



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Bodenkunde auf chemisch-physikalischer Grundlage

Fleischer, Moritz

Berlin, 1922

B. Der Boden als Nährstoffbehälter für die Pflanzen.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-78696](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:466:1-78696)

nur in kleinem Umfang ausführbare Operationen sind die Maßnahmen, die auf eine *günstigere Gestaltung der Wasserverhältnisse*, also bei sehr kolloidreichen Böden auf eine Verringerung, bei kolloidarmen auf eine Verstärkung der Wasserkapazität gerichtet sind. Sie kommen hauptsächlich bei Moorböden in Frage. Dahin gehört in erster Linie eine zweckmäßige Wasserregelung und eine Verminderung der Bodenverdunstung, wie sie z. B. durch das Bedecken mitkörnigem Sande und die übrigen in § 91 besprochenen Maßregeln erzielt wird. (Näheres hierüber s. Kap. V unter Moorböden.)

B. Der Boden als Nährstoffbehälter für die Pflanzen.

§ 100.

Allgemeines. Die höhere Pflanze bedarf zur Erhaltung ihrer Lebensfähigkeit und zum Aufbau ihres Leibes gewisser Stoffe, die sie zum Teil aus der Luft durch ihre oberirdischen Organe, zum Teil vermöge ihrer Wurzeln aus dem Boden aufzunehmen hat. Die erstenen, die „Blattnährstoffe“, sind *Kohlendioxyd* („Kohlenäsüre“) und *Sauerstoff*, die in unerschöpflichen Mengen die atmosphärische Luft bietet¹⁾, die anderen, die „Wurzelnährstoffe“, sind neben *Wasser* und freiem *Sauerstoff*: *Stickstoff*, *Kalium*, *Calcium*, *Magnesium*, *Eisen*, *Schwefel* und *Phosphor*. Alle diese Stoffe sind für die Ernährung der höheren Pflanzen unentbehrlich. Jeder von ihnen hat im Pflanzenkörper bestimmte Aufgaben zu erfüllen, bei denen ihn kein anderer vertreten kann. Ist auch nur einer in unzureichender Menge vorhanden, so kann die Pflanze es nie zum vollen Ertrag bringen, selbst wenn ihr alle übrigen Nährstoffe im Übermaß zu Gebote stehen. Diese bereits von Carl Sprengel - Regenwalde erkannte Tatsache hatte J. von Liebig in dem nach ihm als das „Gesetz des Minimums“ genannten Lehrsatz zusammengefaßt: „Die Höhe des Ertrages eines Feldes steht im Verhältnis zu demjenigen, zur völligen Entwicklung der Pflanze unentbehrlichen Nährstoff, der im Boden in geeigneter Form und Beschaffenheit in kleinster Menge vorhanden ist.“

¹⁾ Gegenüber der üblichen Anschauung, wonach der Kohlensäure- (richtiger: Kohlendioxyd-) Gehalt der Luft zu reicher Versorgung der Pflanzen unter allen Umständen genüge, wird in neuerer Zeit besonders von Prof. Dr. Bornemann die Ansicht vertreten, daß man durch „Kohlensäuredüngung“, d. h. durch Vermehrung des Kohlensäuregehalts der im Bereich der Pflanzen befindlichen Luftsicht, also besonders durch Verstärkung der Kohlensäureerzeugung im Boden (Stallmist-, Kompost-, Moorerdezuhr, Gründung u. a.) oder auch mittels unmittelbarer Zuführung von Abfall-Kohlensäure die Pflanzenentwicklung erheblich fördern und die Ernterträge steigern könne. Wenn von anderen Forschern (Pfeiffer, v. Seelhorst, Lemmermann, Gerlach) auch die Tatsache selbst nicht in Abrede gestellt wird, so hält man diese doch noch nicht für genügend geklärt, um zu kostspieligen Einrichtungen raten zu können.

Wenn die Fassung dieses wichtigen Gesetzes später auf Anregung von A d. M a y e r , E. W o l l n y , Th. P f e i f f e r u. a. Erweiterungen erfahren hat, so konnte man sich mit Recht darauf berufen, daß die Erträge irgendeiner Kulturpflanze nicht nur von der Menge der vorhandenen Nährstoffe, sondern auch von der Gestaltung zahlreicher anderer „Wachstumsfaktoren“, z. B. von den Witterungsverhältnissen, von den den Pflanzen zufließenden Wärme- und Lichtmengen, von der mehr oder weniger sorgfältigen Bodenbearbeitung u. a. m. abhängen. Dementsprechend schlug A d. M a y e r die Fassung vor: „Die Höhe und die Güte des Ertrags eines Gewächses steigt und fällt mit der Menge desjenigen Wachstumsfaktors, der in geringster Menge zur Verfügung steht (wobei unter ‚geringst‘ nichts Absolutes, sondern ein Relatives zu verstehen ist: geringst im Verhältnis zu der Menge, welche von ihm erforderlich wäre, um zusammen mit den anderen einen gewissen Ertrag, zu dem diese anderen ausreichen, zu sichern).“

L i e b i g hat bei der Aufstellung des Gesetzes nur die Pflanzennährstoffe als denjenigen Wachstumsfaktor im Auge gehabt, den der Wirtschafter durch Verwendung der Einzelnährstoffe in den sog. künstlichen Düngemitteln am leichtesten regeln kann und dessen Wirkungen auch selbst dem theoretisch ungeschulten Landmann sowie auch dem Landwirtschaftsschüler am einleuchtendsten dargestellt werden kann¹⁾.

Neben den oben genannten Stoffen finden sich in allen unter gewöhnlichen Verhältnissen wachsenden Pflanzen größere oder geringere Mengen von Natrium, Aluminium, Chlor, Silicium. Ob diese Stoffe zum Gedeihen der Pflanze nötig sind, ist fraglich, da Untersuchungen ergeben haben, daß sehr viele Pflanzen auch ohne Anwesenheit jener Stoffe sich normal entwickeln können. Während der in der Bodenluft vorhandene Sauerstoff im freien Zustande von der Pflanze aufgenommen und für ihre Lebenstätigkeit nutzbar gemacht wird, können die übrigen namhaft gemachten Elemente ausschließlich in Form von Verbindungen den höheren Pflanzen als Nahrung dienen. Nur der *Stickstoff* macht scheinbar eine

¹⁾ Gerade für diese Persönlichkeiten ist es wichtig, durch Gleichnisse, sinnbildliche Vorführungen (Zeichnungen, Modelle, graphische Darstellungen u. dgl.) das Zwingende des Gesetzes, seine innere Notwendigkeit unter möglichster Vermeidung alles Gekünstelten und alles irrtümliche Vorstellung Erweckenden zu veranschaulichen. Zu dem Zweck hat die Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft im Jahre 1910 ein Preisausschreiben für die beste Ausführung einer solchen sinnbildlichen Darstellung erlassen, wobei auch dem Einfluß der übrigen Wachstumsfaktoren Rechnung getragen werden sollte. Es hat zwar nicht zu einer vollkommenen Lösung der gestellten Aufgabe, so doch zu einer großen Anzahl von anregenden Einfällen geführt. (S. darüber den übersichtlichen Bericht von Prof. M. H o f f m a n n , Das Gesetz vom Minimum, Arbeiten der D. Landw.-Ges., Sonderabdruck 1913.)

Ausnahme insofern, als die zur Familie der Leguminosen gehörigen Pflanzen imstande sind, stickstoffhaltige Pflanzenstoffe zu bilden, selbst wenn ihnen der Stickstoff nur in unverbundener Form zu Gebote steht. Wie früher dargelegt wurde, verdanken sie diese Fähigkeit der Vergesellschaftung mit einem Spaltpilz (§ 55), der den freien Stickstoff der Luft in Verbindungen überführen und mit diesen die mit ihm zusammenlebenden Pflanzen versorgen kann. Zur Ernährung der höheren Pflanzen sind Kalium, Calcium, Magnesium, Schwefel und Phosphor in Form von Karbonaten, Silikaten, Phosphaten, Nitraten, Sulfaten, Chloriden geeignet, Humate werden wahrscheinlich vor der Aufnahme in Karbonate umgewandelt; zur Versorgung mit Stickstoff dienen salpetersaure und Ammoniumsalze¹⁾ und solche Stoffe, die bei ihrer Zersetzung im Boden jene Verbindungen liefern (humose Substanzen, Stalldung, Knochenmehl u. a.). Manche der genannten notwendigen Pflanzennährstoffe sind in vielen Böden in so geringer Menge enthalten, daß zur Erzeugung befriedigender Ernten ihre Zufuhr von außen her (z. B. durch die Düngung) erfolgen muß. Wir werden daher im folgenden nicht nur den natürlichen Gehalt des Bodens an wichtigen Stoffen, sondern auch sein Verhalten gegen die zur Vervollständigung seines Nährstoffvorrates künstlich zugeführten Substanzen zu betrachten haben.

§ 101.

Die chemische Zusammensetzung des Bodens. Der Boden setzt sich aus den Bestandteilen der an seiner Bildung beteiligten Gesteine, soweit sie nicht durch Wasser oder Wind fortgeführt wurden, den von außen her aus der Atmosphäre und durch die Düngung in ihn gelangten festen Stoffen, den Resten des tierischen und pflanzlichen Lebens, das sich in ihm abgespielt hat, dem Bodenwasser mit den darin gelösten festen und luftförmigen Stoffen und der Bodenluft zusammen; er besteht mithin aus einem Gemenge von festen, und zwar von unorganischen (mineralischen) und organischen Stoffen, Wasser und Luftparten.

Über die Bodenluft, ihre Zusammensetzung und ihre Bedeutung für den Pflanzenwuchs ist das Nötige bereits oben (§ 93) besprochen worden.

§ 102.

