



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Bodenkunde auf chemisch-physikalischer Grundlage

Fleischer, Moritz

Berlin, 1922

A. Die physikalischen Bodeneigenschaften.

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

Viertes Kapitel.

Die Eigenschaften des Bodens und ihre Beeinflussung durch menschliches Eingreifen.

Nach der Begriffsbestimmung des Bodens (s. die Einleitung) soll er den Kulturpflanzen einen zusagenden Stand und die mineralischen Stoffe bieten, deren sie zu ihrer Ernährung bedürfen. Der Kulturwert eines Bodens wird also durch seinen Gehalt an Pflanzennährstoffen und durch das stärkere oder schwächere Vorhandensein gewisser Eigenschaften bedingt, die den Pflanzen erst die Nährstoffaufnahme und das Wachstum ermöglichen. Als „physikalische“ Eigenschaften lassen sie sich kurz bezeichnen.

A. Die physikalischen Bodeneigenschaften.

§ 78.

Allgemeines. Auch der an Nährstoffen reichste Boden sichert den Pflanzen kein freudiges Gedeihen, wenn er nicht zugleich andere für das Pflanzenwachstum notwendige Bedingungen erfüllt. Um der Pflanze einen genügend *festen Stand* zu gewähren, muß er so tiefgründig und locker sein, daß die Pflanzenwurzeln bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich verbreiten können; zugleich ist ein gewisser Zusammenhang der Bodenteilchen nötig, um ihr Fortwehen und das Umfallen der Pflanzen zu verhindern. Dabei darf der Zusammenhang der Bodenteilchen nicht so dicht sein, daß er die *Durchlüftung* des Bodens, das Eindringen der atmosphärischen Luft und das Auftreten pflanzenschädlicher Bestandteile der Bodenluft stört. Die Bodenbeschaffenheit muß ferner der Bewegung des *Bodenwassers* nach oben, nach unten und nach den Seiten günstig sein, ohne ein zu schnelles Abfließen nach der Tiefe oder den Seiten hin hervorzurufen. Sie muß endlich eine *Erwärmung* des Bodens auf ein für das Pflanzenwachstum günstiges Maß ermöglichen. Alle diese Eigenschaften werden nur zum kleineren Teil durch die chemische Zusammensetzung der Bodengemengteile, in weit höherem Grade durch deren mechanische Beschaffenheit und das Mengenverhältnis beeinflusst, in dem sie zueinander stehen.

§ 79.

Die festen Gemengteile des Bodens. Sieht man vom Bodenwasser und der Bodenluft ab, so kann man den Boden als ein mechanisches Ge-

menge von *grandigen*, *sandigen*, *tonhaltigen* und *organischen* Stoffen¹⁾ betrachten, die man gewöhnlich als „Bodenkonstituenten“ oder „Bodenelemente“ bezeichnet. *Grand* und *Sand* nennt man die gröberen Gemengteile, die in Wasser schnell zu Boden sinken und meist überwiegend aus Kieselerde (Quarz) bestehen, aber häufig auch zahlreiche, weniger oder mehr zersetzte Gesteins- und Mineraltrümmer, wie Granit, Kalkstein, Kreide, Feldspat, Glimmer u. a., enthalten und so über den Ursprung, das geologische Alter, die geognostische Zugehörigkeit²⁾ des Bodens Auskunft geben. Die Teile mit mehr als 2 mm Korngröße rechnet man zum Grand, die kleineren, aber noch mehr als 0,05 mm Korngröße besitzenden zum Sand. Die letzteren teilt man in Unterabteilungen von

2—1 mm, 1—0,5 mm, 0,5—0,2 mm, 0,2—0,1 mm, 0,1—0,05 mm Korngröße. Unter *tonhaltigen* Stoffen werden die feinkörnigsten Bodengemengteile verstanden, die in Wasser sich lange schwebend erhalten und dadurch von den grobkörnigen Teilen leicht „abgeschlämmt“ werden können. Die tonhaltigen Stoffe (auch „Rohton“) bestehen der Hauptsache nach aus den letzten Verwitterungsprodukten der Mineralien, nämlich aus Ton und feinzerriebenem Quarz (Quarzmehl), enthalten aber fast immer noch größere oder geringere Beimengungen von Eisenoxyd und von weniger verwitterten Mineralien, namentlich von wasserhaltigen Silikaten (Zeolithen), also von den Stoffen, die für das Absorptionsvermögen der Böden von hervorragendem Einfluß sind (s. u.). Man trennt bei den Untersuchungen der Geologischen Landesanstalt die tonhaltigen Teile noch weiter in „Staub“ mit einer Korngröße von 0,05—0,01 mm und in „Feinstes“ unter 0,01 mm Korngröße. Die *humosen Stoffe* bestehen hauptsächlich aus pflanzlichen, zu einem Teil aber auch aus tierischen Resten in den verschiedensten Zersetzungsstadien (§ 58). Der Gehalt eines Bodens an humosen Stoffen entspricht etwa dem Gewichtsverlust, den völlig trockener Boden beim Glühen erleidet. Zur Ermittlung des Gehalts an sandigen und tonhaltigen Gemengteilen dient:

§ 80.

Die mechanische Bodenanalyse. Durch Siebe von verschiedener Lochweite werden zunächst die grobkörnigeren Bestandteile von den feinkörnigeren abgetrennt³⁾. Die gröberen Bodenpartikel werden wohl als

¹⁾ Auch den der Hauptsache nach aus pflanzlichen Stoffen bestehenden Moorböden sind fast ausnahmslos sandige und tonhaltige Stoffe infolge von Überwehungen oder Überschwemmungen beigemengt.

²⁾ So wird man z. B. den Sandboden des norddeutschen Flachlandes bei Anwesenheit nordischer Gesteinstrümmer ohne weiteres der Quartärformation, bei ihrer Abwesenheit hingegen einer älteren Formation zurechnen dürfen.

³⁾ Die Unterscheidung der Böden nach der Korngröße ihrer Bestandteile, soweit diese durch die Siebmethode ermittelt wird, ist, wie leicht einzusehen

das „Skelett“ des Bodens, die feinkörnigeren Bodenteile als „Feinerde“¹⁾ bezeichnet. Das Bodenskelett kann man wieder, je nach der Größe seiner Bestandteile, in „größere Steine“, „Kies“, „Grobsand“ einteilen. Soweit die Siebe zur weiteren Zerlegung der feinkörnigeren Bodenbestandteile nicht mehr ausreichen, bedient man sich der *Schlämmanalyse*. In Nachahmung der Naturvorgänge, die eine Scheidung der durch das Wasser verschwemmten Gesteinstrümmer je nach ihrer Größe, ihrer Form und ihrem spezifischen Gewicht herbeiführen (S. 78), benutzt man zur Scheidung der sandigen und tonhaltigen Stoffe das Wasser. In *stehendem Wasser* senken sich die darin verteilten Bodenteilchen um so schneller zu Boden, je gröber sie sind. Durch einen *aufsteigenden Wasserstrom* werden die kleineren Teilchen leichter gehoben als die schwereren. Man kann daher das ruhige wie das bewegte Wasser zu einer mechanischen Zerlegung des Bodens in feinere und gröbere Partikel verwenden²⁾. Besonders mittels

und wie es besonders von A. Mitscherlich (Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 2. Aufl., S. 46) nachgewiesen wurde, insofern mit Fehlern behaftet, als der Durchgang der Bodenkörner durch ein Sieb sehr wesentlich durch deren *Form* beeinflusst wird. Diese ist eben bei Böden verschiedener Herkunft sehr verschieden. Daher kommt es, daß beim Absieben verschiedener Bodenarten durch gleiche Siebe Teilchen von verschiedener mittlerer Größe durch das Sieb hindurchgehen (Mitscherlich). Immerhin kann das Verfahren zur Kennzeichnung von Böden mit extremen Korngrößen gute Dienste tun.

