden. Zuerst handelte es sich darum, Vergleichszahlen zu bekommen, um das verschiedene Verhalten des Wasserabflusses in Wald- und Freilandgebieten aufzuklären. Engler (11 a) kam dabei zu überraschenden Resultaten, die zu weiteren Untersuchungen anregten.

Es galt dann eine Untersuchungsmethode auszuprobieren, die zu allgemein vergleichbaren Zahlen führt. Die methodischen Untersuchungen waren die Hauptaufgabe meiner Arbeit „Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden“. Glücklicherweise haben sich nebenbei noch eine Reihe von allgemein interessanten Zahlen ergeben. Es ist hier nicht der Ort, auf alle methodischen Schwierigkeiten, die sich der Untersuchung gewachsener Böden entgegenstellten, einzugehen. Damit der Leser dieser Zeitschrift aber einen Begriff bekommt, wie die später zu besprechenden Resultate erhalten worden sind, gebe ich hier die Anleitung wieder, wie sie in den Mitteilungen der forstlichen Versuchsanstalt, Band XIII, 1. Heft, 1922, Seite 65—70, enthalten ist.

Die praktische Durchführung einer physikalischen Bodenuntersuchung.

Zuerst muß man sich überlegen, was man untersuchen will, und bis man die methodischen Schwierigkeiten etwas überwunden hat, tut man gut, nicht zu viel zu wollen. Zum Einarbeiten würde ich empfehlen, zunächst an etwa je fünf typischen Wiesenböden und guten Waldböden der obersten Bodenschicht 0—10 cm eine Vergleichsunter-

suchung anzustellen. Der Unterschied der Mittelwerte wird hier so deutlich, daß man zur Methode Vertrauen gewinnt und sich dann auch an feinere Arbeiten wagen kann. Ist die Aufgabe gestellt, so erfolgt die Auswahl der zu untersuchenden Standorte. Die ausgewählten Orte müssen typische Repräsentanten der Standorte oder Kulturarten sein, die man vergleichen will.

Die Bodenverhältnisse wechseln im Walde fast von Meter zu Meter. Es ist daher nicht statthaft, aus einer untersuchten Probe weitgehende Schlüsse zu ziehen. Nur 3—5 Untersuchungen können Mittelwerte liefern, auf die man vertrauen kann. Je mannigfaltiger die örtlichen Verhältnisse, umso größer muß auch die Anzahl der Proben sein.

Die Probeentnahme geschieht wie folgt. Die tote und lebende Bodendecke wird sorgfältig entfernt, worauf 1000 cm³ haltende Zylinder von 10 cm Höhe und 100 cm² Querschnitt vorsichtig in den Boden eingeschlagen werden, bis sie genau voll sind. Um Quetschungen an der Oberfläche zu vermeiden, empfiehlt es sich, einen 2—3 cm hohen Aufsatzring zu verwenden, der beim Einschlagen auf den Zylinder aufgesetzt wird. Kleine Unebenheiten an der Oberfläche der Proben müssen sachgemäß ausgeglichen werden. Dann wird die Probe mit dem oberen Deckel verschlossen, wobei darauf zu sehen ist, daß der Deckelboden genau auf dem Zylinderrand aufliegt, daß also zwischen Deckel und Probe kein Hohlraum entsteht. Der Zylinder wird ausgegraben, mit einem scharfen Messer die Erde unten genau dem Zylinderrand nach abgeschnitten und die Probe auch auf der Unterseite mit einem Deckel verschlossen. Jetzt erfolgt sofort die erstmalige Wägung, die zur Bestimmung des wirklichen Wassergehaltes dienen muß.

Die Sättigung erfolgt am besten in einem Trog, in den man etwa 2—5 cm über dem Boden einen Drahtgitterboden eingebaut hat. Beide Deckel werden vom Zylinder abgenommen und derselbe wird aufrecht auf den Drahtgitterboden gestellt. Der Trog wird vorsichtig mit Wasser gefüllt; sollte der Wasserspiegel sinken, so muß so viel Wasser nachgegossen werden, daß die Proben stets unter Wasser stehen. Nach 24 Stunden kann das Wasser abgelassen werden; die Proben läßt man eine Stunde vertropfen, schneidet dann mit scharfem Messer die durch die Sättigung oben und unten erfolgte Ausdehnung der Proben weg und verschließt dieselben mit beiden Deckeln. Es erfolgt dann die zweite Wägung, worauf die Proben beliebig transportiert werden können. Vor der Sättigung dagegen sollen sie vor jeder Erschütterung bewahrt werden.

Im Laboratorium werden die Proben am besten aus dem Zylinder genommen, etwas zerkleinert und in großen Porzellanschalen zum Trocknen aufgestellt.

Zieht man das Gewicht des leeren Zylinders plus beiden Deckeln vom Gewicht der erstmaligen Wägung bei der Entnahme ab, so erhält man das Frischgewicht von 1000 cm³ gewachsenen Bodens. Ebenso kann aus der Wägung nach der Sättigung das Gewicht von 1000 cm³ gesättigten Bodens berechnet werden. Beispiele eines Waldbodens von Zofingen:

Bruttogewicht des gefüllten Zylinders bei der Entnahme	2456 g
Taragewicht des Zylinders plus Deckeln	1351 g
Netto-Frischgewicht von 1000 cm ³ Boden	1105 g
Bruttogewicht des Zylinders mit gesättigtem Boden	2627 g
Taragewicht des Zylinders mit Deckeln	1351 g
Gewicht von 1000 cm ³ gesättigten Bodens	1276 g

Die Proben werden im Trockenofen bei 110°—120° Cel. bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, wodurch man das absolute Trockengewicht erhält. Mit Hilfe des absoluten Trockengewichtes, das zugleich dem Volumengewicht in Grammen entspricht, kann der Wassergehalt sowohl der frischen Proben bei der Entnahme als auch der gesättigten Proben berechnet werden. Beispiel:

Frischgewicht bei der Entnahme	1105 g
Absolutes Trockengewicht	772 g
Wassergehalt bei der Entnahme	333 g
Gewicht von 1000 cm ³ gesättigten Bodens	1276 g
Gewicht von 1000 cm ³ absolut trockenen Bodens	772 g
Wassergehalt bei der Sättigung	504 g

Aus dem Wassergehalt bei der Sättigung ergibt sich die Wasserkapazität in Volumenprozenten durch Multiplikation mit $\frac{100}{1000}$, also durch Division mit 10. Die Wasserkapazität in Gewichtsprozenten erhält man durch Division des Wassergehaltes bei der Sättigung durch das absolute Trockengewicht der Probe, multipliziert mit 100.

Beispiel:

Wassergehalt bei der Sättigung 504 g.

$$504 \times \frac{100}{1000} = 504 : 10 = 50,4\%$$

Wasserkapazität in Volumenprozenten = 50,4 ‰.

$$504 : 772 = 65,3 \%$$

Wasserkapazität in Gewichtsprozenten = 65,3 ‰.

Nun erfolgt die Sortierung der Proben nach Feinerde, Steinen und Wurzeln. Die ganze Probe jedes Bodens wird im Mörser zerrieben. Die Wurzeln werden möglichst vollständig herausgelesen, Steine und Feinerde werden durch ein 2 mm-Sieb getrennt. Bei raschem, aber äußerst vorsichtigem Arbeiten, kann eine Wasseraufnahme sowohl als ein Materialverlust vermieden werden, und die Summe der Gewichte der einzelnen Sortimente muß gleich sein dem totalen Trockengewichte.

Beispiel:

Feinerde	748 g = 96,9 ‰
Steine	21 g = 2,7 ‰
Wurzeln	3 g = 0,4 ‰
Total	772 g = 100,0 ‰

Das absolute Volumen der Wurzeln kann berechnet werden mit Hilfe des absoluten spez. Gewichtes der Holzsubstanz (nach Sachs und Hartig: 1,56). Feinerde und Steine müssen je mindestens eine halbe Stunde gekocht werden, um die Luft auszutreiben. Das Evakuieren ist nicht zweckmäßig. Nach Abkühlung der Proben auf Leitungswassertemperatur erfolgt die Bestimmung des absoluten Volumens im Pyknometer durch Wägung. Addiert man das absolute Volumen der drei Sortimente, so erhält man das absolute Volumen der festen Bodenbestandteile von 1000 cm³ gewachsenen Bodens.

Beispiel:

Gewicht des Pyknometers mit Wasser gefüllt	3460 g
Gewicht der absolut trockenen Feinerde	748 g
Total	4208 g
Gewicht des Pyknometers mit Feinerde und mit Wasser zugefüllt	3898 g
Volumen der 748 g Feinerde	310 cm ³

Das Volumen der Steine wird auf ganz gleiche Weise durch Wägung bestimmt.

21 g Steine ergeben 8 cm³ Volumen.

Volumen der Wurzeln ist gleich:

$$3 \text{ g} : 1,56 = 2 \text{ cm}^3.$$

Daraus ergibt sich:

Feinerde	310 cm ³ oder 96,9 %
Steine	8 cm ³ „ 2,5 %
Wurzeln	2 cm ³ „ 0,6 %

Absolutes Volumen der festen Bodenbestandteile	320 cm ³ „ 100,0 %
---------------------------------------------------	-------------------------------

Zieht man das absolute Volumen der festen Bodenbestandteile von 1000 cm³, also vom Volumen des gewachsenen Bodens ab, so erhält man direkt das Porenvolumen oder Hohlraumvolumen in cm³.

Volumen des gewachsenen Bodens	1000 cm ³
Absolutes Volumen der festen Bodenbestandteile	320 cm ³
Porenvolumen oder Hohlraumvolumen	680 cm ³ oder 68,0 %

Die das Porenvolumen bildenden Hohlräume des Bodens sind erfüllt mit Wasser und Luft. Der Luftgehalt des Bodens ergibt sich somit, indem man den Wassergehalt des Bodens vom Porenvolumen abzieht. Multipliziert man den Luftgehalt des wassergesättigten Bodens mit 100/1000, so ergibt sich die Luftkapazität in Volumenprozenten.

Beispiel:

Porenvolumen	680 cm ³
Wassergehalt bei der Sättigung	504 cm ³
Luftgehalt des gesättigten Bodens	176 cm ³
oder 17,6 % Luftkapazität.	

Der Luftgehalt kann aber auch in Umgehung des Porenvolumens aus den Originalzahlen berechnet werden, indem man die Summe des Wassergehaltes und das Volumen der festen Bodenbestandteile vom Volumen des gewachsenen Bodens (1000 cm^3) abzieht.

Beispiel:

Absolutes Volumen der festen Bodenbestandteile	320 cm^3
Wassergehalt des gesättigten Bodens	504 cm^3
Boden plus Wasser	824 cm^3
Volumen des gewachsenen Bodens	1000 cm^3
Absolutes Volumen des Bodens plus Wasser	824 cm^3
Luftgehalt	176 cm^3

oder 17,6 % Luftkapazität.