Die festen Bestandteile umfassen die oben genannten, für den Pflanzenwuchs unentbehrlichen und andere Stoffe, die zwar für die Pflanzenernährung nicht notwendig zu sein scheinen, aber gewisse wichtige Boden-

¹⁾ Ob die Ammoniumverbindungen unmittelbar von den Pflanzen als Nährstoff verwendet werden, ist eine noch offene, aber wahrscheinlich mit „ja“ zu beantwortende Frage.

eigenschaften beeinflussen. Daß die festen Bodenbestandteile in den verschiedenen Böden in äußerst wechselnden Verhältnissen vertreten sind, kann bei der Verschiedenartigkeit der Muttergesteine und der Mannigfaltigkeit der Bodenentstehungsbedingungen nicht wundernehmen. Die folgende Übersicht, die das Ergebnis einer Reihe von Bodenanalysen wiedergibt, läßt die großen Unterschiede in der Zusammensetzung verschiedener Bodenarten deutlich erkennen.

Tabelle I.

In 100 Teilen trockenen Bodens wurden gefunden:

	Mineralböden				Humus- boden (humoser Ton- boden ⁵⁾	Moorböden		
	Sandboden ¹⁾	Lehm- boden ²⁾	Tonboden ³⁾	Kalkboden ⁴⁾		Hochmoor- boden ⁶⁾	Niederungs- moorböden ⁶⁾	Übergangs- moorböden ⁶⁾
Organische Stoffe	3,04 ⁷⁾	4,63 ⁷⁾	8,54	12,06	21,40	93,29	84,18	89,09
Stickstoff:	0,12	?	0,26	0,25	0,78	1,30	3,35	2,00
Mineralstoffe	96,96	95,37	91,46	87,94	78,60	6,71	15,82	10,91
Kali (K_2O)	0,04	1,06	2,60	0,85	1,96	0,05	0,06	0,06
Natron (Na_2O)	0,03	0,37	1,17	0,22	1,16	0,05	0,04	0,08
Kalk (CaO)	0,17	2,86	5,97	29,96	1,91	0,23	4,06	1,17
Magnesia (MgO)	0,14	0,88	2,22	0,48	1,71	0,23	0,25	0,19
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	0,74	5,20	4,60	1,16	4,11	} 0,60	4,68	2,45
Tonerde (Al_2O_3)	1,06	7,04	15,12	6,82	15,20			
Kieselerde (SiO_2)	92,50	76,14	54,53	25,44	52,23	5,24	5,63	6,01
Schwefelsäure (SO_3)	0,01	0,01	0,17	0,10	0,01	0,20	0,87	0,33
Phosphorsäure (P_2O_5)	0,03	0,18	0,20	0,22	0,20	0,08	0,29	0,20
Kohlendioxyd (CO_2)	0	1,63	4,63	23,54	0,03	0	0	0
Chlor (Cl)	?	?	0,11	—	Spur	Spur	Spur	Spur

§ 103.

Die vorstehenden Zahlen spiegeln zwar die verschiedenartige Zusammensetzung der festen Masse verschiedenartiger Böden wieder, geben aber kein richtiges Bild von den Stoffmengen, die in einem *bestimmten*

¹⁾ Ritthausen nach Knop, Lehrbuch der Agrikulturchemie, Leipzig 1868.

²⁾ Diluviallehm (E. Ramann).

³⁾ Wesermarschboden (Moor-Versuchsstation).

⁴⁾ Weißer Jura-Kalkboden (E. v. Wolff).

⁵⁾ Russische Schwarzerde (Tschernosjom, C. Schmidt).

⁶⁾ Moor-Versuchsstation.

⁷⁾ Darunter etwas chemisch gebundenes Wasser.

Bodenvolum den Pflanzen geboten werden. Um hierüber Kunde zu erlangen, muß man das *Volumgewicht* der verschiedenen Böden kennen, d. h. wissen, wieviel Trockenmasse unter gewöhnlichen Verhältnissen in einem gewissen Raumteil Boden durchschnittlich enthalten ist¹⁾. Bei einem dem Pflanzenwuchs zusagenden Feuchtigkeitsgehalt enthält 1 cbm an festen Stoffen:

Sand- boden	Lehm- boden	Ton- boden	Kalk- boden	Humoser Tonboden	Hochmoor- boden	Niederungs- moorboden	Übergangs- moorbeden
etwa: 1500	1200	1000	800	600	120	250	175 kg
Wasser- gehalt: 10 %	20 %	35 %	20 %	40 %	70 %	65 %	68 %.

Aus diesen Daten und den Zahlen der vorstehenden Tabelle berechnet sich der „absolute“ Gehalt der verschiedenen Böden an wichtigeren Stoffen wie folgt.?

T a b e l l e II.

1 cbm Boden enthält bei seinem durchschnittlichen Feuchtigkeitsgehalt:

	Mineralische Böden				Humus- boden humus- reicher Tonboden	Moorböden		
	Sand- boden	Lehm- boden	Ton- boden	Kalk- boden		Hoch- moor- boden	Niede- rungs- moor- boden	Über- gangs- moor- boden
	kg	kg	kg	kg		kg	kg	kg
Organische Stoffe .	46	56	85	96	128	112	210	156
Stickstoff	1,8	?	2,6	2,0	4,7	1,6	8,4	3,5
Mineralstoffe	145,4	1144	915	704	472	8	40	19,0
Kali	0,6	12,7	26,0	6,8	11,8	0,06	0,15	0,1
Kalk	2,6	34,3	59,7	239,7	11,6	0,2	10,2	2,1
Phosphorsäure . .	0,5	2,2	2,0	1,8	1,2	0,1	0,7	0,3

§ 104.

Die Zahlen der vorstehenden Tabelle berechtigen zu den folgenden, für alle Böden gültigen Schlußfolgerungen: Unter den festen Bodenbestandteilen überwiegt zwar bei den eigentlichen Moorböden die Menge

¹⁾ Unter „Volumgewicht des Bodens“ versteht man gewöhnlich das Gewicht eines Raumteils des *völlig trocknen* oder auch des *lufttrocknen* Bodens im Verhältnis zu dem Gewicht eines gleichen Raumteils reinen Wassers (von 4° C.). Da hierbei auch die Kontraktion, die manche Böden beim Austrocknen erleiden (§ 84), unberücksichtigt bleibt, ein Rückschluß aus dem Ergebnis der Ermittelung auf die unter natürlichen Verhältnissen, im feuchten Boden, vorhandene Trockenmasse also nicht möglich ist, so erscheint es zweckmäßiger, als Raumgewicht das Gewicht der festen Stoffe anzunehmen, die ein gewisses Bodenvolum bei einem den natürlichen Verhältnissen entsprechenden durchschnittlichen Wassergehalt enthält.

der *organischen Stoffe* weit den Humusgehalt der *mineralischen* Böden (Tab. I), indessen bringt es das geringe Volumgewicht der ersteren mit sich, daß die in einem bestimmten Bodenraum enthaltenen Mengen an organischen Stoffen bei manchen Mineralböden hinter dem Gehalt mancher Moorböden (Hochmoorböden) kaum zurückstehen, ja in humusreichem Mineralboden den letzteren übertreffen können (s. o. Tab. II). Der *absolute* Gehalt an *Stickstoff*, der bei allen Böden fast ausschließlich als ein Teil der humosen Stoffe anzusehen ist, kann im Hochmoorboden sogar weit geringer sein als in den stark humosen mineralischen Bodenarten¹⁾.

Wie Tabelle I erkennen läßt, herrschen bei allen Böden ohne Ausnahme unter den mineralischen Stoffen *Silicium-* und *Aluminiumverbindungen*, bei einigen auch Verbindungen von *Eisen* und *Calcium* vor, während der Gehalt an *Kalium*-, *Magnesium*-, *Schwefelsäure*- und *Phosphorsäuresalzen* weit geringer ist. Hinsichtlich des prozentischen wie des absoluten Gehaltes an notwendigen Pflanzennährstoffen zeigen die verschiedenen Bodenarten die auffälligsten Unterschiede. (Man vergleiche den *Kaligehalt* der Moorböden mit dem der mineralischen, den *Kali*- und *Kalkgehalt* des Sandbodens mit dem der übrigen Mineralböden, den *Phosphorsäuregehalt* des Hochmoorbodens mit dem Gehalt des Niederungsmoores und der reicherem Mineralböden usw.)

§ 105.

Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit nach der chemischen Zusammensetzung. Die durch die Gesamtanalyse eines Bodens ermittelten Zahlen, wie sie die vorstehenden Tabellen enthalten, geben wohl Aufschluß über seinen Gehalt an den für die Ernährung der Kulturpflanzen nötigen Stoffen, nicht aber darüber, ob deren Menge ausreicht, um das Bedürfnis einer reichen Ernte zu decken. Zwar läßt sich unschwer feststellen, wieviel Stickstoff, Kali, Phosphor, Kalk usw. die verschiedenen Pflanzen aufnehmen müssen, um zu reichlicher Produktion befähigt zu werden, aber es entzieht sich in den meisten Fällen unserer Kenntnis, wie weit sie imstande sind, die im Boden vorhandenen Nährstoffmengen zu ihren Zwecken nutzbar zu machen; denn die Stoffaufnahme durch die Pflanzen hängt nicht bloß von den vorhandenen *Stoffmengen*, sondern auch von

¹⁾ Diese bei oberflächlicher Beurteilung des Bodengehalts auf Grund der chemischen Analyse allermeist überschene Tatsache klärt es auf, warum die meisten Hochmoorböden trotz des hohen prozentischen Stickstoffgehalts ihrer festen Masse zur Hervorbringung einer befriedigenden Ernte der Stickstoffzufuhr im Dünger bedürfen, die bei den Niederungsmooren gewöhnlich nicht nötig ist.

der mechanischen Beschaffenheit der Bodenteilchen¹⁾ und ganz besonders von dem Löslichkeitszustand der vorhandenen Pflanzennährstoffe ab. Die Pflanzenwurzel ist befähigt, mit Hilfe der in ihr enthaltenen lösenden Agenzien (Säuren)²⁾ selbst schwerlösliche Bestandteile der in unmittelbare Berührung mit ihr gelangenden Bodenpartikel sich anzueignen; aber die hierbei stattfindende Nährstoffaufnahme ist insofern ungenügend, als die Wurzel auf dem Wege durch das Stoffgemenge, das wir „Boden“ nennen, doch immer nur auf eine beschränkte Anzahl von festen, zu ihrer Ernährung geeigneten Substanzen stößt. Die Ernährung kann daher allermeist nur dann eine vollständige sein, wenn auch der bewegliche, überall mit der Wurzel in Berührung kommende Bodenbestandteil, nämlich das Bodenwasser, die zur Speisung der Pflanzen nötigen Stoffe aufgelöst enthält.