¹⁾ Hinsichtlich der Bezeichnung der Bodenteile von verschiedener Korngröße herrscht bis jetzt keine Einmütigkeit, und namentlich wird der Ausdruck „Feinerde“ bald für die Bodenteilchen gebraucht, die ein 0,25-mm-Sieb, bald für solche, die ein 2- oder 3-mm-Sieb passieren. Am zweckmäßigsten dürfte es sein, ihn und die übrigen hier aufgeführten Bezeichnungen fallen zu lassen und allgemein die von der Preußischen Geologischen Landesanstalt bei ihrem großartigen Kartierungswerk benutzten (§ 74 ff.), S. 134 mitgeteilten Unterscheidungen einzuführen.

²⁾ Zur Ausführung der Schlämmanalyse in stehendem Wasser dienen „Schlammzylinder“ (nach K n o p, J. K ü h n u. a.) oder „Schlammflaschen“ (nach v. B e n n i g s e n - F ö r d e r), aus denen man entweder die nach einer bestimmten Zeit noch im Wasser schwebenden Bodenteilchen von den sich absetzenden gröberen Teilen abgießt, oder in denen man, nach längerem Stehenlassen, die Schichten mißt, worin die verschiedenen Bodenpartikel je nach ihrer Korngröße sich abgesetzt haben. Auf dem anderen Prinzip (bewegtes Wasser) beruht u. a. der auch seitens der Königl. Preußischen Geologischen Landesanstalt benutzte S c h ö n e'sche Schlammapparat, mittels dessen man die bei verschiedener Stromgeschwindigkeit aufgeschlämmten Bodenpartikel getrennt aufammelt. (Je geringer die Wassergeschwindigkeit, um so kleiner sind die Bodenteilchen, die dadurch aufgeschlämmt werden.) — Die Schlammgeschwindigkeit der im Wasser schwebenden Stoffe hängt nicht bloß von ihrer Korngröße, sondern auch von ihrem spezifischen Gewicht und ihrer Form ab. Es besitzen daher die bei derselben Stromgeschwindigkeit schwebend gehaltenen Bodenteilchen, d. h. Bodenteilchen „von gleichem hydraulischen Wert“, bei verschiedenem Gewicht und bei verschiedener Form auch verschiedene Korngröße. Bei den Angaben

des letzteren gelingt es, mit großer Sicherheit in Bodenproben die vorhandenen Mengen von tonhaltigen und feiner- und gröbersandigen Bestandteilen zu ermitteln. Ihre Art und GröÙe sowie die Menge und Beschaffenheit der gleichfalls leicht zu bestimmenden Humusstoffe sind von größtem Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften des Bodens, zunächst auf seine *Lagerungsverhältnisse*.

§ 81.

Lagerung, Struktur, Kohärenz. Die Lagerungsweise der einzelnen Bodenteilchen („Bodenelemente“), m. a. W. die „Struktur“ oder das Gefüge des Bodens ist verschieden, je nachdem die *einzelnen* Teilchen gleich wenig oder gleich fest aneinander gebunden sind („Einzelkornstruktur“), oder immer eine kleinere oder größere Anzahl von Bodenteilchen sich untereinander zu kleinen Haufwerken (Krümeln, Flocken) fester miteinander *verbunden* hat (Krümelstruktur). Sandboden wie Tonboden können Einzelkornstruktur aufweisen. Im ersteren liegen die einzelnen Sandkörner (wenn sie trocken sind) lose, ohne jeden Zusammenhang, nebeneinander, im letzteren halten sich die Tonteilchen mit einer beträchtlichen Anziehungskraft aneinander gefesselt, die der mechanischen Trennung einen Widerstand entgegensetzt¹⁾ und die man „Kohärenz“ nennt. Bei beiden Bodenarten kann die Einzelkornstruktur in Krümelstruktur übergehen; bei der ersteren, wenn die Bodenelemente durch bindende Stoffe (Ton, Kieselsäure, Humus, Kalk oder auch durch Wasser) zu Krümchen verkittet werden, bei den letzteren dadurch, daß auf irgendeine Weise der gleichmäßige Zusammenhang der Masse gelockert und die Bildung einzelner in sich fester gefügter, aber lose *nebeneinander* liegender Bodenteilchengruppen herbeigeführt wird. Hierdurch wird also die Kohärenz oder „Bindigkeit“ des Sandbodens *vermehrt*, die des Tonbodens *vermindert*. Die Überführung der Einzelkorn- in die Krümelstruktur ist für die landwirtschaftliche Verwertung des Bodens von hoher Bedeutung; daß sie seine Luft- und Wasserverhältnisse günstiger gestaltet und dadurch die Zugänglichkeit seines Nährstoffvorrats steigert, wird weiter unten erörtert

des Schöne'schen Schlämmapparates versteht man unter „Schlämmprodukten von dieser oder jener Korngröße“ solche Körner, die runden Quarzkörnern desselben Durchmessers hydraulisch gleichwertig sind.

¹⁾ Je nach der Zähigkeit, mit der die einzelnen Bodenteilchen aneinander haften, und die allermeist auch in der Zähigkeit ihres Anhaftens an Holz und Eisen sich ausspricht, unterscheidet der Landwirt zwischen „schweren“ oder „strengen“ (d. h. schwer zu bearbeitenden) und „leichten“ (leicht zu bearbeitenden) Böden, wobei allerdings an die Bezeichnung „schwer“ zugleich die Annahme eines größeren, an die Bezeichnung „leicht“ die eines geringeren Reichtums an den für die Pflanzenentwicklung wichtigen Stoffen geknüpft wird.

Fleischer, Die Bodenkunde. 5. Aufl.

10

werden. Ein Boden mit Krümelstruktur erleichtert infolge des Vorhandenseins größerer Hohlräume das Eindringen und das Wachstum der Pflanzenwurzeln und die Bearbeitung mit landwirtschaftlichen Werkzeugen ¹⁾. Sie verhindert ferner die Krustenbildung und das Rissigwerden der tonreichen Böden (s. unter Volumveränderung, S. 158). Auf die Krümelbildung wirken insbesondere die folgenden Umstände ein. Von ungünstigem Einfluß sind heftige Platzregen und Hagelfälle, die die gebildeten Krümel zerstören, den Boden „verschlämmen“. Schon die Durchfeuchtung der Krümel erhöht die Verschiebbarkeit von deren Bestandteilen, so daß der an sich nicht starke Druck der auffallenden Regentropfen genügt, um sie zum Verfallen zu bringen (Ramann).