Das spez. Gewicht sowohl der einzelnen Sortimente als auch dasjenige der gesamten festen Bodenbestandteile läßt sich aus den entsprechenden absoluten Volumina und absoluten Trockengewichten leicht berechnen.

Nun ist noch die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser zu bestimmen. Die Ausführung der Sickerversuche ist höchst einfach. Am besten verwendet man dazu ein Stahlrohr von etwa 25 cm Höhe, an dem in einer Höhe von 10 cm an beiden Enden eines Durchmessers je ein Bügel als Marke befestigt ist. Man kann zu Sickerversuchen aber auch die gewöhnlichen 10 cm hohen Stahlzylinder verwenden, wenn man sich darauf ein Aufsatzrohr machen läßt, das wasserdicht schließt.

Bei Waldboden wird die Streudecke vorsichtig mit der Hand vor dem Einschlagen des Zylinders entfernt; bei Wiesenboden wird das Gras mit dem Messer kurzgeschnitten, weil sich sonst leicht Blätter und Grashalme zwischen Erde und Zylinderwand einklemmen und den Versuch stören. Der Zylinder wird 10 cm tief eingeschlagen, das Aufsatzrohr wird aufgesetzt und die Naht zwischen Zylinder und Aufsatzrohr wird abgedichtet. Ein direkt auf die Bodenprobe gelegtes Drahtnetz soll das Verschlämmen der Oberfläche des Bodens verhindern.

Dann wird eine so große, je nach Querschnitt des Rohres genau berechnete Wassermenge in das Aufsatzrohr eingegossen, daß der Anfangswasserstand über der Erdoberfläche theoretisch 10 cm betragen sollte. Praktisch beginnt aber sofort mit dem Aufgießen auch die Versickerung und der theoretische Anfangswasserstand von genau 10 cm läßt sich in Wirklichkeit nur erreichen, wenn der Boden absolut undurchlässig ist. Durch plötzliches Aufgießen der ganzen abgemessenen Wassermenge könnten zwar annähernd die Anfangswasserstände von 10 cm wirklich erreicht werden. Es ist aber doch zu empfehlen, das Wasser langsam und vorsichtig aufzugießen, weil sonst die Oberfläche der Probe trotz des feinen Schutzgitters leicht verschlämmt wird.

Mittels einer Stoppuhr wird die Zeit festgestellt, die verstreicht vom Beginne des Aufgießens bis zur vollständigen Einsickerung der 10 cm hohen Wassersäule. Ist die Zeit zur Anstellung der Sickerversuche etwas knapp, so kann z. B. bei sehr undurchlässigem Boden der Wasserstand im Sickerrohre nach 30 Minuten gemessen werden,

und es läßt sich dann die Zeit berechnen, die das Wasser wahrscheinlich gebraucht haben würde, um vollständig einzusickern. Die so berechnete Einsickerungszeit ist meistens gegenüber der wirklichen etwas zu kurz, weil die Durchlässigkeit mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt kleiner wird.

Die Einsickerungszeit kann entweder direkt benutzt werden zur Beurteilung der Durchlässigkeit oder es lassen sich mit ihrer Hilfe die Wassermengen berechnen, die in einer bestimmten Zeit, z. B. in einer Stunde, einsickern könnten. Diese Umrechnung ist besonders dann zu empfehlen, wenn es sich darum handelt, z. B. bei Gutachten, die Verhältnisse auch für Laien klar darzustellen, weil hier die größte eingesickerte Wassermenge dem besten durchlässigsten Waldboden entspricht, die geringste dem schlechtesten, undurchlässigsten Waldboden, während die Einsickerungszeit mit steigender Durchlässigkeit kleiner wird.

Das Bild über den heutigen Stand der Bodenuntersuchungen wäre unvollständig, wenn ich nicht noch ganz kurz auf die Kolloid- oder Dispersoidchemie hinweisen würde. Dieses Grenzgebiet zwischen Chemie und Physik hat bezüglich bodenkundlicher Anschauung in den letzten Jahren durch ganz neue Problemstellung gewaltige Fortschritte gemacht. Während die älteren Kolloidchemiker, als deren Vertreter z. B. E h r e n b e r g (10) gelten mag, sich hauptsächlich mit den feinen Bodenteilchen, die als disperse Phase im Bodenwasser vorkommen, befaßten und sich genötigt sahen, diesen kleinen Bodenteilen eine große Wirkung beizumessen, so umfassen die heutigen Fragestellungen, wie sie von W i e g n e r (33 a) u. a. ausgearbeitet worden sind, den Boden als Ganzes.

Man betrachtet den Boden als eine feste Dispersion. Leider ist man über die Eigenschaften der festen Dispersionen noch unvollständig aufgeklärt; man arbeitet aber fieberhaft an praktisch brauchbaren Arbeitsmethoden. Die Kolloidchemie gestattet, viele Probleme, wie z. B. die Frostwirkung und die Düngerwirkung auf den Boden, glänzend einfach zu erklären. Sie ist aber leider noch nicht in der Lage, die Güte eines Bodens durch Untersuchung der kolloiden Zustände zu bestimmen.

D ü g g e l i (8) hat versucht, das verschiedene Verhalten der Bakterien in Wald- und Freilandböden aufzuklären. Da es sich hier aber um äußerst mühevollen Untersuchungen handelt, so konnte ein abschließendes Resultat noch nicht gewonnen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß man heute bezüglich der Bodenuntersuchungsmethoden noch nicht im klaren ist. In chemischer Beziehung scheint man heute einer Totalanalyse den Vorzug zu geben, die ergänzt wird durch mineralogisch-petrographische Untersuchungen. Die physikalischen Bodenuntersuchungen sind jetzt auf einem Weg, auf dem voraussichtlich eine Sackgasse nicht leicht zu erwarten ist. Eine gewisse Abklärung ist durch die allerdings noch bescheidenen Anfänge bereits erfolgt. Verschiedene Probleme, die früher jeder Untersuchung unfassbar waren, lassen sich mit den neuen Methoden zahlenmäßig darstellen.

Es bleibt aber immerhin in jeder Richtung noch genug zu tun und man darf sich freuen, daß die Kolloidchemiker und Bakteriologen nun so eifrig zu Hilfe eilen.

II. Entzug von Mineralstoffen aus dem Boden durch Wald- oder Freilandkultur.

Man unterscheidet waldbaulich die Begriffe **A n s p r u c h**, **B e d a r f** und **E n t z u g**.

Unter **A n s p r u c h** verstehen wir die Fähigkeit einer Pflanze, dem Boden ihren Bedarf an Nährstoffen schwerer oder leichter entziehen zu können.

Der **B e d a r f** stellt die Menge von Mineralstoffen dar, welche die Pflanze alljährlich zur Erzeugung der Stamm- und Blattsubstanz, also zur normalen Entwicklung braucht.

Unter **E n t z u g** ist die Mineralstoffmenge zu verstehen, die dem Boden durch eine bestimmte Kultur dauernd entzogen wird.

1. Der Anspruch.

Eine Pflanze ist anspruchslos, wenn es ihr zufolge ihrer Wurzelbildung leicht gelingt, auch im relativ mageren Boden die für ihr Gedeihen notwendigen Nährstoffe aufzunehmen. Umgekehrt ist eine Pflanze anspruchsvoll, wenn sie auch in mittelgutem Boden Mühe hat, ihren Bedarf zu decken. Der Anspruch einer Pflanze ist, wie bereits angedeutet, bedingt durch die Ausbildung ihrer Wurzeln. Besitzt eine Pflanze viele, namentlich fein verzweigte Faserwurzeln, so vermag sie leicht ihren Bedarf zu decken. Nach den Untersuchungen von **N o b b e** (22) beträgt die totale Summe der Wurzellänge der einjährigen Pflanzen:

Bei Tanne 1 m, bei Fichte 2 m, bei Föhre 12 m.

Es ist deshalb leicht zu verstehen, daß die Tanne eine anspruchsvolle, die Föhre aber eine anspruchslose Holzart sein muß. Es ist aber ein Irrtum, zu glauben, die Föhre hätte sich ausdrücklich die mageren, trockenen Böden ausgesucht, auf denen sie heute vorwiegend stockt, weil sie diese nährstoffarmen Böden besonders liebe. Die Föhre gedeiht auch vorzüglich in mineralstoffreichen Böden; aber sie wurde hier verdrängt, weil auch die anspruchsvollen Arten üppig gediehen, sich zufolge ihres größeren Schattenertragnisses schon bei dichterem Stand des Altholzes natürlich verjüngen konnten, durch den Jungwuchs den Boden vollständig bedeckten und so der Föhre für die Zukunft den Raum entzogen. Auf armen Böden aber herrscht die Föhre, weil sie hier befähigt ist, zufolge ihres vorzüglich ausgebauten Wurzelsystems jeder anderen Holzart im Kampf ums Dasein Stand zu halten und sie zu verdrängen.

Solche Auseinandersetzungen vollziehen sich aber ohne menschliche Eingriffe nicht so rasch, wie das z. B. Brockmann und Jerosch (4) darzustellen beliebten. Die neuere Wissenschaft ist bei solchen Fragen oft ein bißchen ungeduldig.

Es versteht sich wohl von selbst, daß bezüglich des Anspruches dieselben Gesetze gelten für land- und forstwirtschaftliche Gewächse. Auch muß ich hier ausdrücklich erwähnen, daß sich der Anspruch nicht nur äußern kann gegenüber den Nährstoffen, sondern auch bezüglich der physikalischen Eigenschaften des Bodens. Sowohl die forstlichen Holzgewächse als auch die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen stellen ganz verschiedene Ansprüche z. B. an Feuchtigkeitsgehalt, Lockerheit und Durchlüftbarkeit des Bodens. Von den landwirtschaftlichen Gewächsen stellt z. B. die Kartoffel hohe Ansprüche an Lockerheit und Durchlüftbarkeit des Bodens. Unter den Holzarten ist die Fichte z. B. anspruchsvoll bezüglich Durchlüftbarkeit und Durchlässigkeit des Bodens, während Weiden, Erlen, Pappeln und auch Esche stehende Nässe leichter ertragen können.

Klimaeinflüsse können hier nicht zur Sprache kommen, da es sich im Wesentlichen darum handeln soll, Wald- und Freilandböden unter gleichen klimatischen Bedingungen zu betrachten.

2. Der Bedarf der verschiedenen Pflanzen an Mineralstoffen.

Man vergleiche hiezu besonders Bühler's Waldbau (5).

Die Untersuchungen verschiedener Forscher, wie Ebermayer (9), Ramann (23 e), Henry (16) u. a. über den Bedarf der Waldbäume an Mineralstoffen haben nicht zu ganz übereinstimmenden Resultaten geführt. Da die Analysen aber an verschiedenen Orten mit anderen Böden, anderem Klima und teilweise auch nach verschiedenen Methoden ausgeführt worden sind, so ist eine genaue Übereinstimmung der Ergebnisse gar nicht zu erwarten.