Um über die Nährstoffmengen, die in den verschiedenen Böden den Pflanzen wirklich zur Verfügung stehen, den Aufschluß zu erhalten, den die Gesamtanalyse des Bodens nicht gibt, ist man seit langer Zeit bemüht gewesen, Lösungsmittel ausfindig zu machen, die etwa dasselbe leisten wie die Pflanze selbst, also aus dem Boden die Nährstoffmengen in Lösung bringen, die für die Pflanzenwurzel unter günstigen Verhältnissen aufnehmbar sind. Das Ergebnis derartiger Versuche hat natürlich unter allen Umständen nur einen beschränkten Wert. Es läßt die Mitwirkung der Pflanzenwurzel an der Löslichmachung der festen Stoffe, mit denen sie in Berührung kommt, unberücksichtigt. Ferner sind die Mengen von

¹⁾ Diese ist in hohem Grade von der Art der bodenbildenden Gesteine abhängig. J. Dumont (Biedermann, Zentralbl., Bd. 34, 1905, S. 5 nach Compt. rend. 1904, t. 138, p. 215) fand in einer Ackererde von

Grignon	La Creuse
8,94 % Kali	8,53 % Kali.

Trotz des fast gleichen Kaligehaltes verhielten sich beide Böden gegen Kalidüngung ganz verschieden. Eine weitere Untersuchung zeigte, daß von dem vorhandenen Kali entfielen im Boden von

	Grignon	La Creuse
auf Feinsand und Ton	83,45 %	29,07 %,
auf Grobsand	16,55 %	70,93 %.

Dementsprechend verlangte der Boden von La Creuse eine Kalidüngung, der von Grignon nicht.

Es ist ferner klar, daß die Bodenbestandteile pflanzlicher Natur ihre mineralischen Nährstoffe der Vegetation um so ausgiebiger zur Verfügung stellen werden, je leichter zersetzlich und je mehr sie in der Zersetzung vorgeschritten sind.

²⁾ Neben Kohlensäure scheinen hier auch sog. Pflanzensäuren, wie Äpfelsäure, Weinsäure, Oxalsäure u. a., in Betracht zu kommen. Siehe ferner die Ausführungen über „physiologisch“ saure und alkalische Salze (S. 55), nach denen auch mineralische Salze innerhalb der Pflanzen freie Säuren abscheiden können.

Pflanzennährstoffen, die die verschiedenen Pflanzen in sich aufnehmen, sehr verschieden, sie hängen zum Teil von der Tiefe und Stärke ihrer Bewurzelung, zum Teil aber auch von dem jeder Pflanzengattung eigen-tümlichen, bei den verschiedenen Pflanzen verschieden großen Lösungs- und Aneignungsvermögen ab. Die natürliche Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen erstreckt sich über einen langen Zeitraum, innerhalb dessen die mannigfältigsten, in ihrem Verlauf wiederum von den verschieden-artigsten Verhältnissen (Temperatur, Bodenfeuchtigkeit, mechanischer Zu-sammensetzung des Bodens u. a. m.) abhängigen, die Löslichkeit der Bodenbestandteile beeinflussenden Vorgänge im Boden, Tätigkeit der Bodenbakterien, Bodenabsorption (s. u.) und -adsorption sich vollziehen, während die chemische Analyse immer nur die im *Augenblick der Unter-suchung* in irgendeinem Lösungsmittel löslichen Stoffmengen nachweist. Das Bestreben, durch ein Lösungsmittel — man hat dazu stark verdünnte Mineral- und Pflanzensäuren, ganz oder zum Teil gesättigte Kohlensäure-lösungen oder auch Lösungen von gewissen in den Pflanzen vorkommenden Salzen benutzt — den Vorrat an *verfügaren* Bodennährstoffen zu er-mitteln, zieht sich daher mehr und mehr auf den Versuch zurück, die Gesam menge derjenigen Nährstoffe zu bestimmen, welche in absehbarer Zeit für das Pflanzenwachstum nutzbar werden können.

Als ausgeschlossen muß es nach dem Gesagten jedenfalls erscheinen, auf rein chemischem Wege einen ziffermäßigen Ausdruck für die Gesamt-wirkung der mannigfaltigen Kräfte zu gewinnen, welche im Boden sowie auch in der Pflanzenwurzel auf die Erschließung und auf die Festlegung der Pflanzennährstoffe gerichtet sind, oder mit anderen Worten diejenigen Mengen an Pflanzennährstoffen zu ermitteln, welche der Boden selbst den jeweilig angebauten Pflanzen zur Erzeugung einer Maximalernte zur Ver-fügung stellt. Dagegen wird man an der Hoffnung festhalten dürfen, daß es der zielbewußten, d. h. auf erreichbare Ziele gerichteten agrikultur-chemischen Bodenforschung gelingen wird, die in einem Boden vorhandenen Nährstoffmengen nach ihrer größeren oder geringeren Zugänglichkeit quantitativ in Gruppen zu scheiden. Und auch damit wäre für die Be-messung der Düngung viel gewonnen. Die bisherigen, mit einem ge-waltigen Zeit-, Arbeits- und Kostenaufwand ausgeführten Untersuchungen auf diesem wichtigen Arbeitsgebiet haben zweifellos manche wichtige Fingerzeige gegeben. Sie legten die früher kaum gehafteten Schwierigkeiten¹⁾ klar, die sich der Bearbeitung des Problems entgegenstellen, und

¹⁾ Diese Schwierigkeiten beginnen bereits bei der Entnahme brauchbarer, d. h. den Durchschnittscharakter der zu untersuchenden Fläche darstellenden Bodenproben sowie bei der Abzweigung der verhältnismäßig kleinen Boden-mengen für die chemische Untersuchung. Zur Gewinnung eines Durchschnitt-musters ist bei den meisten Böden ein vorheriges Tröcknen des Bodens kaum

ihre Ergebnisse warnen vor übertriebenen Erwartungen. Sie würden vielleicht noch mehr erreicht haben, wenn man auf Grund der gesammelten Erfahrungen schon früher über einheitliche, bei der chemischen Bodenuntersuchung zu befolgende Methoden sich verständigt hätte.

Wesentlich einfacher als bei den mineralischen Böden liegen die Verhältnisse beim Moorböden. Wie in Kapitel II (Vorgänge bei der Bodenkultur) dargelegt wurde und im Kapitel V noch weiter besprochen werden wird, sind die mineralischen Böden aus zahlreichen, in ihrer Zusammensetzung sehr verschiedenen Gesteinsarten hervorgegangen. Je nachdem diese oder jene Verwitterungsvorgänge beim Zerfall des Gesteins zu Boden vorwogen, sind die Bestandteile der gebildeten Böden selbst bei den Gliedern einer und derselben Bodenklasse¹⁾ ganz verschiedener Art und ganz verschieden aufnahmefähig für die Pflanzenwurzeln. Schlüsse, die man aus dem Verhalten *eines* Sandbodens, *eines* Lehmbodens zieht, brauchen daher noch keineswegs für ein anderes Glied derselben Bodengruppe hinsichtlich seines Verhaltens zum Pflanzenwuchs, seines Düngerbedarfs Geltung zu haben. Dagegen sind die Moorböden ganz oder doch der Hauptsache nach aus Pflanzenmassen entstanden, deren Übergang in Boden unter weit gleichmäßigeren Verhältnissen erfolgt. Hier werden daher die Bestandteile des entstehenden Bodens im wesentlichen nur von der Art der beteiligten Pflanzen abhängig sein. Man wird daher von vornherein darauf rechnen dürfen, daß das Verhalten eines (aus Moosen und Heidekräutern entstandenen) Hochmoors, eines (hauptsächlich aus Gräsern entstandenen) Niederungsmoores auch maßgebend ist für das Verhalten eines anderen Hochmoors, eines anderen Niederungsmoores. Und in der Tat darf man sagen, daß es der neueren Moorforschung gelungen ist, die Mooranalyse zu einem zuverlässigen Mittel zur Bestimmung des Düngerbedarfs unserer Moorböden auszugestalten.

Übrigens darf nicht verschwiegen werden, daß auch die chemische Gesamtanalyse des Bodens, in Verbindung mit der Feststellung des Gehalts an feinsten Teilchen und der mineralogischen Beschaffenheit der größeren

zu vermeiden. Hierbei erleiden aber, wie unten (s. Bodenabsorption) dargelegt werden wird, wichtige Bestandteile (Stickstoff, Kali, Phosphorsäure u. a.) hinsichtlich ihrer Löslichkeit erhebliche Änderungen.

¹⁾ So kann z. B. ein Sandboden je nach seiner Entstehung aus hartem oder weichem, aus nährstoffarmem oder reichem Gestein, je nachdem die leichter aufnehmbaren Nährstoffverbindungen dem Boden erhalten blieben oder von Wasser oder Wind fortgeführt wurden, sich gegenüber dem Pflanzenwuchs ganz anders verhalten als ein anderer Sandboden, und ein Gleichtes gilt und vielleicht noch in höherem Grade für die Einzelglieder der übrigen Bodengruppen. Man denke nur an die Lehmböden oder auch an die Humusböden, die neben ihrem Humusgehalt beträchtliche und für das Verhalten der Pflanzen nicht selten ausschlaggebende Mengen von Sand, von Ton, von Kalk enthalten.