Sehr verwickelt und nicht immer leicht verständlich ist die Wirkung gewisser, als Düngemittel verwandter Verbindungen auf die Krümelung. Einerseits ist es eine längst bekannte Tatsache, daß die Anwesenheit von Calciumoxyd und Calciumkarbonat das Bodengefüge günstig beeinflusst. So zeigten vergleichende Versuche, daß bei Zumischung von Kalk oder Mergel zum Boden eine Raumvergrößerung eintritt, der Boden also aufquillt oder lockerer wird, ein Erfolg, der nur durch Krümelbildung aus den feinen, vorher dicht aneinander gelagerten Bodenteilchen erklärt werden kann. Nach E. Hilgard ²⁾ trocknet Ton oder Tonboden, mit Wasser angeknetet, zu einer steinharten Masse aus, dagegen ist derselbe Ton, mit 0,5—1 % Calciumoxyd angerührt nach dem Austrocknen ein lockerer, leicht zerfallender Körper.

Andererseits haben zahlreiche Erfahrungen uns belehrt, daß gewisse Salze, wie Natronsalpeter und Kochsalz, äußerst ungünstig auf die mechanische Bodenbeschaffenheit einwirken können. Bei einseitiger reichlicher Düngung mit Chilisalpeter gingen nach Adolph Mayer ³⁾ die zuerst sehr gesteigerten Ernten stark zurück, und der tonreiche Boden geriet in einen höchst ungünstigen mechanischen Zustand (übergroße Bindigkeit, sehr dichte Lagerung und Verkrustung).

Sehr wahrscheinlich ist diese üble Nachwirkung wenigstens zum Teil auf das Entstehen von Natriumkarbonat (Soda) zurückzuführen, indem vom Natriumnitrat des Chilesalpeters die Salpetersäure durch die Pflanzen aufgenommen und das zurückbleibende Natrium durch die Boden-Kohlensäure in Karbonat übergeführt wird ⁴⁾.

¹⁾ Der vorteilhafte Einfluß, den nach dieser Richtung hin eine die Krümelung fördernde Bodenbehandlung ausübt, läßt sich leicht mit Hilfe der jetzt üblichen „Zugkraftmesser“ bei den in Frage kommenden Bodenbearbeitungsgeräten nachweisen.

²⁾ R. Sachse's Lehrbuch der Agrikulturchemie, S. 228.

³⁾ Forschungen auf dem Gebiet der Agrikulturphysik, Jahrg. 1879, S. 373.

⁴⁾ Die verderbliche Wirkung der leichtlöslichen Alkalikarbonate wurde zuerst auf den insbesondere in warmen trockenen Gegenden auftretenden „Alkaliböden“

Desgleichen wirkt erfahrungsgemäß ein hoher Gehalt von Chlornatrium vernichtend auf die Krümelkonstruktion, was besonders nach Überflutung tonreicher Böden mit kochsalzhaltigem Wasser hervortritt. Zur Erklärung kann unter anderen Ursachen die Umwandlung des die Bodenteilchen zu Krümeln verkittenden Calciumhumats in leichtlösliches, der Auswaschung verfallendes Calciumchlorid herangezogen werden (Ehrenberg). Handelt es sich um Überschwemmung mit Meerwasser, so pflegt die Schädigung nicht sofort, sondern erst nach längerer Zeit, etwa im zweiten Jahre, nämlich dann einzutreten, wenn der größere Teil der Seesalze aus dem Boden ausgetreten ist. Besonders kennzeichnend für diese Vorgänge ist das Verhalten der durch Eindeichung („Einpolderung“) der Schlickabsätze an der deutschen Nordwestküste gewonnenen Marschbodenflächen (S. 72 und 79). In den ersten Jahren weisen diese Böden eine ausgezeichnete Krümelstruktur auf, ganz im Gegensatz zu den aus Süßwasser abgesetzten „Auetonböden“. Wie bereits früher erwähnt wurde und gelegentlich der Besprechung der Kolloide (s. u.) noch eingehender erörtert werden muß, sind es hauptsächlich die Sulfate und Chloride des Meereswassers, welche die vom Flußwasser mitgeführten tonreichen Schwebestoffe zur Ausflockung bringen. Solange als sie der abgesetzten Bodenmasse verbleiben, behält diese ihre lockere krümelige Beschaffenheit. Wenn sie aber — die besonders leichtlöslichen Kalium- und Magnesiumsulfate und Chloride zuerst — durch die atmosphärischen Niederschläge ausgewaschen sind, und das schwer lösliche Natriumchlorid prozentisch sich angehäuft hat, dann erfolgt mit der Zerstörung der Krümel eine bis zur Verkrustung sich steigernde Dichtlagerung der Bodenteilchen¹⁾, und zwar besonders schnell, wenn durch unvorsichtige Bodenbearbeitung die verschlammende Kraft des Wassers noch gefördert wird.

Günstig beeinflußt wird die Krümelung eines tonreichen Bodens durch das Eindringen, die Verbreitung und das Wachstum der Pflanzenwurzeln und durch das Graben und Wühlen der im Boden lebenden Tiere.

Die Einwirkung der Regenwürmer auf die Lagerung des Bodens ist insbesondere von Darwin eindrucksvoll beleuchtet worden. Sie wirken nicht nur durch ihre grabende Tätigkeit, sondern auch dadurch auf die Krümelbildung hin, daß sie mit ihrer Nahrung große Mengen von mine-

(„Sodaböden“) erkannt. Solche Böden können Auswitterungen mit einem Sodagehalt von über 90 % aufweisen. Schon geringe Beimengungen des Salzes zum Boden verhindern die Krümelbildung vollständig. Zudem veranlassen sie die Bildung harter, ortsteinähnlicher Bodenschichten.

¹⁾ Bei der Anlage von Rimpauschen Moordammkulturen benutzt man diese Wirkung bisweilen zum Schutz feinkörnigen Decksandes vor dem Verwehen. Bei rechtzeitigem Aufstreuen größerer Mengen Kainit überzieht sich die Sanddecke mit einer dünnen Kruste, die sie längere Zeit vor dem Fortwehen schützt.

ralischen Bodenbestandteilen aufnehmen und mit ihren Ausscheidungen in ausgezeichneter Krümelform zurücklassen. Nach Darwin besteht die Krume unserer guten Äcker hauptsächlich aus Regenwurmausscheidungen. Auch auf gut entwässerten Moorwiesen kann man diese Beobachtung nicht selten bestätigt finden. Nach Beobachtungen eines englischen Regierungsbeamten im Tal des Weißen Nils in der Umgebung von Kartum¹⁾ berechnete sich, daß die obere 60 cm starke Bodenschicht innerhalb eines Zeitraums von 25 Jahren den Leib des Regenwurms durchwandert hatte. In einer Nacht wurden auf 1 qm 200—550—550—750 g Auswurfsmasse festgestellt, das würde bei 550 g Auswurf 5500 kg je Hektar ergeben. Der Berichterstatter glaubt die fabelhafte Erzeugungskraft der Tropen der viel größeren Zahl und lebhafteren Tätigkeit der Regenwürmer zuschreiben zu sollen.

Nach A. Orth vermag der Regenwurm auch die durch Eisenhydroxyd verklebten Schichten des Untergrunds wieder zu öffnen, so daß die Pflanzen eindringen können. „Die Pflanzen gehen den Wurmröhren gern nach. In Ton- und Lehm Böden ist der Regenwurm ein wesentliches Hilfsmittel sowohl für die Entwässerung als für das Tiefenwachstum der Wurzeln.“

Von anderen Insekten tragen wohl noch die Ameisen und manche Käfer zur Krümelung des Bodens bei. Unter den höheren Tieren übt der Maulwurf eine heilsame Wirkung auf die Bodenumlagerung aus.