Ebermayer (9), der eine große Zahl von Aschenanalysen durchgeführt hat, sagt folgendes: „Ist durch Analysen der Mineralstoffgehalt des Holzes, der Blätter, Stengel, Wurzeln, Rinde, Zweige, Samen etc. bekannt und kennen wir die jährliche durchschnittliche Produktion des Waldes an Holz, Rinde, Blättern oder den mittleren Ernteertrag eines Ackerfeldes pro ha, so läßt sich leicht berechnen, wie viel Mineralstoffe in den Bodenprodukten enthalten sind und wie groß der mittlere Bedarf des Waldes und der Feldfrüchte an Mineralstoffen pro Jahr und ha ist. Auf diese Weise lassen sich die Ansprüche der Waldbäume und der Kulturgewächse an das mineralische Nährstoffkapital des Bodens annähernd feststellen.“

Ebermayer (9) gibt uns für den Bedarf der Holzarten bei gegebener Umtriebszeit und mittlerer Produktion die in Tabelle I enthaltenen Nährstoffmengen an:

TABELLE I.

Jährlicher Nährstoffbedarf pro Hektare der verschiedenen Holzarten, bei mittlerer Produktion nach Ebermayer.

Holzart	Umtrieb Jahre	Gesamte Mineral- stoffe kg	K ₂ O kg	CaO kg	MgO kg	P ₂ O ₅ kg	SO ₃ kg	SiO ₂ kg
Rotbuche . . .	120	30,37	5,90	14,47	3,58	2,59	0,27	2,89
Traubeneiche .	20	56,70	9,40	31,90	5,90	6,30	1,20	0,80
« . . .	50	27,28	3,05	20,81	0,96	1,08	0,22	0,37
Tanne	120	19,25	7,45	4,60	2,67	1,85	1,05	1,00
Fichte	120	23,15	4,07	9,69	2,00	1,54	0,70	5,04?
Föhre	100	14,81	2,35	8,86	1,57	1,09	0,24	0,54
Birke	50	12,86	2,46	4,03	1,79	1,39	0,12	0,90

Man vergleiche dazu auch die Zahlen von Ramann (23 e, S. 325—334.)

Man erkennt daraus, daß der jährliche Bedarf an Mineralstoffen schwankt, je nach Holzart und Umtriebszeit, zwischen 13 kg und 57 kg pro ha. Nehmen wir das spez. Gewicht der Mineralstoffe zu rund 2,5 an, so ergeben sich rund 5 bis 22 Liter Bedarf. Eine Hektare enthält 1 000 000 dm²; einem Millimeter Abtrag würden daher 10 000 Liter entsprechen. Der jährliche Bedarf von 5—22 Litern ergäbe also ungefähr eine Schicht von 0,0005 mm bis 0,002 mm, gleichmäßig über die ganze Fläche verteilt. In 100 Jahren würde somit durch den Bedarf der Forstgewächse an Mineralstoffen eine Erdschicht von maximal 0,2 mm abgetragen. Praktische Bedeutung kommt dieser Berechnung nicht zu, da es sich nicht um einen wahllosen Abtrag handelt; sie soll uns nur die Größe des Bedarfs besser veranschaulichen.

Die Verwendung von Mineralstoffen für den Aufbau des Holzes ist relativ gering; viel bedeutender ist der Bedarf für die Blattbildung. R a m a n n (23 e) hat festgestellt, daß z. B. von der jährlich aufzubringenden Menge Mineralstoffe für die Esche nur $\frac{1}{50}$ für die Stammbildung, $\frac{49}{50}$ dagegen für die Blattproduktion verwendet werden; vom Kali fallen 96 %, von der Phosphorsäure ebenfalls 96 % auf die Blattbildung.

E b e r m a y e r (9) hat auch den Bedarf junger Pflanzen mit dem älterer Bäume verglichen und kommt zu folgenden Resultaten:

1. Der jährliche Kali- und Phosphorsäurebedarf der jungen Waldpflanzen ist viel bedeutender als der der älteren Waldbäume. Buchen und Fichten beanspruchen pro ha mehr Mineralstoffe als Föhren.

2. Der Kalkbedarf junger Waldpflanzen ist geringer als jener älterer Bäume.

3. Die Mineralstoffmengen, welche die älteren Bäume zur jährlichen Holzproduktion bedürfen, sind verschwindend klein gegenüber den Ansprüchen, welche die jungen Waldpflanzen an das Nährstoffkapital des Bodens stellen.

Bezüglich der Holzarten ist zu erwähnen, daß der Mineralstoffbedarf der Laubhölzer allgemein größer ist als jener der Nadelhölzer.

Eine wertvolle Detailstudie über diese Fragen hat uns E n g l e r (11 b) geliefert mit seiner Arbeit über „Verbreitung, Standortsansprüche und Geschichte der *Castanea vesca* Gärtner“. Von E n g l e r sind auch großzügige Versuche im Gang über das Gedeihen der Holzarten auf verschiedenen Boden-

arten und über den Aschengehalt der auf verschiedenen Bodenarten erwachsenen Forstpflanzen.*

Um endlich zu dem Vergleich zwischen den Ansprüchen an Wald- und Freilandböden zu kommen, sei mir gestattet, einen Auszug von Wolff's (34) Aschenanalysen einzufügen, Tabelle II. Die Übersicht über die Aschenanalysen von land- und forstwirtschaftlichen Produkten gibt sofort einen Einblick in die Ansprüche, die die verschiedenen Gewächse und Kulturen wahrscheinlich an den Mineralstoffgehalt des Bodens stellen. Besonders die Mengen von Kali und Phosphorsäure sind für die forstlichen Erzeugnisse verschwindend klein gegenüber den landwirtschaftlichen Produkten. Nur Blätter, Rinde, junge Pflanzen und feines Reisholz weisen einen bemerkenswerten Aschengehalt auf, der aber selten an den der landwirtschaftlichen Gewächse heranreicht.

Sehen wir nun aber zu, wie es sich mit dem Entzug von Mineralstoffen aus wald- und landwirtschaftlichen Böden verhält.

3. Der Entzug von Mineralstoffen aus Wald- und Freilandböden.

a) Der Entzug durch Waldbau.

Wir haben gesehen, daß der Bedarf an Mineralstoffen zur Erzeugung forstlicher Produkte gering ist. Der Entzug ist aber noch wesentlich abhängig von der Benützungsart der Wälder. Verhältnismäßig groß ist der Entzug bei ständigen Forstgärten, wo fortwährend junge Pflanzen mit hohem Aschengehalt erzogen und zu anderweitigen Kulturen entnommen werden. Der Forstgartenbetrieb hat vom ganzen forstlichen Gewerbe am meisten Ähnlichkeit mit der Landwirtschaft.

Ziemlich groß ist der Entzug auch beim Niederwaldbetrieb, weil hier hauptsächlich schwaches, aschenhaltiges Holz produziert wird. Zudem werden die sich in der Laubstreu ansammelnden Mineralmengen bei den öfters wiederkehrenden Kahlschlägen rasch zersetzt und vom Regenwasser größtenteils fortgeführt.

Weit geringer aber ist der Entzug im gut gepflegten Hochwalde. Das hauptsächlichste Produkt, das der Hochwald erzieht, ist aschenarmes Stammholz. Laub- und Nadel-

TABELLE II.

Mittlere Menge der Asche und Aschenbestandteile in 1000 Gewichtsteilen der Trockensubstanz, nach Wolff.

Gegenstand der Untersuchung	Rein- asche	Kali	Kalk	Mag- nesia	Phosphor- säure
<i>I. Landwirtschaftliche Gewächse.</i>					
Wiesenheu	69,80	18,64	11,13	4,81	4,96
Winterweizen im Schossen	97,50	33,81	4,83	1,41	7,22
Hafer im Schossen	81,20	33,54	5,32	2,48	6,89
Rotklee in der Blüte	68,60	22,15	23,95	7,48	6,61
Luzerne im Beginn der Blüte	73,80	17,38	30,02	3,63	6,27
Kartoffelkraut	85,80	18,69	20,01	14,17	6,77
Kartoffelknollen	37,90	22,76	1,00	1,87	6,39
Futterrunkelkraut	153,40	47,09	16,34	14,62	9,97
Futterrunkelrübe	75,80	39,58	2,83	8,26	6,47
<i>II. Forstliche Produkte.</i>					
<i>Buche:</i>					
1—4jährige Pflanzen	27,30	4,94	11,00	2,23	4,43
10—20jähriges Stammholz	7,89	1,54	3,66	0,57	0,67
50—90 „ Scheitholz	4,30	1,23	1,62	0,48	0,29
50—90 „ Reisholz	14,45	2,74	5,76	1,24	1,88
200 „ Scheitholz	3,76	1,00	1,56	0,74	0,22
Buchenblätter im November	70,50	5,42	28,66	2,86	4,02
<i>Eiche:</i>					
Abgestorbene Blätter	49,00	1,64	23,83	1,94	3,96
20jähriges Stammholz ohne Rinde	4,12	1,44	1,01	0,48	0,65
50 „ „ „	3,50	1,16	1,05	0,24	0,40
345 „ „ „	2,36	1,08	0,57	0,07	0,08
20jährige Rinde	37,70	3,13	30,76	1,68	1,04
20jähriges Reisholz	17,60	3,03	9,28	2,06	2,22
<i>Fichte:</i>					
Saatschulpflanzen	27,30	5,68	8,68	1,57	4,56
Fichtennadeln am Baum	25,50	7,55	5,22	2,12	3,76
Fichtenreisig mit Nadeln	21,55	2,81	4,21	1,32	1,88
100jähriges Knüppelholz mit Rinde	5,48	1,12	1,96	0,50	0,31
100 „ Scheitholz „ „	3,14	0,44	1,25	0,23	0,11
100 „ Stammholz ohne „	2,14	0,42	0,73	0,24	0,05
<i>Tanne:</i>					
Nadelstreu	37,80	3,14	22,42	2,91	3,13
90jähriger Reisig mit Nadeln	23,03	4,09	2,55	1,79	2,25
90jähriges Scheitholz	4,52	1,46	0,57	0,38	0,27
90 „ Stammholz	2,44	0,97	0,27	0,23	0,15
<i>Föhre:</i>					
1jährige Pflanzen	26,20	5,14	8,41	1,71	5,11
100jähriges Reisholz	12,02	2,49	4,70	1,30	1,39
100 „ Scheitholz	3,03	0,43	1,63	0,32	0,18
<i>Lärche:</i>					
Stamm ohne Rinde	1,73	0,41	0,78	0,23	0,13

abfall bleiben dem Waldboden als natürlicher Dünger erhalten, da in den öffentlichen Waldungen und allen Schutzwaldungen der Schweiz die Laub- und Nadelstreugewinnung verboten ist. Die tiefgreifenden Wurzeln der Hochwaldbäume entziehen den Bedarf an Mineralstoffen einer beträchtlichen Bodenschicht, oft sogar zum Teil dem Gestein des Untergrundes. Die Mineralstoffe werden hauptsächlich verwendet zur Blattproduktion und die Blätter fallen wieder auf den Boden, zersetzen sich und liefern neue Nährstoffe meist in gut aufnehmbarer Form in den Boden zurück. Es bildet eine besondere Sorge des Forstwirtes, die Zersetzung der Laub- und Nadelstreu zu überwachen; sie durch bessere Lichtstellung der Bestände zu befördern oder auf hitzigem Boden durch dauernde Beschattung zu verlangsamen. Auch das feine Reisig bleibt dem Walde meistens erhalten, da es nicht überall nutzbringend verwendet werden kann. Es bleibt im Walde liegen, gibt dem Boden die Mineralstoffe zurück und sorgt auch für genügende Lockerheit der Bodenoberfläche. Im sog. Dauerwald, der heute die Gemüter in Deutschland stark bewegt, gehört es geradezu zum guten Ton, den Boden systematisch mit feinem Reisig zu düngen.