Gesteinstrümmer (größerer Quarz, Kalk, Phosphate, schwerer oder leichter verwitternde Silikate u. a. m.), nach mehr als einer Richtung schätzbare Anhaltspunkte für die Beurteilung des augenblicklichen und des dauernden Fruchtbarkeitszustandes mancher Bodenarten bietet. Sie belehrt darüber, ob man von einem Boden eine gewisse *Nachhaltigkeit* erwarten darf oder auf baldige *Erschöpfung* rechnen muß. Sie läßt ferner mit größter Sicherheit erkennen, ob gewisse, für die Pflanzen notwendige Stoffe in so geringer Menge vorhanden sind, daß sie, selbst wenn völlig aufnehmbar, für die Erzielung größerer Ernten nicht ausreichen. So ist leicht zu berechnen, daß der *Kali-* und allermeist auch der *Phosphorsäure*gehalt der *Moorböden*, bisweilen auch der *Sandböden*, nicht ausreichen würde, um normale Ernten weniger Jahre zu versorgen. Auch der durch die Analyse ermittelte *Kalk-* und *Stickstoff*gehalt der Sand- und Moorböden läßt in den allermeisten Fällen einen zuverlässigen Schluß zu, ob ihnen in der Düngung diese Stoffe zugeführt werden müssen oder nicht. Weit schwieriger liegen die Verhältnisse bei den *Ton-* und *Lehm böden*.

Nach den vorstehenden Erörterungen erscheint in den meisten Böden ein reiches Gedeihen der Pflanzen nur dann gesichert, wenn diese die notwendigen Nährstoffe nicht bloß in Form der festen Bodenbestandteile, sondern auch im Bodenwasser gelöst vorfinden. Der Gehalt der Bodenflüssigkeit an Pflanzennährstoffen steht aber in innigster Beziehung zu einer allen Böden in größerem oder geringerem Maß eigentümlichen Fähigkeit, gewisse im Bodenwasser gelöste Stoffe aus ihrer Lösung auszuscheiden und bis zu einem gewissen Grade festzulegen. Diese Fähigkeit nennt man das *Absorptionsvermögen* des Bodens. Sie ist auf Ursachen teils chemischer, teils physikalischer, teils chemisch-physikalischer Natur zurückzuführen.

§ 106.

Die Bodenabsorption. Läßt man durch einen Boden eine Lösung von Kaliumchlorid hindurchsickern, so wird ein Teil des Kaliums von ihm festgehalten; das ablaufende Wasser enthält den anderen Teil des zugeführten Kaliums, während das Chlor in ganzer Menge wiedererscheint, nun aber zu einem dem Kaliumdefizit entsprechenden Teil an ein anderes, aus dem Boden aufgenommenes Metall, z. B. an Natrium oder Calcium, gebunden ist. Diese Erscheinung bezeichnet man als *Bodenabsorption*. Das Absorptionsvermögen des Bodens macht sich, wie schon das obige Beispiel erkennen läßt, für verschiedene Stoffe in sehr verschiedenem Maße bemerklich. Im allgemeinen glaubt man annehmen zu dürfen, daß von den in Frage kommenden Stoffen *Phosphorsäure*, *Kalium* und *Ammonium* am stärksten, in geringerem Grade *Natrium*, noch schwächer *Calcium* und *Magnesium* und gar nicht oder fast nicht *Chlor*, *Schwefel*,

säure und Salpetersäure absorbiert werden. Am leichtesten verständlich ist die Absorption solcher Stoffe, die unmittelbar mit gewissen Bodenbestandteilen unlösliche oder schwerlösliche Verbindungen eingehen. Lösliche Phosphorsäuresalze finden im Boden Calcium- oder Eisenverbindungen mit denen sie sich zu schwerlöslichem Calciumphosphat oder Eisenphosphat umsetzen, das dann als fester Bodenbestandteil zurückbleibt. In ähnlicher Weise kann die Anwesenheit freier Humussäure, freier Kieselsäure (deren Vorkommen im Boden allerdings problematisch ist S. 31) auf die Abscheidung von gelöstem Kalium, Calcium, Magnesium u. a. in Form der schwerlöslichen Humate und Silikate hinwirken. Der größere Teil der Absorptionserscheinungen ist aber zweifellos auf verwickeltere Vorgänge, nämlich auf Wechselzersetzung der im Boden vorkommenden Doppelsilikate mit den im Bodenwasser gelösten Salzen, also auf Wirkungen zurückzuführen, die oben als „komplizierte Verwitterung“ bezeichnet und eingehender erörtert wurden (§ 50).

Insbesondere sind es die in der Feinerde der Böden enthaltenen wasserhaltigen, leicht zersetzbaren Doppelsilikate und unter diesen besonders die Zeolithe¹⁾, die mit den im Bodenwasser gelösten Verbindungen in Wechselwirkung treten, z. B. in der Weise, daß ein wasserhaltiges Natrium-Aluminumsilikat in Berührung mit gelöstem Kaliumsulfat gegen einen Teil seines Natriums Kalium eintauscht (also Kalium „absorbiert“), während das ausgetretene Natrium mit der frei gewordenen Schwefelsäure Natriumsulfat bildet und der Auswaschung durch das Bodenwasser verfällt („Basenaustausch“). So ist ferner eine Festlegung von Ammonium durch Calciumzeolith nachgewiesen worden (T. h. Pfeiffer und A. Einecke). Das Maß derartiger Umsetzungen und die Art der Endprodukte hängt, wie früher eingehend besprochen wurde, von der chemischen Affinität (Verwandtschaft) und der Menge der in Wirkung tretenden Stoffe, so namentlich auch des Wassers, ab. Sind die auf die festen Bodenbestandteile, z. B. auf den Zeolith, einwirkenden Salze in großen Wassermengen gelöst, so wirkt auch immer nur eine geringe Menge von Salzteilchen auf die festen Teile des Zeoliths ein, die Umsetzung vollzieht sich langsam, es kann ein großer Teil der absorptionsfähigen Stoffe durch das Bodenwasser aus dem Bereich des chemischen Vorganges entfernt, ja, wenn

¹⁾ S. S. 35 u. 41. In der Bodenkunde rechnet man gewöhnlich zu den „Zeolithen“ alle jene Doppelsilikate, denen eine besonders große Umsetzungsfähigkeit mit Salzen eigen ist (z. B. auch den Leucit). Daß diese Mineralien für die Absorptionserscheinungen von großer Bedeutung sind, geht besonders daraus hervor, daß die Böden mit hervorragendem Absorptionsvermögen besonders reich an Zeolithen sind, und daß die Absorptionskraft durch die Zerstörung des letzteren, durch Einwirkung von starken Säuren oder durch Glühen vernichtet, dagegen durch Zusatz gewisser Silikate erhöht werden kann.

sich die Wassermenge noch vermehrt, der bereits absorbierte Stoff mit den absorbierenden Bodenbestandteilen wieder in Lösung gebracht und ausgewaschen werden. Umgekehrt wird, falls die absorptionsfähigen Salze in *kleinen* Wassermengen gelöst sind, der Angriff auf die festen Bodenbestandteile ein energischer sein und die Absorption schnell erfolgen¹⁾.

§ 107.

Die soeben geschilderten Vorgänge lassen sich durchweg ungezwungen durch chemische Umsetzungen erklären, bei denen gewisse früher leicht bewegliche Stoffe in schwerlöslichen Verbindungen festgelegt werden. Andere Festlegungen erfolgen unter (Umständen, die die Wirkung chemischer Kräfte ausschließen. Es ist eine bekannte Tatsache, daß manche feste Körper, z. B. Holzkohle, Platin u. a., Gase in ihren Poren oder auch an ihrer äußeren Oberfläche verdichten und mit großer Energie festhalten. Tonsubstanzen saugen begierig Fette und Öle in sich auf. Tierische Kohle entzieht gefärbten Flüssigkeiten ihren Farbstoff. Auch bei diesen Erscheinungen kann man von Absorption sprechen. Aber sie wird hier nicht durch chemische Umsetzungen, sondern durch die Flächenanziehung hervorgerufen, die gewisse feste Stoffe auf andere luftförmige, flüssige oder feste Stoffe ausüben. Sie ist ausschließlich oder fast ausschließlich eine physikalische Erscheinung und zum überwiegenden Teil an jene Bodenbestandteile geknüpft, die man Bodenkolloide nennt und deren Eigenschaften eben besprochen worden sind (§ 84). Wie schon früher erwähnt wurde, bezeichnet man diese auf „Oberflächenenergie“ beruhenden Absorptionsvorgänge als *physikalische Absorption* oder nach einem Vorschlag von W. Ostwald als „*Adsorption*“. Als eine fast rein physikalische Wirkung²⁾ ist die Absorption des Wassers durch die Bodenkolloide anzusehen.

In § 84 ist das Festhaltungsvermögen kolloidreicher Böden für Wasser und das Nachlassen desselben bei Verlust der kolloidalen Eigenschaften

¹⁾ Mit diesen Erwägungen steht eine große Reihe von leicht zu beobachtenden Tatsachen in vollem Einklang. Die Menge der absorbierten Stoffe schwankt je nach den Mengen, in denen diese dem Boden zugeführt werden, und nach ihrer Verbindungsform. — Aus konzentrierten Lösungen werden größere Mengen absorptionsfähiger Stoffe durch den Boden zurückgehalten, als aus verdünnten. — Starke Regengüsse oder seitlich in den Boden eindringende Wassermassen können dem Boden große Mengen von bereits absorbierten Stoffen entziehen. — Bei Bewässerungsanlagen werden durch das Rieselwasser nicht selten größere Nährstoffmengen aus dem Boden ausgelaugt als zugeführt, wenn dasselbe an Nährstoffen selbst sehr arm ist (S. 173) u. a. m.