Über den förderlichen Einfluß des Frostes wird bei der hier folgenden Besprechung der Kolloide berichtet werden. (Siehe auch dessen Wirkung auf die Krümelung des Seeschlicks S. 73.)

Daß unvorsichtiges menschliches Eingreifen die Krümelung erheblich stören kann, wurde bereits hervorgehoben. Im übrigen hat gerade die mechanische Beobachtung des Bodens mittels der üblichen landwirtschaftlichen Werkzeuge zum großen Teil den Zweck, die Krümelstruktur herbeizuführen. Er wird jedoch, insbesondere bei tonreichen Böden, verfehlt, wenn diese während der Bearbeitung sehr naß sind oder gleich nach der Bearbeitung viel Regen erhalten. Eine unvorsichtige Verstärkung der Ackerkrume („Tiefkultur“) durch Aufpflügen bindigen Untergrundbodens kann bei Eintritt starker Regengüsse eine Zerstörung der Krümelstruktur und eine unheilvolle Verkrustung der Oberfläche zur Folge haben. Von sehr günstigem Einfluß ist, wie bereits bemerkt, die Zufuhr von Kalk und Kalkmergel sowie von Gründüngungsmasse und von Stalldünger²⁾ zu

¹⁾ Mitt. der D. Landw.-Ges., Jahrg. 1912, S. 324 (daselbst nach Journ. d'Agricult. prat.)

²⁾ Die Zufuhr humusbildender Stoffe mildert durch das Eindringen der Humusteilchen in die leicht verklebende tonige Masse deren Kohärenz und schafft außerdem eine ständig fließende Quelle von Kohlensäure, die, wie wir auf S. 155 erfahren werden, das Zusammenflochten der Tonteilchen zu Krümeln fördert.

tonreichen Böden. Auch die Vermischung tonreichen Bodens mit grobem *Sand* ist geeignet, seine Kohärenz abzuschwächen. In gleicher Richtung wirkt der Anbau von Pflanzen mit stark entwickeltem Wurzelsystem (Klee). In sandreichen Böden wird man durch Aufbringen von humus- und von tonhaltigen Stoffen (z. B. von Tonmergel) auf eine *Verstärkung* der Kohärenz, also in diesem Fall gleichfalls auf die Krümelbildung günstig einwirken können.

§ 82.

Die „Bodengare“. Äußere Merkmale für einen „garen“¹⁾ Boden sind die folgenden:

Die Lagerung der Bodenteilchen ist weder zu dicht noch zu lose. Sie zeigt eine der Luft- und Wasserbewegung günstige Lockerheit, wie sie nur beim Krümelzustand möglich ist. Unzersetzte Pflanzenteile sind höchstens in geringer Menge vorhanden. Die Ernterückstände haben sich in einen die obere Bodenschicht gleichmäßig durchsetzenden und sie dunkel färbenden Humus umgewandelt. Der Boden zeigt einen eigentümlichen, kräftigen, besonders nach langer Winterruhe oder bei erquicklichem Regen nach anhaltender Trockenheit aufsteigenden („Erd-“) Geruch²⁾. Er besitzt eine gewisse Elastizität, setzt ähnlich wie ein weicher Teppich dem auftretenden Fuß einen Widerstand entgegen³⁾. Weder naß noch trocken besitzt er dauernd einen Feuchtigkeitsgrad, den der Landwirt „Bodenfrische“ nennt, und der einer angemessenen Durchlüftung günstig ist.

Daß dieser erstrebenswerte Bodenzustand, insbesondere die günstige Wasserregelung, die Durchlüftung, Humusbildung, Krümelung durch zweckmäßige mechanische Bodenbehandlung erheblich gefördert werden kann, wird im folgenden noch mehrfach erörtert werden, aber der landwirtschaftliche Schriftsteller A. v. Rosenberg-Lipinski⁴⁾ hat gewiß Recht mit seiner Äußerung, man könne eine künstliche Mischung

¹⁾ Die Bezeichnung „Gare“ hat wohl nichts — wie mehrere Forscher annehmen — mit dem Vorgang der Gärung zu tun. Sie drückt lediglich den Begriff des Garen, des Gebrauchsfertigen aus, so wie man von „garen“ Speisen, „garen“ Metallschmelzen spricht.

²⁾ Er rührt von einem Bakterium der *Cladothrix odorifera* oder *Aktynomices odorifer* her, das der Trockenheit und dem Frost widersteht, aber zu energischer Entwicklung gelangt und dabei einen würzigen Duftstoff absondert, wenn der warme Boden sich mit Feuchtigkeit sättigt.

³⁾ „En ordentlich afmeßt Land muß wie eine Decke von Sanft aussehen,“ sagt Inspektor Bräsig in Fritz Reuters „Stromtid“. — Man hat den weichen und dabei elastischen Zustand des garen Bodens nicht unpassend mit dem Verhalten eines unter dem Einfluß des Hefepilzes aufgegangenen Brotteigs verglichen, wenn auch dieses anderen Ursachen seine Entstehung verdankt als das „Aufgehen“ des garen Bodens.

⁴⁾ Der praktische Ackerbau, Breslau 1890.

der wertvollsten Bodenbestandteile bei günstigstem Feuchtigkeitsgehalt noch so gründlich mechanisch durcharbeiten, man werde, falls man nicht der Natur Zeit und Ruhe lasse, nie die Bodengare erzielen.

Nach unserer jetzigen Erkenntnis sind an der Hervorbringung der Bodengare sehr wesentlich die Bodenbakterien und die im Boden vorhandenen Klebstoffe (Kolloide) beteiligt. Als ein Mittel zu ihrer Herbeiführung dient dem Landwirt besonders auf tonreichen („schweren“, bindigen) Böden u. a. die *Brache*, bei der entweder unter Verzicht auf einen ganzen Jahresertrag der Anbau von Nutzpflanzen ganz unterbleibt („Vollbrache“ oder „Schwarzbrache“) oder das Land, etwa nach Umbruch der Weide oder des Kleeackers, ohne Sommerfrucht belassen oder nach Aberntung der Sommerfrucht den Winter über nur bearbeitet wird, aber unbestellt bleibt („Teilbrache“ oder „Halbbrache“).

Den Nutzen des Verfahrens sieht man in der Möglichkeit einer wirksamen Bekämpfung des Unkrautwuchses, in der Schonung des Bodenwassergehalts, in der die Verwitterung der Bodenbestandteile förderlichen starken Durchlüftung und in dem günstigen Einfluß von Durchlüftung und größerer Bodenruhe auf die Entwicklung der sauerstoffliebenden nützlichen Bodenbakterien.

Alle diese der Brache zugeschriebenen Wirkungen erscheinen durchaus einleuchtend. Auf dem längere Zeit brachliegenden Acker wird man der Wurzelunkräuter viel leichter Herr werden. Durch das wiederholte „Schälen“ werden die Samenunkräuter bald zum Auflaufen gebracht und ihre Vertilgung erleichtert. Der brachliegende Acker verliert weit weniger Wasser durch Verdunstung als der mit Nutzpflanzen bestandene (s. u.). Auch die bei der oberflächlichen Brachbearbeitung erfolgende Lockerung der Oberschicht setzt den kapillaren Aufstieg und damit die Verdunstung des Bodenwassers herab (s. u.). Daß mit dem wiederholten Lockern der obersten, leicht verhärtenden Bodenschicht auch die Durchlüftung und durch diese in Verbindung mit dem größeren Feuchtigkeitsgehalt die Umwandlung der Bodenbestandteile in lösliche Pflanzennährstoffe gefördert wird, liegt auf der Hand.