Im modern bewirtschafteten Walde werden also nur Produkte dauernd entzogen, die geringen Aschengehalt aufweisen. Der Entzug von Mineralstoffen durch den Waldbau ist daher denkbar gering. Es ist aber besonders noch darauf hinzuweisen, daß die Waldbäume die Nährstoffe einer ziemlich mächtigen Schicht des Bodens entziehen. Auch bei minder günstigen Verhältnissen geht die Hauptwurzelverbreitung bis 40 cm Tiefe. In den meisten Fällen ist aber der Boden 60—80 cm tief dicht durchwurzelt, und einzelne Wurzeln suchen sich ihre Nährstoffe bis in Tiefen von 2 Metern und mehr. Sodann zeigt der gute Waldboden an der Oberfläche eine fast unbegrenzte Einsickerungsfähigkeit. Eine Gefahr, daß die aus der Laub- und Reisigstreu entstehenden Nährstoffe verschwemmt werden, besteht daher nicht.

Der Entzug an Mineralstoffen für die Erzeugung der Forstprodukte ist also gering; die Bäume schöpfen ihre Nahrung aus einer verhältnismäßig mächtigen Schicht; bei guter Waldpflege fließen die meisten Mineralstoffe wieder dem Boden zurück; es ist deshalb kaum anzunehmen, daß bei richtiger Forstwirtschaft ein Boden jemals verarme.

Ein gewisser Beweis für die vorstehenden Ausführungen liegt darin, daß Düngungsversuche nur im Pflanzgarten und bei jungen Pflanzen einen Erfolg zeigten, bei älteren Beständen aber wirkungslos blieben.

b) Der Entzug durch Landwirtschaft.

Die landwirtschaftlichen Produkte weisen alle hohen Aschengehalt auf. Die Ernte erfolgt jedes Jahr, oft mehrmals, und der rechnende Landwirt sucht möglichst keine Abfallprodukte zu erhalten. Es wird daher den landwirtschaftlichen Böden schon durch die Ernte der Erzeugnisse ein großer Teil Nährstoffe entzogen. Beim Ackerbau ist zudem die Schicht, der diese Mineralstoffe entzogen werden, eine verhältnismäßig dünne. Die Ackerkrume beträgt selten mehr als 20—25 cm, aus der die landwirtschaftlichen Kulturgewächse dauernd schöpfen. Durch die Bearbeitung bildet die Ackerkrume ein Haufwerk von Krümeln und feinen Bestandteilen, das von der schwer durchlässigen Pflugsohle unterlagert ist. Die Möglichkeit ist sehr groß, daß am Hang viele Mineralbestandteile vom Regenwasser gelöst und fortgeschwemmt werden, auf der Ebene aber in hochdispersem Zustande in die Pflugsohle verschwinden. Die Ausmagerung der Ackerkrume ist also leicht zu verstehen und ebenso die Notwendigkeit einer baldigen Zufuhr neuer Mineralstoffe durch Düngung.

Etwas mehr Ähnlichkeit mit dem Waldboden hat der Boden der Dauerwiese. Der Rasen vermag aber lange nicht eine so tiefe Schicht für den Mineralstoffbezug aufzuschließen, wie Waldbestände. Die Gras- und Heuproduktion entzieht sodann dem Boden viel mehr Nährstoffe als die Holzerzeugung. Der Entzug ist ferner umso größer, je intensiver der Graswuchs ausgenützt wird. Aber selbst, wenn das Gras nur einmal im Jahre geerntet wird, ein Teil also im Herbst wieder zusammenfällt, so fließen die entstehenden Mineralstoffe dem Boden nicht mehr vollständig zurück. Die wenig in die Tiefe dringenden Rasenwurzeln bilden an der Bodenoberfläche einen fast undurchlässigen Filz; die aus dem faulenden Grase entstehenden Mineralstoffe werden deshalb wenigstens am Hang größtenteils oberflächlich fortgeschwemmt und müssen, soll die Grasproduktion rationell betrieben werden, künstlich wieder zugeführt werden.

4. Die Bedeutung der chemisch-mineralogischen Analysen für wald- und landwirtschaftliche Böden.

Da ein normaler, gut gepflegter Waldboden selten oder nie an Nährstoffen verarmt, so erhellt wohl von selbst, daß uns im Waldbau die chemische Analyse des Bodens nur in Ausnahmefällen wertvolle Dienste leisten kann. Bei schweren tonhaltigen Böden sind die physikalischen Verhältnisse fast allein maßgebend zur Beurteilung deren Güte. Anders mögen die Verhältnisse liegen bei armen, sandigen Waldböden.

Bei den landwirtschaftlich benutzten Böden dagegen ist eine Verarmung an Mineralstoffen auf die Dauer mit Sicherheit anzunehmen. Die chemisch-mineralogische Analyse ist dann im Stande, nachzuweisen, nach welcher Richtung die Nährstoffe einer Ergänzung bedürfen. In dieser Beziehung wird die Nährstoffanalyse für den Landwirt immer hohen Wert besitzen, wenn sie auch nicht im Stande ist, selbst landwirtschaftliche Böden in Güteklassen zu scheiden.

III. Die physikalischen Eigenschaften der Wald- und Freilandböden.

Was die physikalischen Eigenschaften gewachsener Böden anbetrifft, so kann ich meine Ausführungen fast vollständig stützen auf die von Engler (11 a) und mir (6) veröffentlichten Untersuchungen. Unsere Anstalt besitzt ein vollständig verarbeitetes Material von über 900 Untersuchungen gewachsener Böden. So umfangreich dieses Material auch erscheint, so umfaßt es leider noch lange nicht alle Bodentypen. Es handelt sich hauptsächlich um schwere Böden, die aus Molasse- oder Moränenunterlage hervorgegangen sind. Reine, leichte Sandböden wurden nicht untersucht und können deshalb hier auch nicht berücksichtigt werden.

(Siehe Tabelle III, Seite 22/23.)

Tabelle III, die dem 1. Heft des XIII. Bandes der Mitteilungen der eidgen. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen entnommen wurde, gibt eine Übersicht über die Ergebnisse der neueren Untersuchungen der Anstalt. Ich mache darauf aufmerksam, daß die Tabelle III nur die Mittelwerte enthält, wie sie sich für jeden einzelnen Fall durch die Analyse von je 2—21 Proben ergeben haben. Die Bodeneigenschaften ändern besonders im Wald fast von Meter zu Meter und man muß jedenfalls im Urteil immer vorsichtig

sein, wenn nicht genügend zahlreiche Untersuchungen vorliegen.

1. Das Volumengewicht.

In Tabelle III, Spalte 3, ergeben sich die Volumengewichte, indem man das Gewicht des absolut trockenen Bodens durch 1000 teilt, da immer 1000 cm³ gewachsenen Bodens den Zahlen zu Grunde liegen.

Das Volumengewicht oder scheinbare spez. Gewicht ist, wie schon Engler (11 a) nachgewiesen hat, für die obersten Schichten guter Waldböden bedeutend kleiner als für Freilandböden. Schon von etwa 40 cm Tiefe an ist aber ein Unterschied kaum mehr nachzuweisen. Das Volumengewicht der obersten 10 cm der Waldböden bewegt sich zwischen 0,7 bis 1,1, für verschiedene Freilandböden zwischen 1,0 bis 1,4.

Unvorsichtige waldbauliche Maßnahmen können leicht zu einer Erhöhung des Volumengewichtes, d. h. also zu einer Verdichtung der obersten Bodenschichten führen. So ist z. B. in Zofingen das Volumengewicht des 100jährigen Laubholzbestandes im Boden des freigestellten Schlagrandes in kurzer Zeit von 0,855 auf 1,071 gestiegen. Andererseits ist aber das Volumengewicht oft ein unzuverlässiger Weiser zur Beurteilung der Waldbodengüte. Das kleine Volumengewicht der Waldböden ist bedingt einerseits durch lockere Lagerung der Bodenteile, andererseits durch den Humusgehalt. Das kleinste Volumengewicht wird sehr oft festgestellt bei verdorbenen Rohhumusböden.

Das Volumengewicht nimmt mit der Bodentiefe sehr rasch zu. Es beträgt sehr oft in den obersten 10 cm des Bodens nur $\frac{2}{3}$ von der Größe in 40—50 cm Tiefe. Von 50 cm Tiefe an ist die Zunahme eine geringe und ausnahmsweise kann bei größerer Tiefe auch eine leichte Abnahme des Volumengewichtes eintreten (Büren).

2. Wassergehalt und Wasserkapazität.

Bei Betrachtung des Wassergehaltes und der Kapazität muß immer scharf auseinandergehalten werden, ob sich die Werte auf Feinerde oder gewachsenen Boden beziehen und ob es sich um Gewichts- oder Volumenprozente handelt. Die Untersuchung der Feuchtigkeitsverhältnisse der Feinerde kann nur als ein Notbehelf betrachtet werden. Einmal kommt

Physikalische Eigenschaften von Wald- und Freilandböden.