²⁾ *Chemisch* gebundenes Wasser ist für die Pflanzen belanglos, weil es von diesen nicht aufgenommen werden kann (s. auch die Anmerkung zu den Ausführungen über Einwirkung der Kalisalze auf die Spätfröste [S. 180].

eingehend besprochen worden. Aber die Kolloide können auch auf andere — luftförmige wie feste — Stoffe adsorptiv wirken. So werden nach Untersuchungen der *Moor-Versuchsstation* (Dr. A. König, Landw. Jahrb. 1881) von saurem, von Zeolithen völlig freiem Moostorf ansehnliche Mengen von Ammoniak festgelegt, wobei es sich nicht etwa um eine Umwandlung in eine schwerlösliche Verbindung handelt, da das Ammonium leicht löslich in Wasser ist.

Aus weiteren Untersuchungen der Moor-Versuchsstation geht hervor, daß Einwirkungen, durch welche die kolloidalen Eigenschaften abgeschwächt oder zerstört werden, gewisse, vorher den Pflanzen nicht zugängliche Nährstoffe in Freiheit setzen, so daß sie jetzt den Pflanzen zugute kommen können. So geben stickstoffreiche Moore nach dem Austrocknen weit mehr Stickstoff an schwache Lösungsmittel ab als im wasserhaltigen Zustand (Dr. Brunnemann, 2. Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation, 1886). Nicht gebrannte Hochmoorböden, die ohne Phosphorsäurezufuhr ganz unbefriedigende Ernten an Kartoffeln, Hafer, Gerste, Erbsen brachten, konnten eine Phosphorsäurezufuhr ganz entbehren, wenn sie ein oder zwei Jahre der Brennkultur (s. u. S. 221, Anm.) unterlegen hatten. (Fleischer, 3. Bericht der Arbeiten der Moor-Versuchsstation 1891). Daß hierbei nicht eine Überführung der zur Pflanzernährung untauglichen organischen Phosphorverbindungen (Lecithin, Nuklein) in aufnehmbare Phosphorsäuresalze in Frage kam, ging mit großer Deutlichkeit aus der Beobachtung von Br. Tacke¹⁾ hervor, daß eine gleiche Wirkung schon durch Austrocknen des Moores an der Luft, ja schon dadurch erzielt wurde, daß man durch Behandlung des Bodens mit Alkohol, Äther, Glyzerin ihm einen Teil seines Wassers entzog²⁾. Weiterhin wurde durch Tacke und H. Imendorff festgestellt, daß durch Trocknen von Heidemoor dessen Kalk, Magnesia, Kali in Wasser löslicher wurde¹⁾.

Auch auf mineralischen Böden hat man eine gleiche Wirkung der Abschwächung des kolloidalen Festhaltungsvermögens beobachtet. So berichtet J. Vanha³⁾, daß auf einem Boden, den man zur Zerstörung schädlicher Kleinlebewesen erhitzt hatte, die Ernten um so höher ausfielen, je stärker der Boden ausgetrocknet war.

Das auch bei uns in früheren Zeiten viel geübte „Rasenbrennen“ verfolgte nicht nur den Zweck, durch die Aschenbestandteile den wild-

¹⁾ Vierter Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation, Landw. Jahrbücher 1898, Ergänzungsband T.

²⁾ Die Beobachtungen über das Verhalten der Phosphorsäure dem Mooroden gegenüber sind besonders interessant, weil sie eine physikalische Bindung der Phosphorsäure nachweisen, während man bisher in der Absorption dieser Säure immer nur eine chemische Wirkung erblickt hatte.

³⁾ Österr.-ungar. Zeitschrift für Zuckerindustrie, Jahrg. 1901, S. 146.

wachsenden Pflanzen den Boden zu düngen, sondern auch die physikalischen Bodeneigenschaften günstiger zu gestalten¹⁾ (wohl hauptsächlich dadurch, daß die feste kolloidale Bindung notwendiger Nährstoffe gelockert wurde).

Es dürfte auch nicht zweifelhaft sein, daß die Wirkungen des *Frostes* auf Kolloide (s. S. 158), z. B. auf die Minderung ihrer Wasserkapazität, sich darin äußern werden, daß kolloidreiche Böden nach dem Gefrieren einen Teil der festgebundenen Pflanzennährstoffe nunmehr den Pflanzen zur Verfügung stellen.

Nach den vorstehenden Darlegungen kommen für die Festhaltung gewisser Stoffe im Boden bald chemische, bald physikalische Wirkungen in Frage. Daß dabei Absorption und Adsorption gleichzeitig oder unmittelbar aufeinander folgend beteiligt sein können, mag hier nur ange deutet werden. Die Erkenntnis der Tatsache stützt sich unter anderem auf Untersuchungen mit einem künstlich hergestellten zeolithartigen, amorphen Doppelsilikat, dem „*Calciumpermutoit*“²⁾, das sowohl durch chemischen Basenaustausch als durch seine kolloidalen Eigenschaften auf gewisse Stoffe bindend wirkt³⁾.

§ 108.

Bedeutung der Absorptions- und der Adsorptionsvorgänge. Das Absorptionsvermögen für gewisse wichtige Pflanzennährstoffe ist für den Haushalt des Bodens und in erster Linie für seine Aufgabe, den Pflanzen als Nährstoffbehälter zu dienen, von größter Bedeutung. Die Absorptionsvorgänge verhüten es, daß jene Nährstoffe, mögen sie von Natur im Boden enthalten sein und durch den unablässig fortschreitenden Verwitterungsprozeß löslich werden, oder mögen sie durch den Dünger in die Acker- und Wiesenerde gelangen, in ganzer Menge dem auswaschenden

¹⁾ Nach F. Arends, *Das Rasenbrennen*, Hannover 1826, nehmen die Tonböden infolge des Brennens eine „milde“, krümelige Beschaffenheit an und sind dann leichter als vorher zu bearbeiten. Auch auf den schwereren Tonböden der Eifel ist die „Schiffekultur“, ein Verfahren, wobei die flachgeschälte Pflanzendecke in kleinen Haufen über die Fläche verteilt und nach dem Abtrocknen verbrannt wurde, lange Zeit ausgeführt worden. Man wird überhaupt annehmen dürfen, daß das Brennen des Bodens in dieser oder jener Form eines der ältesten Mittel gewesen ist, um dem Boden Nahrung für Mensch und Tier abzugewinnen, und daß die „Brennkultur“ somit in der Entwicklungsgeschichte der Menschheit eine hochbedeutsame Rolle gespielt hat. (S. darüber Prof. Dr. Ed. Hahn, *Die Brandwirtschaft in der Bodenkultur*. — Nachrichten aus dem „Klub der Landwirte“ Berlin, Jahrg. 1910, S. 5052.)

²⁾ Zu Wasserreinigungszwecken von der Firma J. Riedel - Berlin nach Vorschlägen von R. Gans hergestellt und in den Handel gebracht.

³⁾ S. G. Wiegner, *Journ. f. Landw.*, 60. Bd., Jahrg. 1912, S. 111, 197.

Einfluß der atmosphärischen Niederschläge verfallen. Allerdings ist die Zugänglichkeit der absorbirten Stoffe für die Pflanzen erschwert, aber bei ihrer äußerst feinen Zerteilung durchaus nicht aufgehoben. Ihre Aufnahmefähigkeit liegt zwischen der der im Bodenwasser gelösten und der zunächst noch unlöslichen Bodenbestandteile. (S. darüber das unten Folgende.) Ferner üben sie auf die Konzentration der Bodenflüssigkeit eine regelnde Wirkung aus. Es ist festgestellt, daß Nährstofflösungen, die in 1000 Teilen Wasser mehr als wenige Teile gelöster Salze enthalten, das Gedeihen der Pflanzen unheilvoll beeinflussen. Je mehr aber infolge der Verdunstung der prozentische Gehalt des Bodenwassers an gelösten Nährstoffen steigt, um so energischer wird die Absorption, um so mehr wird durch die Bodenbestandteile festgelegt, also der Lösung entzogen¹⁾.

Aus der Bodenlösung nehmen die Pflanzen den größeren Teil ihrer Nahrung auf. Dadurch wird sie fortwährend verdünnt und somit fähig gemacht, die vorher absorbirten Stoffe wieder aufzulösen. Das Absorptionsvermögen übt mithin auf die *Verhinderung von Nährstoffverlusten* und auf die *gleichmäßige Ernährung* der Pflanzen den heilsamsten Einfluß aus.

Auf der anderen Seite kann sie einer *schnellen und reichen Versorgung* der Vegetation mit Nährstoffen im Wege stehen, weil die dem Boden in leichtlöslicher Form zugeführten Nährstoffe zunächst zur Sättigung des Bodenabsorptionsvermögens und erst in zweiter Linie zur Versorgung der Pflanzen verwendet werden. Nur so ist es zu erklären, daß nach längerer Unterlassung z. B. einer Kalidüngung Jahre vergehen können, ehe eine Kalizufuhr in der Entwicklung der Pflanzen sich bemerkbar macht. Diese Erscheinung läßt zugleich erkennen, daß die Wiederauflösung der absorbirten Nährstoffe eine gewisse Zeit erfordert und daher nicht immer in ausreichendem Maße gerade dann erfolgt, wenn die Pflanze nach besonders reicher Nahrung verlangt. Es ist daher von Wichtigkeit, daß die gleichen Wechselwirkungen, die die Absorption der Nährstoffe hervorrufen, die absorbirten Stoffe auch wieder in Lösung bringen können. Treten mit Zeolithen, die Kalium absorbiert hatten, *größere Mengen von*

¹⁾ Aus Versuchen, die E. R a m a n n (Bodenfragen, D. Landw. Presse, Jahrg. 1918, S. 29) neuerdings mit Silikaten anstellte, die er auf Lösungen mehrerer Salze einwirken ließ, und bei denen die entstehenden Endkörper durch die größere oder geringere Konzentration der Lösung nicht wesentlich beeinflußt wurden, glaubt der Versuchsansteller schließen zu müssen, daß der Boden die Konzentration der Lösung nicht beeinflußt, daß daher die vielfach gemachte Annahme, wonach die Absorption hohen Salzkonzentrationen in der Bodenlösung entgegenwirke, fallen müsse. Es erscheint mir fraglich, ob diese Versuche, bei denen es sich hauptsächlich um chemische Absorption unter Ausschluß fast aller die Bodenadsorption beeinflussender Bodenbestandteile handelt, maßgebend für das Stoffgemisch sind, aus dem der Boden besteht.