Diesen unbestreitbaren Vorteilen stehen jedoch manche Bedenken gegenüber: Lassen jene günstigen Folgen sich nicht auch durch weniger verlustreiche Maßnahmen erreichen? Wird nicht ein Teil der während der Brachhaltung löslich gewordenen Bodenbestandteile durch Auswaschen dem vegetationslosen Boden verlorengehen? ¹⁾ Jedenfalls ist man heute geneigt, die Brache nur als einen Notbehf anzusehen, der nur auf besonders schwierigen Böden seine Berechtigung hat.

¹⁾ S. darüber unten die Ausführungen über Sickerwasser (S. 201). Bei Gefäßversuchen von J. H a n a m a n n gab der nackte Boden im Durchschnitt viermal mehr salpetersaure Salze an das Sickerwasser ab als der mit Pflanzen bestandene.

§ 83.

Das Verhalten des Bodens zum Wasser. *Wasserkapazität, Adhäsion, Kohäsion, Imbibition.* Ist irgendein Boden bis an seine Oberfläche in Wasser eingetaucht, so entspricht die darin enthaltene Wassermenge — abgesehen von dem durch die Bodenbestandteile etwa chemisch gebundenen Wasser — der Größe der zwischen den festen Bodenteilchen vorhandenen Hohlräume, soweit sie nicht mit Luft erfüllt sind. Sinkt der Wasserstand, so fließt aus dem über den Wasserspiegel hinausragenden Boden nicht etwa das ganze die Bodenporen erfüllende Wasser ab. Vielmehr wird ein von der Beschaffenheit des Bodens und von der Tiefe der Wassersenkung abhängiger Teil des Bodenwassers zurückgehalten. Die Summe der hierbei tätigen Kräfte bezeichnet man als „wasserhaltende Kraft“ oder *Wasserkapazität* des Bodens. Ihre Größe mißt man an der Wassermenge, die 100 Gewichtsteile des trocken gedachten Bodens oder 100 Raumenteile Boden aufzuspeichern vermögen.

An der Festhaltung des Wassers beteiligen sich verschiedene durch die ältere und neuere Forschung mehr oder weniger klargestellte Kräfte.

Bei Berührung mit Wasser bedecken sich die festen Bodenteilchen mit einer sehr dünnen Wasserschicht („Benetzung“), die durch Flächenanziehung („Adhäsion“) sehr festgehalten wird und welche vermöge der dem Wasser selbst eigenen Anziehungskraft („Kohäsion“) weitere Wasserteilchen festhalten kann. Die Menge des so festgehaltenen Wassers hängt von der Größe der wirksamen Oberfläche ab. Bei vielen Bodenbestandteilen kommt als Oberfläche nur deren Außenseite in Betracht, bei porösen auch die Innenwände der Poren. Dagegen lassen viele aus dicht aneinander gelagerten Teilchen bestehenden Stoffe das Wasser in ihr Inneres eindringen („Imbibition“), wo es um so fester gehalten wird, je kleiner die festen Bodenteilchen, je größer also die Gesamtheit ihrer Oberflächen ist. Mit Rücksicht hierauf unterscheidet man (mit Mitscherlich) zwischen „äußerer“ und „innerer“ Oberfläche. Daß die letztere die erstere um so mehr überragen muß, je kleiner die einzelnen Bestandteile sind, bedarf keines Nachweises. Immerhin ist es für die nachfolgenden Betrachtungen von Belang, daß mit der Zerteilung irgend eines festen Körpers die Größe der Oberflächensummen steigt und mit der festeren Aneinanderlagerung der einzelnen Teilchen abnimmt.

Zu den Bodenbestandteilen, die durch Kleinheit ihrer festen Teilchen sich auszeichnen und daher eine hervorragende Flächenanziehung ausüben, gehört ein Körpergruppe, deren hohe Bedeutung für alle Naturreiche man erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit klar erkannt hat. Das sind die *Kolloide*. Erst das wissenschaftliche Eindringen in ihre Eigenschaften hat das Verständnis für zahlreiche Bodenvorgänge eröffnet.

§ 84.

Die Kolloide. Elektrische Dissoziation oder Ionisation. Kolloidale Lösungen. Die ältere Chemie teilte die chemischen Verbindungen in *Kristalloide* und *Kolloide*. Sie sah in den Kolloiden Körper, die nicht in Kristallform, sondern gestaltlos (amorph) auftreten, auch nicht wie die Kristalloide sich derartig in Flüssigkeiten lösen, daß sie mit diesen poröse Stoffe durchdringen, auch nicht oder doch nur äußerst langsam durch dünne Häute („Membrane“) tierischer oder pflanzlicher Herkunft hindurchtreten können. Ihren Namen verdanken sie einem Gliede dieser Körpergruppe, dem Leim (lateinisch colla).

Nach unserer heutigen physikalisch-chemischen Erkenntnis, die zwar durch die Kolloidforschung wesentlich gefördert worden ist, aber noch vieles ungeklärt läßt, erscheint die Annahme scharfer Grenzen zwischen Kristalloiden und Kolloiden nicht mehr zulässig. Vielmehr deuten zahlreiche Beobachtungen daraufhin, daß Eigenschaften, die man früher ausschließlich den Kolloiden zuschrieb, unter besonderen Verhältnissen sich auch bei den Kristalloiden zeigen, und daß auch die gewöhnlich als Kolloide auftretenden Stoffe, z. B. Eiweiß, Kristallform annehmen können. Hiernach ist man geneigt, in den Kolloiden nicht sowohl eine besondere Stoffgruppe als vielmehr einen besonderen Stoffzustand zu erblicken, wobei allerdings zu beachten ist, daß unter den meisten Verhältnissen, die als Kristalloide bezeichneten Stoffe ein kristalloides, die als Kolloide bezeichneten ein kolloidales Verhalten zeigen.

Zu den als Kolloide angesehenen Verbindungen gehören die meisten im gewöhnlichen Leben als Klebemittel verwendeten Stoffe, wie Leim, Stärkekleister, Dextrin, Arabisch-Gummi, Eiweißkörper u. a. Im Boden sind es hauptsächlich das Eisenhydroxyd, das Aluminiumhydroxyd (S. 50), die verschiedenen Kieselsäuren, manche wasserhaltige Silikate (S. 33), die insbesondere in ihrem Verhalten zum Wasser mit den soeben genannten Kolloiden große Ähnlichkeit zeigen (s. u.: „Kolloidale Lösungen“). Aber auch andere wichtige Bodenbestandteile, nämlich der Ton, die Humusstoffe, ferner die Bodenmasse der Moorböden, der Torf, besitzen so ausgeprägte kolloidale Eigenschaften, daß man trotz mancher Abweichungen im Verhalten sie den kolloidalen Stoffen zurechnen muß.