Ort der Probe-Entnahme und Kulturart	Probe aus einer Tiefe von cm	Gewicht des absolut trockenen Bodens in g	Wasserkapazität in Volumenprozenten	Wassergehalt bei der Entnahme in %	Steingehalt in Volumenprozenten	Porenvolumen %	Luftkapazität %	Einsickerungszeit für 10 cm Wasser	Spez. Gewicht der festen Bodenteile
1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>I. Zofingen.</i>									
1. Ungeädüngte, magere Dauerwiese	0—10	1034	52,9	40,3	0,0	59,0	6,1	39' 50"	2,52
	40—50	1356	45,9	40,6	0,0	48,9	3,0	—	2,65
	80—90	1554	42,9	39,5	0,0	42,6	—0,1	—	2,71
2. Acker, beziehungsweise Kunstwiese	0—10	1326	46,3	39,8	1,0	49,6	3,3	1 h 09' 04"	2,63
	40—50	1590	40,2	38,0	0,4	40,9	0,7	—	2,69
	80—90	1759	34,4	32,0	1,0	34,4	0,0	—	2,68
3. Schlagrand des 100-jährigen Laubholzbestandes	0—10	1071	49,5	32,1	1,0	57,8	8,3	29' 31"	2,54
	40—50	1283	43,8	34,8	1,6	51,6	7,8	—	2,65
	80—90	1526	40,4	34,1	2,0	42,9	2,5	—	2,67
4. 50—60-jähriges Nadelholz. Beginn der Rohhumusbildung .	0—10	796	57,1	34,6	0,0	67,4	10,3	14' 43"	2,44
	40—50	1324	45,6	35,5	0,3	50,2	4,6	—	2,66
	80—90	1551	40,6	35,5	3,9	42,3	1,7	—	2,69
5. 100-jähriger Laubholzbestand mit Verjüngung	0—10	855	51,6	32,2	2,0	65,6	14,0	7' 35"	2,49
	40—50	1350	42,9	32,8	1,1	49,2	6,3	—	2,66
	80—90	1524	40,3	34,6	1,0	43,4	3,1	—	2,69
<i>II. Büren an der Aare.</i>									
1. Ursprünglicher Eichwaldboden	0—10	955	45,7	35,9	2,0	61,8	16,1	5' 32"	2,50
	40—50	1529	36,8	31,9	4,5	39,8	3,0	—	2,64
	80—90	1716	33,8	32,0	3,1	35,1	1,3	—	2,64
	120—130	1672	36,2	31,0	6,7	37,6	1,4	—	2,68
2. 90-jährig. Fichtenbestand nach landwirtschaftlicher Zwischennutzung	0—10	1012	48,6	30,7	5,5	59,6	11,0	7' 28"	2,50
	40—50	1640	36,7	33,4	4,0	38,3	1,6	—	2,66
	80—90	1644	38,8	36,3	3,3	38,6	—0,2	—	2,68
	120—130	1599	40,2	35,6	0,0	40,1	—0,1	—	2,67

3. Acker, vor 2 Monaten 5 cm tief geschält	0—10	1375	45,9	36,2	3,3	48,2	2,3	1 h 35' 14"	2,65
	40—50	1599	38,4	31,2	0,0	39,8	1,4	—	2,66
	80—90	1605	44,2	41,5	0,8	40,6	—3,6	—	2,70
	120—130	1553	47,2	44,2	0,0	42,3	—4,9	—	2,69
<i>III. Biel-Orvin.</i>									
1. Natürliche Buchen- u. Tannen- verjüngung	0—10	928	46,2	31,9	2,3	63,0	16,8	1' 33"	2,51
	20—30	1389	45,2	34,5	7,7	47,8	2,6	—	2,66
2. Kahle Waldfläche seit 1911 . .	0—10	975	55,7	41,0	1,4	60,6	4,9	45' 30"	2,47
	20—30	1296	47,3	39,4	6,5	50,6	3,3	—	2,62
3. Dauerwiese am Waldrand . .	0—10	1314	46,1	34,2	5,6	48,7	2,6	51' 35"	2,56
	20—30	1503	44,7	38,2	11,2	44,3	—0,4	—	2,70
4. Acker am Waldrand, frisch ge- lockert	0—10	1048	50,6	28,6	2,7	58,9	8,3	8' 25"	2,55
	20—30	1524	41,7	33,9	33,0	42,6	1,0	—	2,66
<i>IV. Zollikon (Zürich).</i>									
1. Nadelholzhochwald, zirka 90- jährig, nach Kahlschlag ge- pflanzt	0—10	1171	46,6	41,8	5,6	55,1	8,5	18' 40"	2,61
	40—50	1566	38,9	35,7	17,4	41,3	2,4	—	2,67
	80—90	1592	38,5	35,1	14,2	40,7	2,2	—	2,68
2. Kahlschlagfläche, vor 4 bis 8 Jahren kahl gelegt und wieder bepflanzt	0—10	1030	52,8	46,4	5,0	58,6	5,8	59' 13"	2,49
	40—50	1600	37,6	32,0	25,0	39,8	2,2	—	2,66
	80—90	1714	35,0	34,0	15,6	36,9	1,9	—	2,72
<i>V. Biglenwald.</i>									
1. Plenterwald unten am Hang	0—10	931	39,9	—	35,9	62,6	22,7	—	2,49
2. Plenterwald oben am Hang	0—10	1068	41,0	—	40,6	57,6	16,4	—	2,51
3. Plenterwald auf dem Plateau	0—10	861	50,2	—	18,1	63,5	13,3	—	2,36
4. Fichtenkultur nach landwirt- schaftl. Zwischennutzung . .	0—10	841	54,1	—	26,1	65,1	11,0	—	2,41
5. Tannenkultur nach landwirt- schaftl. Zwischennutzung . .	0—10	748	60,9	—	15,1	69,2	8,3	—	2,43
<i>VI. Boudry.</i>									
1. Unveränderter Eichwaldboden	0—10	1041	41,2	11,7	22,8	59,2	18,0	4' 28"	2,55
	20—30	1394	39,1	14,6	24,0	46,3	7,2	—	2,60
	50—60	1586	35,9	18,3	24,5	39,7	3,8	—	2,63
2. Forstgartenboden, jetzt Wiese	0—10	1208	48,2	26,5	5,1	53,2	5,0	9' 25"	2,58
	20—30	1498	40,8	23,4	17,4	42,7	1,9	—	2,61
	50—60	1591	35,9	17,4	19,8	39,8	3,9	—	2,64

die natürliche Bodenstruktur nicht zum Ausdruck, der Steingehalt wird nicht berücksichtigt und sodann macht sich in dem meist in Gewichtsprozenten ausgedrückten Wassergehalt der Feinerde der Humusgehalt derselben allzustark geltend. Auch bei gewachsenen Böden vermitteln uns die Gewichtsprozente meistens ein falsches Bild von den wirklichen Feuchtigkeitsverhältnissen. Viel getreuer kommt der Wassergehalt gewachsener Böden zum Ausdruck durch die Volumenprozente.

In der volumenprozentigen Wasserkapazität besteht kein wesentlicher Unterschied zwischen Wald- und Freilandböden. Die erhaltenen Resultate sind nicht eindeutig, je nach Umständen bald etwas größer im Wald-, bald im Freilandboden.

Die Wasserkapazität eines Bodens ist einmal abhängig vom Humusgehalt und sodann besonders von der Struktur. Sie ist weniger bedingt durch die absolute Größe des Porenvolumens als durch die Art der Poren. Die Wasserkapazität setzt sich zusammen aus dem Adhäsionswasser und dem kapillar gebundenen Wasser. Besteht ein gegebenes Porenvolumen hauptsächlich aus kapillar wirksamen Poren, so ist die Wasserkapazität größer, als wenn ein Teil der Poren zufolge ihrer Größe keine Kapillarwirkung mehr zeigt. Die Waldböden mit ihren großen, vielfach nicht mehr kapillarwirkenden Hohlräumen neigen daher zu einer kleineren Wasserkapazität als die feinporigen Freilandböden; der meist höhere Humusgehalt der oberen Waldbodenschichten schafft aber einen Ausgleich.

Während Hoppe (17) auf Grund von Feinerdeuntersuchungen feststellte, daß eine Abnahme der Wasserkapazität auf eine Verschlechterung des Waldbodens hindeute, sind wir heute eher geneigt, in den meisten Fällen das Gegenteil als richtig anzunehmen.

In Zofingen weist die magere Dauerwiese bei 59 % Porenvolumen eine Wasserkapazität von 53 % auf, der 100-jährige Laubwald besitzt bei 66 % Porenvolumen eine Wasserkapazität von 52 %. Die oberste Schicht des Eichwaldbodens von Büren zeigt 46 % Wasserkapazität bei 62 % Porenvolumen, der Acker dagegen ebenfalls 46 % Kapazität bei 48 % Porenvolumen. In Biel ergaben sich für natürliche Waldverjüngung und magere Dauerwiese fast genau die für Büren erwähnten Werte. In Boudry bedingt das Porenvolumen von 59 % des Eichwaldbodens eine Wasserkapazität

von nur 41 %, das kleinere Porenvolumen des Forstgartens von 53 % aber eine Wasserkapazität von 48 % u. s. w. Der Beweis ist genügend erbracht, daß Porenvolumen und Wasserkapazität nicht parallel verlaufen.

Der wirkliche Wassergehalt des Waldbodens ist allgemein etwas kleiner als der des Freilandbodens. Ein bestimmtes Gesetz gibt es aber nicht. Der Einfluß der Vegetation auf die Bodenfeuchtigkeit läßt sich unter Berücksichtigung von Niederschlägen und Temperaturen nur von Fall zu Fall entscheiden.

Vergleicht man den wirklichen Wassergehalt mit der Wasserkapazität, so läßt sich erkennen, daß wenigstens in schweren Böden auch in Trockenzeiten noch mehr Bodenwasser vorhanden ist, als man sich gewöhnlich vorstellt. Mit ziemlicher Sicherheit konnte auch nachgewiesen werden, daß die Schwankungen im Wassergehalt in der Ackerkrume größer sind als in guten Waldböden.

Die Bestimmung der Wasserkapazität eines Bodens liefert nur spärliche Anhaltspunkte zur Beurteilung seiner Güte. Mit Hilfe von Wasserkapazität und Porenvolumen zusammen aber können wir die Luftkapazität bestimmen, die wenigstens für Dauervegetationen einen wertvollen Weiser der Bodengüte darzustellen scheint.

3. Das Porenvolumen.

Das Porenvolumen ist in Wald- und Freilandböden am größten in den obersten Bodenschichten und nimmt mit der Tiefe sehr rasch ab. Das Porenvolumen kann je nach Kulturart und Bodentiefe $\frac{1}{3}$ bis $\frac{2}{3}$ des gesamten Bodenvolumens betragen. Es ist, wie schon Engler (11 a) gezeigt hat, in den obersten Schichten des Waldbodens erheblich größer als in Freilandböden. Schon von 40 cm Tiefe an ist aber ein Unterschied im Porenvolumen der Böden verschiedener Kulturarten kaum mehr nachzuweisen.

Bezüglich der Waldböden ist allerdings zu sagen, daß durchaus nicht immer das größte Porenvolumen dem besten Waldboden entspricht. Wie wir später noch sehen werden, haben für Waldböden besonders jene großen Poren ausschlaggebende Bedeutung, die nicht kapillar wirksam sind. Ein Waldboden, dessen mäßiges Porenvolumen sich aus vielen größeren Hohlräumen zusammensetzt, ist besser, als ein anderer, dessen großes Porenvolumen sich bei der Sät-

tigung fast vollständig mit Wasser vollsaugt. So besitzt z. B. der sehr schlechte Boden der Tannenkultur auf dem Plateau des Biglenwaldes, Tabelle III, ein Porenvolumen von 69 %, der sehr gute Plenterwaldboden unten am Hang aber nur 63 %. Die Wasserkapazität des guten Hangbodens beträgt aber nur 40 %, die des schlechten Plateaubodens dagegen 61 %; woraus hervorgeht, daß der gute Hangboden 23 % große, nicht kapillar wirkende Hohlräume aufweist, der schlechte Plateauboden aber nur 8 %.