Natrium-, Calcium-, Magnesiumverbindungen (Karbonate, Sulfate, Nitrate, Chloride) in Wechselwirkung, so erfolgt nach dem Gesetz der Massenwirkung und den übrigen früher erörterten Gesetzen wieder ein Austausch der Metalle in der Weise, daß ein Teil des Kaliums wieder in Lösung übergeführt und durch ein in überwiegender Menge vorhandenes Metall ersetzt wird.

Einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe, die *Salpetersäure*, unterliegt nicht der Bodenabsorption. Daher kommt es, daß einerseits die Zufuhr von leichtlöslichen Nitraten zu stickstoffbedürftigen Pflanzen eine auffällig schnelle Wirkung ausübt, und daß anderseits die von den Pflanzen nicht aufgenommene Salpetersäure sehr bald dem auswaschenden Einfluß des Bodenwassers verfallen kann.

Der bei der Festlegung der Nährstoffe am wenigsten beteiligte Bodenbestandteil ist der Quarzsand (SiO_2), falls er nicht infolge äußerst feiner Zerkleinerung kolloidale Eigenschaften besitzt (§ 84 S. 153). Für die *chemische* Absorption wichtig sind besonders Eiser- und Kalkverbindungen sowie die Silikate, die ersten wegen ihres Bindungsvermögens für Phosphorsäure, die Silikate, und unter ihnen besonders die Zeolithe, weil sie durch Austausch ihres Calcium- und Natriumgehalts gegen Kalium ein Auswaschen der leichtlöslichen Kaliumverbindungen verhindern¹⁾. Die *physikalische* Absorption wird dagegen hauptsächlich durch die Bodenkolloide: Eisenhydroxyd, Aluminiumhydroxyd, amorphe Kieselsäure und Silikate, tonige und humusartige Stoffe veranlaßt. Hieraus geht hervor, daß ein schwaches Absorptionsvermögen den sandreichen, ein stärkeres den Ton-, Lehm-, Humus- und Moorböden zukommt. Die Kalk- und Mergelböden zeigen zwar gegenüber der Phosphorsäure starke Absorptionskraft, dagegen können ihre Calciumverbindungen durch Massenwirkung lösend auf das Kalium wirken. Bei den Niederungsmooren wirkt sowohl die chemische wie die physikalische Absorption bindend, dagegen kommt bei den an Mineralstoffen armen Hochmooren wesentlich nur die Absorption in Frage. Daß diese für die Pflanzenversorgung eine sehr bedeutsame Rolle spielt, zeigen die aufgeführten Beispiele, und es ist anzunehmen, daß die neuere Bodenforschung den Adsorptionsvorgängen und ihren wichtigsten Trägern, den Kolloidstoffen, eine höhere physiologische Bedeutung zuerkennen wird, als dies in einzelnen bodenkundlichen Lehrbüchern bisher geschieht.

Nach den vorangegangenen Erörterungen ist wohl kaum noch die Erklärung nötig, daß es sich bei der Absorption nicht um eine absolute Fest-

¹⁾ Nicht vollständig! Bei großem Kalkgehalt des Bodens oder durch Zufuhr größerer Kalkmengen kann durch Massenwirkung der Kalk das Kali wieder austreiben.

legung der Pflanzennährstoffe, um einen vollen Schutz gegen das Auswaschen durch Regen und Bodenwasser handelt. Dieses wird nur erschwert. Ist doch die Tatsache wohlbekannt, daß bei Bewässerungsanlagen durch sehr armes Rieselwasser größere, vorher absorbierte Nährstoffmengen dem Boden entzogen werden können, als ihm vom Wasser zugeführt wurden.

§ 109.

Beeinflussung der Bodenabsorption und der Adsorption durch menschliches Eingreifen. Wie die Ausführungen über die Bodenabsorption erkennen lassen, ist die Festlegung der Nährstoffe im Boden ein sehr verwickelter, bald durch chemische, bald durch physikalische Wirkungen hervorgerufener und durch beide bald in gleicher, bald in entgegengesetzter Richtung¹⁾ beeinflußter Vorgang. Obwohl noch längst nicht alle einschlägigen Erscheinungen restlos aufgeklärt sind, ist es doch der neueren Boden- und besonders der Kolloidforschung gelungen, sie so weit aufzuhellen, daß man heute imstande ist, je nachdem es not tut, die Absorptionskraft des Bodens zu steigern oder sie abzuschwächen. Als eine fördernde, insbesondere für Sandböden geeignete Maßnahme kommt das Aufbringen tonreicher Stoffe (Lehm-, Tonmergel, Seeschlick), ferner von humusreichen und humusbildenden Mitteln (Stalldung, Gründüngungspflanzen, Moerde in Betracht. Mäßigend können je nach den vorliegenden Verhältnissen Natrium- und Calciumverbindungen (Kochsalz, Natronsalpeter, Gips²⁾ wirken. Daß ferner Maßnahmen, die auf die Zerstörung der Bodenkolloide gerichtet sind (Moorbrennen, Schiffeln toniger Böden, vielleicht auch die Begünstigung der Frostwirkung), die adsorptiv gebundenen Nährstoffe beweglich und für die Pflanzen aufnehmbar machen, haben die früheren Erörterungen dargetan.

§ 110.

Die Bodenuntersuchung. Bodenreaktion. Prüfung auf einzelne Bodenbestandteile. Von einer eingehenden Besprechung der bewährten Methoden zur chemischen Bodenanalyse muß hier abgesehen werden. Zuverlässige Ergebnisse bei quantitativen Ermittlungen der Bodenbestandteile wird nur der Landwirt oder Kulturtechniker erzielen können, der, ausgestattet mit den nötigen chemischen Kenntnissen und dem chemischen Handwerk-

¹⁾ Ich erinnere hier bloß an die teils festlegende, teils lösende Wirkung der Calciumverbindungen.

²⁾ Soweit diese Substanzen nicht einen für die Pflanzen notwendigen Nährstoff zuführen sollen, bezeichnet man sie der lösenden Wirkung wegen, die sie auf die im Boden vorhandenen Pflanzennährstoffe ausüben, als *indirekte Düngemittel*.

zeug, sehr viel Zeit für die Untersuchungen zur Verfügung hat. Über die besten Arbeitsmethoden wird er u. a. in den Lehrbüchern von J. König¹⁾, F. Wahnschaffe¹⁾, C. Böhme¹⁾ sich unterrichten können. Immerhin lassen sich auch ohne besondere chemische Schulung über manche für das Verhalten der Kulturpflanzen wichtige Bodeneigenschaften durch einfache Mittel wertvolle Aufschlüsse erlangen. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu machen, sollen die folgenden Ausführungen auch dem Nichtchemiker einige Hinweise geben.

Die Bodenreaktion. Seit langer Zeit schreibt man dem „sauren“ Boden einen ungünstigen Einfluß auf die Kulturpflanzen zu, und nicht selten liegt dieser Bezeichnung²⁾ wirklich ein Gehalt des Bodens an freien Säuren zugrunde. So wissen wir, daß unsere Hochmoore sowie die meisten Sandheiden reich sind an freien Humussäuren (S. 108)³⁾, und man hat auch gelernt, deren schädlichen Einfluß durch Aufbringen von Kalk oder Mergel zu bekämpfen⁴⁾.

Auch die ungünstigen Eigenschaften der sogenannten Alkaliböden (S. 146 Anm. 4), wie sie in großem Umfang in den trockenen Landstrichen Ungarns, Rußlands, Asiens, Nordamerikas vorkommen, sind längst bekannt. Zum großen Teil sind die Erscheinungen der Bodensäure und Bodenalkalität erst durch die neuere Bodenforschung aufgeklärt und auch in dem vorausgegangenen Teil dieses Buches besprochen worden. Man erinnere sich an die Spaltung, die mineralische Salze unter dem Einfluß von Humussäuren durch Massenwirkung erleiden, an das Auftreten von freier Schwefelsäure im Marschboden und im Untergrundssand von Niederungsmooren bei Zersetzung des Schwefelseiens durch Wasser und Luftsauerstoff, ferner an die Absorptionsvorgänge, bei denen Salze in freie Säuren und Basen zerlegt werden können⁵⁾. Auch durch Dissoziation (S. 55, 155) können Säuren und Basen in Freiheit gesetzt werden und die saure oder alkalische Reaktion des Bodens hervorrufen oder verstärken.

Ein gewisse Grenzen überschreitender Säuregehalt des Bodens beein-

¹⁾ Alle im Verlag von P. Parey-Berlin erschienen.

²⁾ Häufig will man damit nur den Zustand eines nassen, schlecht durchlüfteten Boden treffen.

³⁾ Diese, insbesondere von A. Baumann und E. Gully - München bestrittene Tatsache ist durch die Arbeiten der Moor-Versuchsstation (Tacke, Süchtling, Densch, Arndt), ferner von A. Rindell, P. Ehrenberg, S. v. Oden u. a. wohl als durchaus sichergestellt anzusehen.

⁴⁾ Ob die freien Humussäuren unmittelbar oder nur dadurch schädlich wirken, daß sie aus anderen Salzen mineralische Säuren freimachen, ist noch fraglich.