Um Klarheit über kristalloide und kolloide Zustände zu gewinnen, vergleicht man am besten das äußere Verhalten zweier Stoffe, von denen der eine meistens deutlich kristalloide, der andere deutlich kolloidale Eigenschaften besitzt im *feuchten* Zustande, z. B. gewöhnlicher Quarz-

¹⁾ Man bezeichnet diesen für den tierischen und den pflanzlichen Organismus hochwichtigen Vorgang als „Osmose“, „Dialyse“ oder „Diffusion“.

sand und Ton¹⁾. Beim Zerreiben zwischen den Fingern läßt der gewöhnliche feuchte Sand deutlich die einzelnen Körner erkennen, während der feuchte Ton die einzelnen Teilchen nicht spüren läßt. Die Ausdrücke „körnig“ einerseits, „schleimig“, „gallertig“, „schluffig“, „fettig“, „speckig“, „schmierig“ andererseits kennzeichnen den Eindruck, den die beiden Stoffarten auf die fühlende Hand ausüben. Der feuchte Sand ist nur in sehr geringem Maße bildsam. Beim Austrocknen zerfällt er leicht in die einzelnen Körner. Der feuchte Ton ist in hohem Grade bildsam („knetbar“, „formbar“, „plastisch“). Er erhärtet beim Austrocknen unter starker Volumverminderung („Schwinden“, „Kontraktion“) zu einer dichten, festen, harten Masse. [Nur *äußerst feine* Sande, wie sie z. B. aus der „Trübe“ der Gletscherwässer sich allmählich zu Boden setzen, fühlen sich zwischen den Fingern fast wie Ton an, zeigen sich auch bis zu einem gewissen Grade formbar und erhärten beim Austrocknen zu Krusten (s. S. 63, Spatsand). Ein ähnliches Verhalten zeigen auch andere sehr feinkörnige Stoffe, die man gewöhnlich nicht zu den Kolloiden rechnet, die aber gleichfalls kolloidalen Zustand annehmen können, z. B. der Wiesenmergel (s. S. 69).]

Besonders große Unterschiede zeigen der *gewöhnliche* Sand und der Ton in ihrem *Verhalten zum Wasser*. Während der erstere im Wasser schnell zu Boden sinkt, verteilt sich der feuchte Ton äußerst fein im Wasser, so fein, daß man die einzelnen Teilchen, wenn überhaupt, nur mittels des mit besonderen Beleuchtungsvorrichtungen versehenen „Ultramikroskops“²⁾ erkennen kann. Je kleiner die Einzelteilchen, je geringer ihr Eigengewicht, um so weniger vermögen sie den Auftrieb des Wassers zu überwinden, um so länger verhalten sie sich schwebend. Ein solches Gemisch von Wasser mit kleinsten Teilchen fester Körper bezeichnet man als „*kolloidale Lösung*“ und den Zustand, in dem sich die Kolloidteilchen befinden, als „*Solz*zustand“³⁾. In Wirklichkeit handelt es sich dabei nicht um eine Lösung im eigentlichen Sinn, bei welcher der gelöste Körper dem Auge gänzlich verschwindet. Sie hat auch nicht, wie es bei wirklichen Lösungen

¹⁾ Bei der Wahl des Beispiels folge ich dem „Abriß der Kolloidchemie“ in dem umfassenden Werk von Prof. Dr. P. Ehrenberg, Die Bodenkolloide, II. Aufl. S. Literaturnachweis.

²⁾ Das Ultramikroskop läßt noch Teilchen von $\frac{1}{1\,000\,000}$ mm Durchmesser erkennen.

³⁾ „Echte“ Kolloide (s. o.) pflegt man solche Stoffe zu nennen, welche fähig sind, vollständig in den „Sol“-zustand überzugehen, während die Bezeichnung „unechte“ Kolloide solche Bodenbestandteile umfaßt, die, wie viele Tone, Humusstoffe und wie die Torfsubstanz und zahlreiche pflanzliche Gewebe zwar teils wegen ihrer feinen Verteilung, teils wegen ihres „waben“-artigen oder ähnlichen Gefüges eine große Oberflächenentwicklung und Anziehungskraft besitzen, aber im Boden vornehmlich im Gelzustand (s. das Folgende) vorhanden sind.

der Fall ist, einen höheren Siedepunkt und einen niederen Gefrierpunkt als das Lösungsmittel, auch diffundiert sie nicht oder doch nur äußerst langsam durch tierische oder pflanzliche Membranen (s. S. 152).

Durch dichteres Zusammenlagern der schwebenden Teilchen entstehen daraus „Flocken“, die vermöge ihres größeren Gewichtes zum Absatz kommen und eine gallertartige Masse, ein „Gel“, bilden. Das Zusammenballen, die Ausflockung (oder Koagulation) und infolgedessen „Sedimentation“ oder Absatz von Kolloidkörpern ist zurückzuführen einmal auf rein mechanische Wirkungen: das allen Stoffteilchen eigene Bestreben, sich so zusammenzulegen, daß daraus ein Individuum von möglichst kleiner Oberfläche entsteht¹⁾, weiterhin aber auf gewisse, gleich zu besprechende elektrische Einflüsse. Es wird durch sehr mannigfaltige Umstände gefördert oder zerstört. Fördernd wirkt der Frost, aber bei manchen Kolloiden auch die Wärmersteigerung, soweit dadurch in der Flüssigkeit keine Bewegung veranlaßt wird. Ferner vollständige Ruhe²⁾ und zunehmende Konzentration.

Gewisse Stoffe kolloidaler Art verhindern die Ausfällung mancher Kolloide. Aus dem gewöhnlichen Leben ist bekannt, daß man das Kolloid-Öl durch Schütteln mit Wasser in einzelne kleine Tröpfchen zerteilen kann, die das Wasser milchig trüben. Bei ruhigem Stehen sondert sich das Öl als eine auf dem Wasser schwimmende Schicht wieder ab. Es geht aus dem Sol- wieder in den Gelzustand über. Dies wird jedoch verhindert, wenn man der Mischung gewisse Kolloidstoffe, z. B. Arabisch-Gummi oder Eiweiß, zufügt. Solche den Übergang des Sol- in den Gelzustand hindernde Stoffe nennt man „Schutzkolloide“. Sie können auch im Boden eine heilsame Rolle spielen. Z. B. kann die Anwesenheit von Humusstoffen die Ausfällung von Eisenhydroxyd hindern, dieses beweglich erhalten und so beim Aufhören der Schutzwirkung zu einer günstigen verklebenden, krümelbildenden Wirkung im Boden befähigen. Auch die gute Wirkung der Humusstoffe als Schutzkolloid ist zum Teil darauf zurückzuführen, daß die Humusteilchen wie eine Hülle sich um die kleinen, Tonteilchen lagernd, diese vor einem zu starken Zusammenbacken schützen und so die Kohärenz des zähen, strengen Tonbodens mildern³⁾.

Andere Stoffe führen verhältnismäßig schnell eine Zusammenballung und Fällung herbei. Sie kann sowohl durch Säuren [auch durch Kohlen-

¹⁾ Es spricht sich u. a. in der Tropfenbildung bei Flüssigkeiten aus, da ja jeder Körper bei Kugelgestalt die kleinstmögliche Kugelgestalt besitzt.

²⁾ Unter Umständen kann allerdings heftige Bewegung auch die Vereinigung kleiner Teilchen bewirken. So erinnert P. Ehrenberg (a. a. O. S. 20) an den Vorgang des Butterns.

³⁾ Versuche zur Erklärung der „Schutzwirkung“ s. Ehrenberg a. a. O. S. 126 ff.

säure ¹⁾] als durch Basen und Salze veranlaßt werden und wird auf elektrische Vorgänge zurückgeführt, weil sie hauptsächlich von „Elektrolyten“, d. h. von solchen Verbindungen ausgehen, welche die Elektrizität gut leiten und beim Auflösen in Flüssigkeiten sich in einzelne Teile („Ionen“) zerspalten.