Es muß auch darauf hingewiesen werden, daß durch eine Verschlechterung der Waldböden, wie sie durch Kahlschläge oder landwirtschaftliche Zwischennutzung eintritt, durchaus nicht immer eine Verkleinerung des Porenvolumens bedingt ist. In Zofingen nahm das Porenvolumen durch Kahlschlag im Boden des Bestandesrandes ab, ebenso erfolgte in Boudry eine Abnahme durch den Forstgartenbetrieb. In Biel ist das Porenvolumen des kahlen Bodens fast gleich hoch wie das des bestockten Waldbodens. In Zollikon hat sich infolge Kahlschlages das Porenvolumen vergrößert und ebenso im Biglenwalde durch landwirtschaftliche Zwischennutzung.

Eine ganz auffallende Erscheinung ist aber die, daß frisch gelockerte Äcker, wie in Biel und Büren, ein bedeutend kleineres Porenvolumen zeigen als die obersten Bodenschichten guter Waldböden.

4. Die Luftkapazität.

Den Begriff Luftkapazität im heutigen Sinne hat Kopecky (18) in die Bodenkunde eingeführt. Er versteht unter Luftkapazität eines Bodens die Summe jener Poren, die sich zufolge ihrer Größe auch bei der Sättigung nicht mit Wasser vollsaugen.

Das Porenvolumen eines gesättigten Bodens ist erfüllt mit Wasser und Luft. Ist die Wasserkapazität bei gegebenem Porenvolumen groß, so muß die Luftkapazität klein sein und umgekehrt. Praktisch wird die Luftkapazität meistens nur indirekt bestimmt, indem man die Summe des Wassergehaltes plus Volumens der festen Bodenteile vom Volumen des gewachsenen Bodens abzieht, oder was dasselbe bedeutet, indem man die Wasserkapazität vom Porenvolumen abzieht. Da die Luftkapazität des wassergesättigten Bodens meistens eine recht bescheidene Größe darstellt, so machen sich Fehler in der Bestimmung des absoluten Volumens der

festen Bodenteile oft so stark geltend, daß die Luftkapazität negativ ausfallen kann. Es fehlt uns heute noch eine einfache, aber unbedingt einwandfreie Methode zur Bestimmung des absoluten Volumens der festen Bodenteile. Meine Versuche haben aber immerhin ergeben, daß nach halbstündigem Kochen der Bodenproben der Fehler jedenfalls konstant bleibt, wodurch die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse gesichert erscheint.

Kopecky (18) hat der Luftkapazität zur Beurteilung der Bodengüte die größte Bedeutung beigemessen. Er gibt uns an, wie hoch die Luftkapazität für die verschiedenen Ackergewächse sein müsse; er zeigt auch an einem Beispiel, daß der Boden einer guten Süßgräserwiese eine höhere Luftkapazität aufweist als der einer Sauerwiese. Meine Untersuchungen (6) haben ergeben, daß die Luftkapazität eines der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung der Waldböden darstellt.

Die Luftkapazität ist nach meinen bisherigen Untersuchungen (6) immer bedeutend größer im Waldboden als im Freilandboden. Der Unterschied ist allerdings in der Oberfläche des Bodens absolut am größten, relativ aber in tieferen Bodenschichten nicht weniger bedeutend. Bemerkenswert ist, daß ein in Kunstwiese umgewandelter Acker in Zofingen eine weit geringere Luftkapazität aufweist als eine magere Dauerwiese, während der frisch gelockerte Acker in Biel eine höhere Luftkapazität besitzt als die schlechte Wiese. Ob die Luftkapazität in Wiesen- oder Ackerboden größer sei, kommt ganz auf den zufälligen Stand der Bearbeitung des Ackers an. Sicher ist aber, daß selbst ein ganz frisch gelockerter Acker nie eine so hohe Luftkapazität aufweist wie ein guter Waldboden. Der frisch gelockerte Acker in Biel besitzt in der obersten Bodenschicht nur halb so viel Luftkapazität wie der gute Waldboden. In Büren enthält die vor zwei Monaten gelockerte Ackerkrume nur $\frac{1}{3}$ der Luftkapazität des Eichwaldbodens und in Zofingen finden wir in der Kunstwiese ein Jahr nach dem Pflügen nur noch $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$ der Luftkapazität des 100jährigen Laubholzbestandes.

Aber nicht nur Wald- und Freilandböden unterscheiden sich durch verschiedene Luftkapazität, auch im Walde lassen sich Verschlechterungen des Bodens durch Luftkapazitätsbestimmungen nachweisen. Beim Schlagrand in Zofingen hat sich infolge Kahlstellung des Bodens die Luftkapazität

in wenigen Jahren in der obersten Schicht von 14 % auf 8 % verkleinert, ist also auf den Stand einer guten Wiese gesunken. In Biel ist auf dem kahl liegenden Waldboden die Luftkapazität der obersten Bodenschicht von 17 % auf 5 % gesunken. Der landwirtschaftliche Forstgartenbetrieb in Boudry verminderte die Luftkapazität von 18 % auf 5 %. Auch im Biglenwalde läßt sich auf dem Plateau der Einfluß der landwirtschaftlichen Zwischennutzung auf den Waldboden nachweisen, indem dort der ursprüngliche Plenterwaldboden 13 % Luftkapazität aufweist, der Boden der nach landwirtschaftlicher Zwischennutzung begründeten Tannen- und Fichtenkulturen aber nur 8—11 %. Die Kulturen sind jetzt ca. 40-jährig, haben aber in 40 Jahren den früheren Bodenzustand nicht herzustellen vermocht.

Der Kahlschlag, die Stockrodung und die landwirtschaftliche Zwischennutzung bilden Probleme, die den Forstwirt seit langem beschäftigt haben, da die schlimmen Folgen dieser Maßnahmen sich genugsam an den nachherigen Beständen zeigten. Die Veränderungen des Bodens konnten aber erst durch Luftkapazitäts- und Durchlässigkeitsuntersuchungen nachgewiesen werden.

5. Die Durchlässigkeit.

Die Resultate von Durchlässigkeitsuntersuchungen können nur zur Erklärung der Bodenzustände beitragen, wenn dieselben an gewachsenen Böden bestimmt worden sind. Die Anregung, Durchlässigkeitsuntersuchungen an gewachsenen Böden durchzuführen, verdanken wir K o p e c k y (18). B e r k m a n n (2) hat einige Untersuchungen über den Einfluß der Freilandvegetation auf die Durchlässigkeit publiziert. Sehr zahlreiche Untersuchungen, die zum ersten Male die tiefgreifenden Unterschiede zwischen Wald- und Freilandböden aufdeckten, sind von E n g l e r (11 a) ausgeführt worden. Ich habe mich bemüht, eine praktisch brauchbare Methode auszuarbeiten, die sich bei größter Einfachheit möglichst den natürlichen Verhältnissen anpaßt. Man vergleiche die Anleitung in der Einleitung dieser Arbeit.

Der Querschnitt des Sickerrohres übt besonders bei Waldböden einen großen Einfluß auf die Resultate aus. Es sind deshalb nur Durchlässigkeitsuntersuchungen direkt vergleichbar, die mit Sickerrohren gleichen Querschnittes ausgeführt worden sind.

Die Durchlässigkeit eines Bodens ist auch abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt desselben. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt die Durchlässigkeit allgemein ab, doch scheint auch eine allzugroße Trockenheit dem Einsickern des Wassers nicht günstig zu sein. Kopecky (18) hat deshalb vorgeschlagen, die Durchlässigkeit nur an wassergesättigten Böden, die 24 Stunden bewässert worden sind, zu bestimmen. Diesem Vorschlag stehen aber besonders bei guten Waldböden erhebliche Schwierigkeiten gegenüber, wie folgende Zahlen zeigen sollen:

Versuch mit Waldboden von Zollikon.

Die	1.	10 cm-Wassersäule sickert ein in	56"
«	2.	«	«
«	3.	«	«
«	4.	«	«
«	5.	«	«
«	6.	«	«
«	7.	«	«
«	8.	«	«
«	9.	«	«
«	10.	«	«
«	11.	«	«
«	12.	«	«
Total 120 cm = 1200 mm sickern ein in			27' 34"

Man sieht daraus, daß die Durchlässigkeit schon nach 27½ Minuten dauernder Durchschlammung des Bodens 4 mal kleiner geworden ist. Wo soll man aber bei praktischen Untersuchungen auf dem Terrain solche Wassermengen zu einer 24 stündigen Bewässerung hernehmen und wer wollte es unternehmen, der Wissenschaft zuliebe Tag und Nacht das Wasser aufzugießen! Zudem müßte eine solch gewaltige Durchschlammung des Bodens nicht nur denselben sättigen, sondern auch seine Struktur wesentlich verändern. Ich bin deshalb bei den Sickerversuchen immer vom zufällig gegebenen Feuchtigkeitszustand ausgegangen.

Es ist ohne weiteres klar, daß jene Böden, die viele größere Hohlräume aufweisen, also eine große Luftkapazität besitzen, auch gut durchlässige Böden darstellen. Luftkapazität und Durchlässigkeit gehen bis zu einem gewissen Grade parallel. Bei gleicher Luftkapazität kann aber die Durchlässigkeit eine verschiedene sein, je nachdem die nicht kapillar wirkenden Hohlräume zu ganzen Röhren und Kanälen ver-

einigt sind, oder nicht zusammenhängen und durch kapillar wirkende Poren getrennt sind.

Engler (11 a) hat für die verschiedenen Kulturarten des Sperbel- und Rappengrabens im Emmental folgende mittlere Durchsickerungszeiten festgestellt:

Wald	29''
Calluna-, Erlen-, Farnbestände	1' 24''
Acker und gedüngte Wiese	1' 42''
Stark bestoßene Alpweide	23' 51''

Die Untersuchungsmethode Engler's tut hier nichts zur Sache; wesentlich ist der relative Unterschied, durch den das so verschiedene Verhalten des Wasserabflusses aus Wald- und Freilandgebieten eine genügende Aufklärung erfährt.

Meine Untersuchungen (6) haben zu folgenden Resultaten geführt: Die Durchlässigkeit der Waldböden ist viel größer als die der Freilandböden. Die Einsickerungszeit für 10 cm Wasserhöhe ist im guten Laubwaldboden von Zofingen 5 mal kürzer als für Dauerwiese und 9 mal kürzer als für Kunstwiese. Die Durchlässigkeit eines guten Eichwaldbodens von Büren ist 17 mal größer als die eines zwei Monate vorher gelockerten Ackers. Die Einsickerungszeit für einen ganz frisch gelockerten Ackerboden in Biel-Orvin betrug 5 mal mehr als die eines guten Waldbodens und war nur 6 mal kleiner als die einer schlechten Dauerwiese.