⁵⁾ S. die Ausführungen über „physiologisch saure und alkalische Salze“ S. 55.

trächtigt sowohl unmittelbar die Kulturpflanzen¹⁾ als auch die Entwicklung der nützlichen Bodenbakterien und die Salpeterbildung. Andererseits rufen auch alkalisch reagierende Stoffe gewisse Pflanzenkrankheiten (u. a. die Dörrfleckenkrankheit bei Hafer und Roggen) hervor. Es erscheint daher zweckmäßig, beim Hervortreten unnormaler Erscheinungen den Boden auf seine Reaktion zu prüfen. Ein einfaches Mittel bieten gewisse Farbstoffe, die bei Gegenwart von sauren oder basischen Verbindungen ihre Farbe verändern. Da die an organischen Stoffen reichen Böden Kohlensäure entwickeln, so muß diese dem Pflanzenwuchs nicht schädliche, aber gleichfalls sauer reagierende Säure vor der Prüfung auf andere Säuren durch Erwärmung entfernt werden. Während man früher den bei Säurezusatz sich rötenden, bei Berührung mit alkalischen Stoffen blau werdenden Lackmusfarbstoff benutzte, hat Dr. H a s e n b ä u m e r - Münster ein Prüfungsverfahren ausgearbeitet, daß sich auf die Verwendung eines Anilinfarbstoffs, des Methylrots, stützt. Dieses wird bei stärkerem Säuregehalt lila, bei abnehmendem zinnoberrot — orange — gelb mit einem Stich ins Orange, schließlich bei neutraler oder alkalischer Reaktion rein gelb gefärbt²⁾.

Ebenso wichtig wie einfach ist die *Prüfung des Bodens auf das Vorhandensein von Karbonaten*, das eine saure, nicht aber eine alkalische Reaktion ausschließt. Sie kann durch Übergießen einer Probe des Bodens mit verdünnter Salzsäure erfolgen, wobei unter Aufbrausen das aus dem Karbonat sich entwickelnde Kohlendioxyd entweicht. Die größere oder geringere Stärke des Aufbrausens läßt auf einen größeren oder geringeren Gehalt an kohlensauren Salzen schließen. Ein Aufbrausen durch die ganze mit Säure benetzte Masse hindurch deutet auf eine gleichmäßige Verteilung des Karbonats. Ist dieses nur in größeren Teilchen dem Boden beigemengt, so findet das Aufbrausen auch nur stellenweise statt. Calciumkarbonat kann so mit Salzsäure schon in der Kälte, ja auch mit starkem Essig (verdünnter Essigsäure) nachgewiesen werden. Die Zersetzung von Magnesiumkarbonat und Dolomit erfolgt meist erst beim Erwärmen des mit Säure übergossenen Bodens. Hochmoorböden und meist auch Übergangsmoore sind frei von Karbonaten. Niederungsmoore enthalten solche nur, wenn sie mit Wiesenkalk oder Ferrokarbonat durch-

¹⁾ Nach Untersuchungen von J. Onodera - Japan schädigt ein Gehalt von 0,108 % Milchsäure, von 0,072 % Essigsäure, 0,046 % Ameisensäure in der das Keimbett (Sand) durchtränkenden Flüssigkeit die Keimfähigkeit der Samen von Rotklee, Gerste, Reis. Bei Salzsäure und Schwefelsäure trat die Schädigung bereits bei einem Gehalt von 0,036—0,049 % ein. S. darüber Stutzer, Mitt. d. D. Landw.-Ges. 1921, Nr. 5, S. 80.

²⁾ Über die Ausführung des Verfahrens s. Mitt. d. D. Landw.-Ges. 1921, Stück 5, S. 80.

setzt sind. Ihr Kalkgehalt ist zum größeren Teil an Humussäuren gebunden, kommt aber auf gut durchlüfteten Böden bei seiner allmählichen Umwandlung in Karbonat den Pflanzen zugute. Schnell erfolgt die Umwandlung beim Brennen einer Moorprobe, und so kann in der Torfasche ein Kalkgehalt gleichfalls durch Übergießen mit Säure nachgewiesen werden.

Die quantitative *chemische Untersuchung eines Moorböden*, deren große Bedeutung auf S. 189 besprochen wurde, kann natürlich nur von einer mit der chemischen Mooruntersuchung durchaus vertrauten Persönlichkeit ausgeführt werden. Jedoch wird auch der mit der Chemie auf gespanntem Fuß Stehende, aber mit einigen botanischen Kenntnissen Ausgestattete bald lernen, irgendein Moor der Gruppe der kalk- und stickstoffarmen Hochmoore oder der kalk- und stickstoffreichen Niederungs Moore zuzuweisen. (S. unter Kapitel V: Die Prüfung des Moorböden, worin auch auf das für den Laien leicht erkennbare *Vorhandensein größerer Mengen von Phosphaten* aufmerksam gemacht wird.)

Leicht auszuführen ist auch die *Prüfung auf das Vorkommen von Schwefeleisen* (S. 49) im Moorböden oder in dessen mineralischem Untergrund (Sand- oder Marschboden). Ohne chemische Hilfsmittel, durch einen einfachen Vegetationsversuch in folgender Weise: Der verdächtige Boden wird in kleine Blumentöpfchen gefüllt, diese mit einigen keimfähigen Haferkörnern besät und an einen luftigen hellen Ort gestellt. Die sich entwickelnden jungen Pflänzchen sind reichlich mit Feuchtigkeit zu versehen. Ist Schwefeleisen vorhanden, so geht dieses allmählich in Schwefelsäure und Ferrosulfat über. Die Pflanzen fangen an zu kränkeln und sterben ab. Zweckmäßig lässt man einen Versuch mit zweifellos giftfreiem Boden nebenherlaufen. Um zugleich die Wirkung des Gegenmittels zu prüfen, kann man zum Vergleich eine Probe des Bodens mit einer mäßigen Menge von gebranntem Kalk oder feinpulverigem Kalkmergel gründlich vermischen. Eine chemische Prüfung von Sand- oder Marschboden kann in der Weise vorgenommen werden, daß man eine Bodenprobe, die längere Zeit feuchter Luft ausgesetzt war, mit einer Messerspitze fein zerriebenen roten Blutlaugensalzes (Ferricyankalium, aus Drogenhandlungen zu ziehen) mischt und dann das Gemenge mit wenig Wasser durchfeuchtet. Die Anwesenheit von Ferrosulfat macht sich dann durch Blaufärbung der ganzen Masse oder durch das Auftreten blauer Punkte bemerklich. (Weiteres über die sehr empfindliche Reaktion s. o. S. 21).

§ 111.

Das Bodenwasser. Das in den Böden eindringende und dessen Hohlräume erfüllende Wasser bringt aus der atmosphärischen Luft die aus dieser aufgenommenen Gase und festen Stoffe mit. Da das Lösungs-

vermögen des Wassers für Kohlendioxyd weit größer ist als für Sauerstoff und für Sauerstoff größer als für Stickstoff, so ist das Verhältnis dieser drei Luftarten im Bodenwasser ein ganz anderes als in der Atmosphäre¹⁾. Infolge des Sauerstoffverbrauchs innerhalb des Bodens und der Kohlendioxydbildung bei der Oxydation der organischen Bodenbestandteile verschiebt es sich immer mehr zu ungunsten des Sauerstoff- und zugunsten des Kohlendioxydgehalts. Außer diesen gasförmigen Bestandteilen enthält das in den Boden eindringende Wasser stets etwas Ammoniak, das aus den Fäulnisvorgängen, die sich an der Erdoberfläche vollziehen, in die Atmosphäre gelangt, sowie salpetersaures und salpetrigsaures Ammonium. Die Menge dieser Stoffe ist sehr gering und sehr wechselnd²⁾. In Berührung mit den festen Bodenbestandteilen nimmt das Bodenwasser eine Reihe von Stoffen auf, deren Art und Menge im wesentlichen abhängig ist von der Beschaffenheit der ersteren, dem Gehalt des letzteren an Kohlendioxyd und von dem Mengenverhältnis, worin Wasser und Boden zueinander stehen. Über die Zusammensetzung des Bodenwassers sind wir deswegen im unklaren, weil es nur durch Zufuhr großer Wassermengen aus dem Boden sich herausdrängen lässt, hierbei aber infolge der Veränderung des Verhältnisses zwischen Wasser und festen und gelösten Bodenbestandteilen in seiner Zusammensetzung Veränderungen erleiden muß³⁾. Die Beschaffenheit des aus dem Boden fließenden Wassers, des „Sicker-“ oder „Dränwassers“, das nur bei einem Wasserüberschuß im Boden austritt, lässt daher nicht ohne weiteres auf den Gehalt der Bodenflüssigkeit unter normalen Verhältnissen, sondern höchstens darauf schließen, ob sie an diesem oder jenem Stoff hervorragend reich oder arm ist.

§ 112.

Das Sicker- oder Dränwasser. Grundwasser. So wenig Aufschluß das aus den Böden absickernde Wasser über die Beschaffenheit des flüssigen Bodenbestandteils gibt (s. o.), so ist die Zusammensetzung der Dränwässer

¹⁾ Auf 100 Raumteile Sauerstoff kommen in der Atmosphäre . . . 378 Rtl. Stickstoff und ca. 0,15 Rtl. Kohlendioxyd in einem mit diesen Gas-

arten gesättigten Wasser 50 „ „ „ „ „ 3333 „ „

²⁾ Nach vielfachen Untersuchungen dürfte die jährlich auf 1 ha Bodenfläche in Form der genannten Stickstoffverbindungen gelangende Stickstoffmenge höchstens etwa 12 kg betragen.