Die elektrische Dissoziation oder Ionisation. Wie S. 28 kurz besprochen wurde, erleiden bei hoher Temperatur zahlreiche Verbindungen eine Zersetzung, die man als „Dissoziation“ bezeichnet. So zerfallen Calciumkarbonat CaCO_3 in CaO und CO_2 , Schwefelsäure H_2SO_4 in H_2O und SO_3 , Wasser H_2O in 2H und O . So erfahren ferner gewisse chemische Verbindungen, insbesondere Salze, wenn sie in Wasser oder anderen Flüssigkeiten gelöst sind, unter der Einwirkung elektrischer Kräfte eine Dissoziation, die man als elektrische Dissoziation oder als Ionisation bezeichnet. Ihr unterliegen nur solche Salze, welche die Fähigkeit besitzen, den elektrischen Strom zu leiten („Elektrolyte“). Sie tritt nur in verdünnten Lösungen auf und wächst mit steigender Verdünnung. Dabei geraten die abgespaltenen Teile in Bewegung, sie „wandern“ (und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit). Sie werden daher nach dem englischen Physiker Faraday als Wanderer oder Ionen bezeichnet. Die Ionen sind teils mit negativer, teils mit positiver Elektrizität geladen und streben demgemäß teils dem positiven, (der „Anode“) teils dem negativen (der „Kathode“) zu. Die positiv geladenen Ionen nennt man „Anionen“, die negativ geladenen „Kationen“. Die Ionen können entweder einzelne Atome oder Gruppen von zwei oder mehreren Atomen sein. So nimmt man im Wasser H_2O das Bestehen eines Atomions H (Anion) und eines Hydroxylions OH (Kation), im Kaliumhydroxyd KOH das Bestehen eines Anions K und eines Kations OH , im Calciumhydroxyd CaOH_2 das Bestehen eines Anions Ca und zweier Kationen OH an. Die Stärke der Elektrizitätsladung der verschiedenen Ione ist abhängig von deren Wertigkeit, so daß das zweiwertige Atomion Ca mit einer doppelten, das dreiwertige Atomion Fe der Ferriverbindungen mit einer dreimal so großen Elektrizitätsmenge geladen ist als die einwertigen Ione, z. B. das Atomion H und K und das Hydroxylion OH .

Indem sich die aus den Elektrolyten abgespaltenen Ionen an die kolloidartigen Körper anlagern, beladen sie auch diese mit Elektrizität und bewirken je nach der Beladung mit gleichnamiger oder mit entgegengesetzter Elektrizität eine Abstoßung, also eine Zerteilung oder eine Anziehung, also eine Zusammenballung der Kolloidteilchen ²⁾. Bei den hier-

¹⁾ S. 148 Anm. 2.

²⁾ Man denke immer daran, daß mit gleichnamiger Elektrizität geladene Körper sich abstoßen, mit entgegengesetzter geladene sich anziehen.

bei sich vollziehenden äußerst verwickelten und trotz aller Aufklärungsversuche durch die in neuerer Zeit immer lebhafter einsetzende Kolloidforschung noch wenig durchsichtigen Vorgängen üben nicht nur Art und Stärke der elektrischen Ladung der beteiligten Ionen, sondern auch die Art der Kolloide selbst und ihres Lösungsmittels, ferner das Verhältnis der neu entstehenden Verbindungen zueinander, ihre größere oder geringere Löslichkeit und vieles andere eine bestimmende Wirkung auf das Endergebnis aus ¹⁾).

Hier soll nur noch folgendes hervorgehoben werden: Wie schon ein Vergleich dessen, was oben (§ 81) über die Krümelstruktur und jetzt über die Kolloide gesagt wurde, erkennen läßt, gleichen die Umstände, welche die Ausflockung der Kolloidteilchen aus kolloidalen Lösungen, also den Übergang aus dem Sol- in den Gelzustand veranlassen, durchaus denen, welche auch im Boden die Einzelkorn- oder Pulverstruktur in die Krümelstruktur überführen, und zwar nicht nur bei den wegen ihres hohen Kolloidgehalts besonders wasserreichen Ton-, Humus- und Moorböden, sondern auch bei den trockneren Bodenarten. Auch bei ihnen schafft jeder Regenfall Verhältnisse, die der freien Bewegung der Bodenteilchen günstig sind und daher alle die für die Fällung der kolloidalen Lösungen maßgebenden Faktoren mechanischer und elektrischer Natur (s. o.) auch im Boden zur Wirkung kommen lassen.

Das Verhalten der Bodenkolloide zum Wasser. Über die Fähigkeit der Kolloide, sich äußerst fein im Wasser zu verteilen, und über die Umstände, welche die Verteilung begünstigen und anderseits ihre Ausscheidung in Gelform hervorrufen, ist bei den kolloidalen Lösungen berichtet worden. Die beim Ausflocken entstehende, meist gallertartige, „speckige“, „schluffige“ Masse besitzt die Fähigkeit, große Flüssigkeitsmengen durch Imbibition (s. o.) aufzusaugen und so festzuhalten, daß sie ihr nur zu einem Teil von den Pflanzenwurzeln entrissen werden kann. Hieraus folgt, daß in kolloidreichen Böden die Pflanzen, um ihren großen Wasserbedarf zu decken, weit mehr Wasser vorfinden müssen, als auf kolloidarmen Böden.

Nähere Angaben darüber s. u.

Das Wasseraufsaugungsvermögen der Kolloide wie die noch zu besprechenden sonstigen Eigenschaften der Kolloide können durch verschiedene Umstände abgeschwächt, ja bisweilen gänzlich vernichtet werden.

Folgen des Austrocknens. Schon unter dem Einfluß der Sonnenwärme

¹⁾ Eine möglichst klare Übersicht über die in Frage kommenden Erscheinungen gibt die eine wahre Fundgrube für die Ergebnisse der älteren und der neueren Kolloidforschung darstellende Erörterung von P. Ehrenberg, Die Bodenkolloide. (S. Literaturnachweis.)

können Tonteilchen für längere Zeit ihre Benetzbarkeit durch Wasser völlig verlieren¹⁾. Eine dem Torfhersteller bekannte Erscheinung ist es ferner, daß der unter der Sonnenwärme ausgetrocknete Torf auch bei andauernder Einwirkung von Wasser nicht mehr den früheren speckigen, schluffigen Zustand wieder annimmt. Eine sehr üble Wirkung übt der Einfluß der Sonnenbestrahlung auf nacktliegenden Moorboden aus. Unter erheblicher Abschwächung seiner Wasseraufnahmefähigkeit verwandelt er sich in staubigen „Mull“²⁾ von ausgesprochener Pulverstruktur, der leicht ein Raub der Winde wird und der landwirtschaftlichen Benutzung solcher Böden große Hindernisse bereitet („Moor- oder Mullwehen“). Gelegentlich der Besprechung der Moore als Kulturböden wird auch die „Dämpfung“ der Mullwehen kurz besprochen werden (s. unten S. 220). Noch eingreifender wirkt künstliche Steigerung der Wärme. Daß der Ton beim Brennen zu Ziegelsteinen seine kolloidalen Eigenschaften ganz verliert und selbst nach starker Zerkleinerung in Berührung mit Wasser nicht wieder annimmt, ist bekannt. Er ist „irreversibel“ geworden³⁾.