Bezüglich des Ackers ist zu sagen, daß seine Durchlässigkeit je nach dem Stande der Bearbeitung sehr stark schwankt. Im grobschollig umgegrabenen oder gepflügten Acker ist die Krume zunächst durchlässiger als Wiesenboden. Werden die Schollen mit der Hacke zerkleinert, so nimmt die Durchlässigkeit ab und schon ein oder wenige Regenfälle vermögen die Oberfläche des Ackers so zu verschließen, daß seine Durchlässigkeit unter die von Wiesenboden sinkt.

Berkmann (2) hat für Wiesenböden nachgewiesen, daß Wiesen, auf denen das Gras nur einmal jährlich benutzt wird, durchlässigeren Boden besitzen als Wiesen mit mehrmaliger Nutzung des Grases. In der Dauerwiese kann die Vegetation im Verein mit der Bodenflora und -Fauna allmählich ein System von mehr oder weniger bleibenden Kanälen im Boden ausbilden. Findet aber eine öftere Nutzung des Grases statt, so werden die oberen Ausgänge der Röhren allzuoft durch die Einwirkung der Atmosphärien zerstört und verschlammmt.

Im Waldboden kann die hohe Durchlässigkeit durch ungeschickte Maßnahmen stark reduziert werden. Eine Mißhandlung des Bodens erfolgt schon durch Kahlschlag. Die Einsickerungszeit hat sich im Waldboden von Zollikon infolge vorübergehenden Kahl liegens fast verdreifacht. Der Schlagrandboden in Zofingen ist 4 mal weniger durchlässig als der beschirmte Boden des gleichen Bestandes. Die Durchlässigkeit des guten Waldbodens in Orvin ist 30 mal größer als die des 10 Jahre kahl liegenden, zeitweise als Holzlagerplatz benutzten Bodens. Ein kahlgelegter Waldboden wird bezüglich Luftkapazität und Durchlässigkeit der obersten Bodenschichten schon nach 6—8 Jahren auf das Niveau einer Dauerwiese herabgedrückt und zwar selbst dann, wenn schon im zweiten Jahre nach dem Kahlschlag eine weitständige Wiederanpflanzung erfolgt. Ein weiterer schlimmer Eingriff in die Waldbodenverhältnisse bedeutet die Stockrodung und die landwirtschaftliche Zwischennutzung. Durch diese Maßnahmen wird die sich im Laufe der Jahrhunderte gebildete Architektur des Waldbodens zerstört; es wird Ackerboden gebildet und den Waldpflanzen liegt nachher die Arbeit ob, den Boden wieder in einen für sie tauglichen Zustand umzuwandeln. Die Rückbildung des Ackers in Waldboden gelingt den Waldpflanzen sehr oft in den ersten 100 Jahren nicht. Es braucht meistens zwei Waldgenerationen, um einen durch landwirtschaftliche Zwischennutzung verdorbenen Waldboden zu regenerieren.

Durchlässigkeitsuntersuchungen im Biglenwald haben gezeigt, daß der Boden einer 40jährigen Kultur nach Waldfeld noch immer schlechtere Durchlässigkeit aufweist als der unveränderte Boden. In Büren ließ sich feststellen, daß ein nach Waldfeld begründeter Bestand den Boden nach 90 Jahren noch nicht vollständig regeneriert hatte.

Über den Einfluß des Steingehaltes und die Zusammensetzung des Bodens nach Korngrößen auf die Fruchtbarkeit des Bodens ist man noch ungenügend aufgeklärt.

IV. Zusammenfassende Darstellung der Eigenschaften von Wald- und Freilandböden.

Man hat zu unterscheiden Ackerböden und Böden der Dauervegetationen. Zwischen Ackerböden und den Böden der Dauervegetationen besteht ein prinzipieller Unterschied.

Die Differenz zwischen Wiesen- und Waldböden ist nur graduell.

1. Ackerböden.

Dem Ackerboden werden durch die Kultur große Mengen von Mineralstoffen entzogen. Der indirekte Entzug ist ebenfalls bedeutend. Der totale Entzug macht sich umso stärker geltend, als er hauptsächlich der obersten 20 bis 25 cm betragenden Ackerkrume entnommen wird. In chemisch-mineralogischer Beziehung neigen daher die Ackerböden leicht zur Verarmung. Aufgabe des Agrikulturchemikers und Mineralogen ist es, den Mangel festzustellen und anzugeben, in welcher Richtung die Mineralstoffe einer ergänzenden Zufuhr bedürfen.

Bezüglich der physikalischen Eigenschaften ist für den Ackerboden besonders seine große Veränderlichkeit durch die Bearbeitung festzulegen. Der Ackerboden bildet je nach dem Stande der Bearbeitung mehr oder weniger ein Haufwerk von Mineralbestandteilen und Humus. Anfänge einer inneren Architektur, wie sie durch die Vegetation und Bodenfauna herbeigeführt werden, erleiden schon bei der nächsten Bearbeitung eine vollständige Zerstörung. Untersuchungen der physikalischen Eigenschaften von Ackerböden haben mehr allgemeine Bedeutung. Dem Ackerbauern dienen sie wenig, da er leicht in der Lage ist, den für seine Kulturen wünschenswerten Zustand, soweit dies überhaupt möglich ist, durch Bearbeitung des Ackers herzustellen.

2. Böden der Dauervegetationen.

Bei den Dauervegetationen haben wir es mit mehr oder weniger stabilen Böden zu tun. Wohl erleidet auch hier der Boden durch die Vegetation und die Bodenfauna eine fortwährende langsame Umlagerung, aber eine einmal gegebene Struktur bleibt doch längere Zeit stabil.

Was die chemischen Verhältnisse des Bodens anbetrifft, so ist der Entzug sehr verschieden, je nach Art und Benützungsweise der Kulturen. Der Entzug an Nährstoffen ist äußerst gering im Urwald. Fast alle durch die Vegetation entzogenen Nährstoffe fließen wieder dem Boden zurück. Ähnliche Verhältnisse bestehen auch bei den vom Menschen unberührten Dauervegetationen, den Prärien. Da die Prärieböden

aber immerhin undurchlässiger sind als Urwaldböden, so besteht schon bei schwacher Neigung des Terrains die Gefahr der Fortschwemmung von Mineralstoffen. Ein relativ geringer Entzug erfolgt auch durch den gut bewirtschafteten Hochwald. Es werden meist nur aschenarme Produkte entzogen. Die mineralreichen Teile der Bäume, Nadeln, Laub und feines Reisig, bleiben dem Waldboden erhalten. Da die geringen Mineralstoffmengen aus einer bedeutenden Bodenschicht geschöpft werden, so ist als gewiß anzunehmen, daß unter normalen Verhältnissen die fortwährende Verwitterung des Untergrundes den geringen Entzug eines gut bewirtschafteten Hochwaldes leicht zu ersetzen vermag. Kahlschläge, Laub- und Nadelstreunutzung, der Niederwaldbetrieb, sowie besonders die landwirtschaftliche Zwischennutzung vermögen den direkten und indirekten Entzug des Waldes wesentlich zu erhöhen. Beim Plenterbetrieb dagegen steht der Boden unter dem ständigen Schutz des Waldbestandes und da hauptsächlich Starkholz produziert wird, so ist der Entzug von Mineralstoffen auf ein Minimum reduziert. Durch die landwirtschaftliche Benützung der Dauerviesen werden dem Boden verhältnismäßig viele Nährstoffe entzogen, da die Gräser und Kräuter hohen Aschengehalt aufweisen. Je intensiver die Benützung einer Wiese, umso größer der Entzug. Da die Wiesenpflanzen ihre Nährstoffe aus einer ziemlich schwachen Bodenschicht schöpfen, so ist eine Verarmung des landwirtschaftlich benutzten Wiesenbodens leicht zu erwarten, eine Minereraldüngung daher erwünscht.

Bezüglich der physikalischen Eigenschaften der Böden der Dauervegetationen ist folgendes zu bemerken. Die Vegetation, unterstützt von Bodenfauna und Flora, schafft sich nach und nach eine bis zu einem gewissen Grade stabile Bodenstruktur. Handelt es sich um flachwurzelnde Pflanzen, so ist naturgemäß ihr Einfluß auf die Bodenstruktur ein wenig tiefgreifender und wenig nachhaltiger. Je mehr aber tiefwurzelnde ausdauernde Gräser, Kräuter, Sträucher oder gar Baumbestände in Frage kommen, umso tiefgreifender und bedeutender ist auch die Einwirkung auf den Boden. Die Wurzeln dringen in den Boden ein, bilden durch Auflösung und mechanischen Druck Höhlungen und Kanäle, die nach dem Absterben der Wurzeln längere Zeit offen stehen. Die Bodenfauna wirkt in ähnlichem Sinne. Je tiefer die Wurzeln eindringen, je besser also die Durchlüftung des Bodens wird,

umso tiefer vermag auch die Bodenfauna vorzudringen und ihre Höhlungen und Kanäle zu bauen.

Die Wiesenvegetation ist naturgemäß nicht in der Lage, den Boden weitgehend aufzulockern und große Hohlräume zu bilden. Das in der Bodenoberfläche reichlich wuchernde Faserwurzelnetz sucht eher größere Hohlräume bald wieder zu zerstören und in feinere überzuführen. Auch werden die Verbindungskanäle der Außenluft mit dem Bodenkanalsystem leicht durch Niederschläge verstopft.

Die Waldvegetation vermag, wenn sie ungestört arbeiten kann, allmählich eine Struktur des Bodens zu bilden, die sich auszeichnet durch eine relativ feste Grundmasse, die von zahlreichen Röhren und Kanälen durchzogen ist. Wiegner (33 b) hat sich über meine Untersuchungen folgendermaßen geäußert: „Wir haben, kolloid-chemisch gesprochen, im Waldboden stabile, grobe Gelstrukturen, die stark vergrößert den Strukturen eines Geles etwa im Umschlagspunkt entsprechen. Eine ungeschickte Maßnahme, z. B. Kahlschlag und besonders landwirtschaftliche Zwischennutzung des Waldbodens, kann im hochdispersen schweren Boden die langsam entstandene, für Wald so günstige Gelarchitektur so gründlich zerstören, daß der Waldbau von da ab sehr erschwert wird.“

Während im gut bewirtschafteten Wald durch dauernde Erhaltung des Bestandesschirms, durch die lose aufliegende Streudecke und durch die oberste lockere, krümelige Schicht des Bodens, die dem Waldboden eigentümliche Struktur geschützt und erhalten wird, bildet sich nach Kahlschlag auf der kahlen Fläche meist eine üppig wuchernde Grasvegetation, deren viele feinen Wurzeln die grobe Struktur des Waldbodens zerstören und ihn in einen Dauerwiesenboden überführen.

Durch landwirtschaftliche Zwischennutzung wird die im Laufe der Jahrhunderte nach und nach gebildete, naturgemäße Struktur des Waldbodens mit roher Hand auf einmal zerstört und ein gutes Gedeihen der Forstkulturen für lange Zeit verunmöglicht. Ein bis zu zwei Waldgenerationen haben Mühe, die richtige Waldbodenstruktur mit hoher Luftkapazität und hoher Durchlässigkeit wieder herzustellen.