³⁾ Mehr Sicherheit für richtige Schlußfolgerungen dürfte die Untersuchung des durch starken Druck auf den Boden erhaltenen „Preßsaftes“ bieten, wie ihn z. B. Ramanan benutzte. Versuche, durch Verdrängung des Bodenwassers mittels Paraffinöls die unveränderte Bodenflüssigkeit zu gewinnen (Dr. Wesselingk van Söchtern, Journ. f. Landw., Bd. 60, 1912, S. 369) scheinen keine Fortsetzung gefunden zu haben.

doch insofern von Wichtigkeit, als sie die Mengen von Nährstoffen beurteilen läßt, die durch das Wasser dem Boden entzogen werden, und als das Dränwasser unter Umständen dazu benutzt werden kann, um anderen Böden befruchtende Stoffe zuzuführen. Seine Beschaffenheit richtet sich unter sonst gleichen Verhältnissen nach der Art und Behandlung (Bodenbearbeitung, *Düngung*) des Bodens, dem es entstammt, und nach der Wassermenge, die darauf einwirkt. Dränwasser von Böden, die aus *sauen* Gesteinen (S. 60) entstammen, pflegen an *Kalium-* und *Natriumverbindungen* reich zu sein, während die aus *basischen* Gesteinen gebildeten Böden an *Calcium-* und *Magnesiumsalzen* reiche Wässer liefern. Die ersten nennt man (wegen ihres Verhaltens beim Waschen) „weiche“, die letzteren „harte“ Wässer¹⁾. Starke Düngung des Bodens mit Kalisalzen erhöht den Gehalt der Dränwasser an Calciumverbindungen sehr beträchtlich (Wechselzersetzung). (Bei Versuchen der *Moor-Versuchsstation*²⁾ vermehrte sich der Kalkgehalt des Sickerwassers bei Hochmoorboden um 64 kg, bei Niederungsmoor um 209 kg für je 100 kg des in der Düngung zugeführten Kalis.) Bei starkem Humusgehalt des Bodens ist das Sickerwasser braun gefärbt, falls die Humusstoffe sauer reagieren oder weiches Wasser auf sie einwirkt, gelblich oder farblos, wenn die Humusstoffe in Form von humussauren Salzen (Calciumhumat, Magnesiumhumat) vorhanden sind oder unter dem Einfluß von hartem Wasser stehen.

Ferner müssen die Stoffe, für die der Boden ein geringeres Absorptionsvermögen besitzt, im Sickerwasser reichlicher vertreten sein. Im allgemeinen wird dieses reicher an *Natrium-, Calcium-, Magnesiumverbindungen* als an *Kaliumverbindungen*. *Schwefelsäure* und *Chlor* werden in größeren Mengen dem Boden entzogen, die *Phosphorsäure* dagegen, die mit Calcium und Eisen schwerlösliche Salze bildet, bleibt im Boden zurück, und die Dränwasser sind fast stets sehr arm daran. Aus Böden, in denen die Bedingungen für Bildung von *Salpetersäure* günstig liegen, oder denen diese im Dünger zugeführt wird, laugen die Dränwasser große Mengen dieses wertvollen Stoffes aus, während das leicht absorbierbare Ammoniak (S. 190) nur in geringem Grade in das Dränwasser gelangt.

Höhere Bodentemperatur steigert den Gehalt der Sickerwässer an gewissen Stoffen, so an Nitraten infolge der verstärkten Salpetersäurebildung, an anderen Salzen, weil durch die vermehrte Kohlensäurebildung ein größerer Teil der Bodenbestandteile in Lösung gebracht wird.

¹⁾ Durch den Kalkgehalt des Wassers wird die aus fettsaurem Kalium oder Natrium bestehende, in heißem Wasser unter Aufschäumen leicht lösliche Seife in fettsaures Calcium („Kalkseife“) umgewandelt, die mit Wasser nicht schäumt, fast unlöslich und zum Waschen wenig tauglich ist.

²⁾ B. Tacke, IV. Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation.

In den allermeisten Fällen ist der Gehalt des Dränwassers an festen Stoffen sehr gering, er überschreitet nur selten ein Tausendstel der Wassermenge. Dennoch kann unter Umständen die durch das Dränwasser fortgeführte Menge an wichtigen Bodenbestandteilen sehr groß sein.

Nach Untersuchungen von v. Seelhorst, Kreydt und Wilm s verlor ein auf 1,25 m Tiefe dränierter Lehmboden in guter Kultur durch das abfließende Wasser auf ein Hektar und Jahr:

Stickstoff in Form

von Salpetersäure, salpetriger Säure und Ammoniak	Kali	Kalk	Magnesia	Schwefelsäure	Phosphorsäure (geschätzt zu etwa)
4,4 kg	8,4 kg	630 kg	140 kg	182 kg	2 kg.

An freiem Sauerstoff pflegen aus früher besprochenen Ursachen die Dränwasser ärmer, an Kohlendioxyd reicher zu sein als die mit der atmosphärischen Luft in Berührung befindlichen Wässer. Auch können sie unter Umständen pflanzenschädliches Schwefelwasserstoffgas enthalten. Falls die Sickerwässer zur Befeuchtung anderer Böden benutzt werden sollen, empfiehlt es sich daher, sie vorher längere Zeit mit dem atmosphärischen Sauerstoff in Berührung zu bringen, wobei ein großer Teil des Kohlendioxyds entweicht, der Schwefelwasserstoff zerstört¹⁾ und freier Sauerstoff aufgenommen wird (vgl. auch § 92).

Auf einem mit Pflanzen bestandenen Boden sind infolge der gesteigerten Verdunstung die Sickerwassermengen kleiner als auf dem nackten Boden, und es wird durch das abfließende Wasser dem bewachsenen Boden an Stoffen weniger entzogen als dem nackten, obwohl die aus dem ersten austretenden Lösungen unter Umständen konzentrierter sein können als die Sickerwässer des nicht bewachsenen Bodens²⁾.

Die folgende Tabelle gibt die Zusammensetzung einiger Dränwässer aus verschiedenen Bodenarten wieder.

¹⁾ Der Schwefelwasserstoff scheidet hierbei häufig freien Schwefel aus: $(H_2S + O = H_2O + S)$.

²⁾ Sehr deutlich wird dies durch Untersuchungen von Dr. J. Hanemann (Biedermanns Zentralbl. f. Agrikulturchemie, 31. Jahrg., 1902, S. 201) zur Anschauung gebracht. Aus 50 kg eines als calciumkarbonathaltiger Alluviallehm zu bezeichnenden Bodens traten an Sickerwasser und in diesem gelösten festen Stoffen (in Gramm) aus:

Boden	Sickerwasser	Gelöste Stoffe:							
		Kohlen-säure	Salpeter-säure	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Schwefel-säure	Chlor
Unbewachsen	7080	0,42	0,21	0,17	0,19	0,57	0,11	0,39	0,09
Bewachsen mit Klee . .	2650	0,24	0,09	0,05	0,05	0,38	0,05	0,20	0,05
Bewachsen mit Sommer- weizen	2041	0,22	0,01	0,04	0,04	0,28	0,05	0,17	0,07
Dabei waren enthalten in 100 000 Teilen des Sickerwassers:									
in dem unbewachsenen an festen Stoffen	46,4			53,0			50,7	Teile.	

Zusammensetzung einiger Dränwässer
(nach Wolff, Krocke, Moor-Versuchsstation).

In 100 000 Teilen Wasser waren enthalten:

Bodenart	Organische Stoffe	Kohlen-säure	Salpeter-säure	Mineral-stoffe	Kali	Natron	Kalk	Magnesia	Phosphor-säure	Schwefel-säure	Chlor	Kiesel-säure
Lehmiger Sand . . .	2,6	12,4	Spur	32,1	0,2	2,4	12,3	1,5	Spur	0,6	1,4	0,7
Tonboden auf Kalk-unterlage.	2,5	7,2	0,1	39,1	0,2	1,4	13,4	3,5	0	12,2	0,5	0,7
Niederungs - Moor-boden (stark mit Kainit gedüngt) .	22,9	6,5	17,0	130,1	6,3	15,8	43,3	2,9	0,1	33,8	24,2	2,2
Hochmoorboden. . .	11,4	0,2	0,3	12,4	1,2	2,3	2,9	0,4	0,02	2,5	1,3	2,1

Daß die *Menge* des von einer bestimmten Fläche ablaufenden Sickerwassers nicht nur von deren Umfang sowie von der Größe der Niederschläge und der seitlich zuströmenden Wassermengen, sondern auch von der natürlichen Beschaffenheit des Bodens und der Art seiner Behandlung abhängt, geht unmittelbar aus den früheren Darlegungen über Boden und Wasser hervor. Soweit das auf die Fläche gelangende Wasser nicht (bei geneigter Lage) abfließt, dient es zu einem beträchtlichen Teil dem Wasserbedarf der Pflanzen, ein anderer Teil wird durch die Wasserkapazität des Bodens festgelegt, ein dritter Teil fällt der Verdunstung von der Bodenoberfläche anheim. Der Rest ist das *Sickerwasser*. Je kräftiger die Pflanzenentwicklung auf irgendeinem Boden, je größer dessen Wasserkapazität, je mächtiger die wasserhaltende Bodenschicht ist, um so weniger Wasser sickert ab. Auf einem flachgründigen, pflanzenlosen, mit geringer Wasserdurchlässigkeit ausgestattetem Boden werden die Sickerwassermengen steigen, und alle Umstände, die die Verdunstung verringern (Lockern der oberen Bodenschicht, Bedecken des Bodens mit Stoffen von schwacher Haarröhrchenkraft u. a.) werden in gleicher Richtung wirken.

Zum *Grundwasser* wird das Sickerwasser, wenn es sich auf undurchlässigen Boden- oder Gesteinsschichten ansammelt. Sind diese geneigt, so gerät das Grundwasser in Fluß („Grundwasserstrom“). In waldigem oder gebirgigem Gelände tritt es stellenweise als Quellen zutage, bildet Teiche und Seen, welche die Flüsse speisen oder auch von Flusswasser gespeist werden können. Das Grundwasser muß ferner eintreten, um die gewaltigen Wassermengen zu ersetzen, die der Pflanzenwuchs dem Boden entzieht¹⁾, und eine der wichtigsten Aufgaben des Kulturtechnikers ist es daher, durch geeignete Maßnahmen eine zu starke Senkung des Grundwasserspiegels zu verhindern.

¹⁾ Vergl. die Untersuchung von E. Krüger, S. 165.