Wir Forstleute sind deshalb so ängstlich bemüht, jede physikalische Veränderung eines normalen Waldbodens zu verhüten, weil eine künstliche Bearbeitung desselben auf

großer Fläche praktisch ausgeschlossen ist, und weil physikalische Bodenverbesserungen, wie sie durch richtige waldbauliche Maßnahmen immerhin bewirkt werden können, unverhältnismäßig lange Zeiträume beanspruchen. Eine durch waldbauliche Maßnahmen bewirkte gute Bodenpflege ist daher eine der vornehmsten Aufgaben des Forstwirtes.

V. Die volkswirtschaftliche Bedeutung der verschiedenen Eigenschaften von Wald- und Freilandböden.

Ich beschränke mich hier darauf, mit einigen Worten den Einfluß der Bodeneigenschaften auf das Wasserregime anzudeuten.

Trotzdem geschichtlich nachgewiesen viele Länder durch Entwaldung zeitweilig an starken Überschwemmungen, zu andern Zeiten unter starkem Wassermangel in den Flüssen leiden, war doch die Frage des Einflusses des Waldes auf den Stand der Gewässer bis in neueste Zeit immer noch stark umstritten. Die tiefgründigen Untersuchungen von Engler haben in dieser Frage erst die so lange vermißten Aufklärungen gebracht.

Engler (11 a) beobachtete seit dem Jahre 1900 Niederschläge, Temperaturen, Schneeverhältnisse und Abflüsse in einem ganz bewaldeten Gebiet, Sperbelgraben, und einem schwach (zu 35 %) bewaldeten Gebiet, Rappengraben, beide im Emmental. Die Resultate sind ganz kurz zusammengefaßt folgende:

1. Nach den bisherigen Beobachtungen bleiben bei rascher Schneeschmelze im Frühjahr und im Winter die maximalen Wasserstände und die gesamten Abflußmengen des bewaldeten Sperbelgrabens bedeutend unter denjenigen des schwach bewaldeten Rappengrabens.

2. Bei Gewitterregen betragen die maximalen Hochwasserstände bei gleicher Intensität und Menge des Niederschlages im Sperbelgraben (bewaldet) nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ von denjenigen des Rappengrabens.

3. Bei Landregen hängt die Wirkung des Waldes auf den Wasserabfluß von der vorangegangenen Witterung ab. Ist der Wassergehalt des Waldbodens schon bei Beginn des Landregens groß, so ist der Wald wirkungslos und es fließt dieselbe Wassermenge ab wie vom Freiland; bei geringer Wasserspeicherung aber zeigt sich der Wald sehr wirksam.

4. In Trockenperioden des Sommers und Winters fließt im bewaldeten Gebiet allgemein mehr Wasser ab als im schlecht bewaldeten Rappengraben und zwar obgleich das letztere Gebiet infolge des geologischen Baues zahlreichere und bessere Quellen aufweist.

5. Der Rappengraben liefert mehr Geschiebe als der Sperhelgraben. Muhrgänge konnten bis jetzt nur im schlecht bewaldeten Rappengraben beobachtet werden.

Alle diese Unterschiede im Abfluß und der Geschiebelieferung der Flüsse aus Wald- und Freilandgebieten sind, wie Engler (11 a) als erster schlagend nachgewiesen hat, durch die physikalischen Eigenschaften der Wald- und Freilandböden bedingt. Wie die Verhältnisse im einzelnen zusammenhängen, möge man in Engler's (11 a) meisterhaft durchdachtem und geschriebenem Buche selbst nachlesen.

13. April 1923.

Literaturverzeichnis.

1. R. Albert: „Bodenuntersuchungen im Gebiete der Lüneburger Heide“. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1912, Seite 2 u. f.
Derselbe: „Bodenuntersuchungen in der Oberförsterei Ebsdorf“. Gleiche Zeitschrift, 1912, Seite 655 u. f.
Derselbe: „Bodenuntersuchungen in der Oberförsterei Münster“. Gleiche Zeitschrift, 1913, Seite 221 u. f.
2. M. Berkman: „Untersuchungen über den Einfluß der Pflanzenwurzeln auf die Struktur des Bodens“. Int. Mitt. f. Bodenk., 1913, Seite 1.
3. J. B. Boussingault: „Die Landwirtschaft in ihren Beziehungen zur Chemie, Physik und Meteorologie“. Deutsch von Gräber. Halle 1851—56.
4. H. Brockmann und M. Jerosch: „Die natürlichen Wälder der Schweiz“. Sonderabdr. aus Heft XIX der Ber. d. schweiz. botan. Gesellsch., Zürich, 1910.
Dieselben: „Baumgrenze und Klimacharakter“. Beitr. z. geobot. Landesaufn. 6. Zürich, 1919.
5. A. Bühler: „Der Waldbau“. I. Band. Stuttgart, 1918.
6. H. Burger: „Physikalische Eigenschaften der Wald- und Freilandböden“. Mitt. d. schweiz. Zentralanstalt f. d. forstl. Versuchswesen, XIII. Band, 1. Heft, Seite 1 u. f.
7. H. Davy: „Elements of agricultural chemistry“. 2d ed. London, 1814.
8. M. Dügge: „Forschungen auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie“. Sonderdr. a. Band 3 d. landw. Vorträge, herausgegeben v. Verbands der Lehrer an landw. Schulen der Schweiz.
9. E. Ebermayer: „Physiologische Chemie der Pflanzen“. 1882.
10. P. Ehrenberg: „Die Bodenkolloide“. Dresden und Leipzig, 1915.

- 11 a. A. Engler: „Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer“. Mitteil. d. schweiz. Zentralanstalt f. d. forstl. Versuchswesen, XII. Band. Zürich, 1919.
- 11 b. Derselbe: „Über Verbreitung, Standortsansprüche und Geschichte der *Castanea vesca* Gärtner“. Sonderdr. a. d. Ber. d. schweiz. bot. Gesellschaft, Heft XI, 1901.
12. H. Fischer: „Beziehungen zwischen Wasser und Boden“. Intern. Mitteil. f. Bodenkunde, 1915.
13. J. R. Glauber: „Des Deutschlands Wohlfahrt“. 1656.
14. R. Heinrich: „Grundlage zur Beurteilung der Ackerkrume“. Wismar, 1882. Seite 218 u. f.
15. J. B. van Helmont: „Ortus medicinae vel opera et opuscula omnia“, 1648. Nach Kopp: „Geschichte der Chemie“. Braunschweig, 1843.
16. E. Henry: „Les Sols Forestiers“. Paris, 1908.
17. E. Hoppe: „Über Veränderung des Waldbodens durch Abholzung“. Zentralbl. f. d. ges. Forstwesen, Wien 1898, Seite 51 u. f.
18. J. Kopecky: „Die physikalischen Eigenschaften des Bodens“. 2. Aufl. 1914. Sonderdr. a. d. Intern. Mitteil. f. Bodenkunde.
19. J. v. Liebig: „Chemie in ihrer Anwendung auf Landwirtschaft und Physiologie“. IV. Aufl. 1847.
20. K. A. Meyer: „Über Pflanzensuccessionen in der Forstwirtschaft“. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 1922, Seite 125 u. f.
21. E. A. Mitscherlich: „Bodenkunde für Land- und Forstwirte“. 3. Aufl. Berlin, 1920.
22. F. Nobbe: Tharandter forstl. Jahrbuch, 1875. Nach Jost: „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie“. Jena, 1904.
- 23 a. E. Rammann: „Bodenkunde“. 3. Aufl. 1911.
- 23 b. Derselbe: „Untersuchungen über Waldböden“. Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, Band 11, Seite 299 u. f.
- 23 c. Derselbe: „Über Lochkahlschläge“. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen 1897, Seite 697 u. f.
- 23 d. Derselbe: „Bodenbildung und Bodeneinteilung“. Berlin, 1918.
- 23 e. Derselbe: „Forstliche Bodenkunde und Standortslehre“. Berlin, 1893.
24. Th. de Saussure: „Recherches chimiques sur la Végétation“. Paris, 1814.
25. G. Schübler: „Grundsätze der Agrikulturchemie in näherer Beziehung zu land- und forstwirtschaftlichen Gewerben“. Leipzig, 1838.
26. F. Schucht: „Literaturzusammenstellung über das Gesamtgebiet der Bodenkunde“. Intern. Mitteil. f. Bodenkunde. Beginn Band IX, 1919, Seite 109.
27. W. Schumacher: „Die Physik des Bodens“. Berlin, 1864.
28. J. Senebier: „Mémoires Physico-chimiques“. Genève, 1782.
29. A. v. Sigmond: „Erfahrungen über die Verbesserung von Alkaliböden“. Intern. Mitteil. f. Bodenkunde, Band I, Seite 44 u. f.
30. L. Tschermak: „Kahlfläche und Blendersaumschlag, vergleichende Bodenuntersuchungen“. Zentralbl. f. d. gesamte Forstwesen. Wien, 1920.

31. J. Tull: „The Horse Hoeing Industrie“. London, 1730.
32. F. Wahnschaffe: „Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung“. Berlin, 1887.
- 33 a. G. Wiegner: „Boden und Bodenbildung in kolloid-chemischer Betrachtung“. Dresden und Leipzig, 1918.
- 33 b. Derselbe: „Agrikulturchemie und Kolloidchemie“. Kolloidzeitschrift, XXXI. Band, 1922, Seite 271 u. f.
34. (—) Wolff: „Aschenanalysen von landwirtschaftlichen Produkten“. I. Band 1874, II. Band 1880. Zit. nach Bühler, Waldbau, I. Band.
35. E. Wollny: „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik“. 20 Bände, die eine große Zahl von Originalarbeiten von Wollny enthalten.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Historische und fachliche Einführung	75
II. Entzug von Mineralstoffen aus dem Boden durch Wald- oder Freilandkultur	86
1. Anspruch	86
2. Bedarf der verschiedenen Pflanzen an Mineralstoffen	88
3. Der Entzug von Mineralstoffen aus Wald- und Freilandböden	90
a) Der Entzug durch Waldbau	90
b) Der Entzug durch Landwirtschaft	93
4. Die Bedeutung der chemisch-mineralogischen Analysen für wald- und landwirtschaftliche Böden	94
III. Die physikalischen Eigenschaften von Wald- und Freilandböden	94
1. Das Volumengewicht	95
2. Wassergehalt und Wasserkapazität	95
3. Das Porenvolumen	99
4. Die Luftkapazität	100
5. Die Durchlässigkeit	102
IV. Zusammenfassende Darstellung der Eigenschaften von Wald- und Freilandböden	105
1. Ackerböden	106
2. Böden der Dauervegetationen	106
V. Die volkswirtschaftliche Bedeutung der verschiedenen Eigenschaften von Wald- und Freilandböden	109
Literaturverzeichnis	110