Beim Eindringen des Wassers in die Kolloid-Gele müssen sich deren einzelne Teilchen voneinander entfernen. Das Kolloid „quillt auf“⁴⁾, eine Erscheinung, die man beim Behandeln von Leim oder Stärke mit heißem Wasser oder beim Einlegen einer feuchten Tonkugel in Wasser erkennen kann. Sie zeigt sich auch bei Humusstoffen und beim Torf unserer Moore. So beobachtete der Genfer Naturforscher *de Luc*, daß das Kedingen

¹⁾ So beobachtet man häufig an staubig trockenen Wegen und Äckern, wie selbst kräftige Platzregen durch die Staubschicht ohne jede Wirkung auf diese hindurchdringen oder seitlich abfließen, ohne dem Boden zugute zu kommen, und erst bei länger anhaltendem („Land-“) Regen der Benetzungswiderstand überwunden wird.

²⁾ Den Widerstand, den ausgetrocknete Humuskolloide der Benetzung entgegensetzen, hat man bisweilen auf einen Gehalt an wachs- oder harzartigen Stoffen zurückführen wollen. Bei von mir ausgeführten Versuchen, durch Behandeln mit Äther oder Schwefelkohlenstoff ihnen solche unbenetzbaren Stoffe zu entziehen, ergab sich, daß dieses Verfahren völlig wirkungslos blieb. (Ebenso bei Versuchen von *Stellwaag* mit Äther und Alkohol: *Wollny*, Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1882, S. 216.) Vielmehr läßt sich die Erscheinung ungezwungen dadurch erklären, daß bei ausgetrockneten Böden die Bodenteilchen sich mit einer Lufthülle umkleiden, welche die Benetzung mit Wasser verhindern.

³⁾ Als „reversible“ (rückwandelbare) Kolloide bezeichnet man solche, welche zwar durch irgendwelche Umstände die Wasseraufnahmefähigkeit für einige Zeit verloren haben, aber bei andauernder Berührung mit Wasser sie wieder gewinnen (wie z. B. der bloß durch Sonnenwärme ausgetrocknete Ton).

⁴⁾ Bei dieser Aufquellung erleidet jedoch die feste Masse des Kolloids selbst eine Verdichtung, da das Volum nach der Aufquellung kleiner ist als die Summe aus dem ursprünglichen Volum und dem Volum der aufgenommenen Flüssigkeitsmenge.

Hochmoor im unteren Elbegebiet bei anhaltendem Regen so stark aufquoll, daß ein Kirchturm, der in trocknen Zeiten von der anderen Seite des Moores aus sichtbar war, infolge des Steigens der Mooroberfläche dem Auge entschwand.

Mit dem Entziehen des Wassers durch Abzapfen oder Verdunstung vermindert sich wieder das Volum. Die gequollene Masse schrumpft zusammen. Bei völligem Austrocknen eines tonreichen, mit Wasser vollgesogenen Seemarschbodens schwindet sein Volum nach Untersuchungen der Moor-Versuchsstation auf die Hälfte. Dieselbe Forschungsstätte stellte fest, daß bei allmählichem Austrocknen desselben Bodens das Zusammenschrumpfen zuerst am stärksten, dann immer mehr nachlassend erfolgte. Es kam

| auf einen Wasserverlust von je 1 g = 1 ccm | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|------|---|--------|---|----------|
| bei Abnahme d. Wassergehalts von 54,4 auf 52,0 % ein Volumschwund von 1,08 ccm, | | | | | | | | | |
| " | " | " | " | " | 52,0 | " | 46,7 % | " | " 0,73 " |
| " | " | " | " | " | 46,7 | " | 3,0 % | " | " 0,61 " |
| " | " | " | " | " | 3,0 | " | 1,3 % | " | " 0,24 " |

Gewisse Torfarten (Lebertorf, Schlammtofr; s. S. 116) schwinden beim Austrocknen bis auf ein Zehntel des ursprünglichen Volums. Dabei tritt eine starke Erhärtung und infolge des Volumschwundes ein Rissigwerden der Masse ein, ein Vorkommen, das bei humusreichen schlammigen Bodenarten, wie sie bisweilen beim Ablassen von Seen zurückbleiben, deren Kultivierung sehr erschweren kann. (S. darüber S. 116 Anm. 2¹.)

Dieses Schwinden infolge des Wasserverlustes kann insbesondere, wenn das Austrocknen sehr schnell erfolgt, bei der Ausführung von Gräben und Kanälen im Moor und auf anderen kolloidreichen Böden zur Losreißung großer Bänke unmittelbar an den Bodeneinschnitten führen, wenn nicht durch geeignete Maßnahmen ein langsames Austreten des Bodenwassers gesichert wird.

Sehr auffällige Wirkungen übt der *Frost* auf die Kolloide aus. Sie büßen beim Gefrieren einen Teil ihrer kolloidalen Eigenschaften ein. Das Verhalten des tonreichen Seeschlicks und die günstigen Umwandlungen, welche der aus Seeschlick bestehende Marschboden bei Frost erleidet, wurden bereits S. 73, geschildert. Auch die Humuskolloide werden durch niedere Temperaturen stark beeinflußt. Aus ihrer kolloidalen „Lösung“ werden sie bei Wärmeentziehung ausgefällt, also aus dem Sol-

¹) Fleischer, Die Materialien zur Düngung und Meliorierung des Moorbodens, Landwirtschaftl. Jahrbücher 1883, S. 222.

²) Ein Beispiel bietet das Dimmernseegebiet bei Bischofsburg in Ostpreußen. Die durch Senkung des Dimmernsees trockengelegten Ländereien konnten nur dadurch in Kulturboden umgewandelt werden, daß man durch Überdecken des Seeschlammes mit einer Sandschicht die Wasserverdunstung stark einschränkte.

in den Gelzustand übergeführt. Gut zersetzter älterer Moostorf läßt nach dem Gefrieren einen erheblichen Teil des früher festgehaltenen Wassers abfließen und verliert infolge des Frostes viel von seiner Fähigkeit, beim Austrocknen zu einer dichten harten Masse zusammenzuschrumpfen (Moor-Versuchsstation¹⁾). Die gleiche Erscheinung ist in minderm, aber noch sehr erkennbarem Maße bei dem jüngeren Moostorf beobachtet worden²⁾.

Die große Oberflächenausbildung der Kolloide ermöglicht ihnen nicht nur die Festhaltung großer Wassermengen, sie gibt ihnen auch die Fähigkeit, feste und luftförmige Stoffe an sich zu lagern und festzuhalten. Diese Erscheinung bezeichnet man nach Ostwald im Anklang an die auf chemischen Wirkungen beruhende *Absorption* als *Adsorption* (auch physikalische Absorption). Auch die Adsorption, über die unten (§ 106—109) eingehender berichtet werden soll, wird durch alle die Faktoren, welche auf die kolloidalen Zustände einwirken (durch Austrocknen, Frost u. a. m.) erheblich beeinflußt.

Kennzeichnend für das Verhalten der Kolloide sind endlich noch zwei eng zusammenhängende Eigenschaften, die bereits früher hier berührt worden sind, ihre *Plastizität* und ihr *Klebevermögen*.

Mit der äußerst feinkörnigen Beschaffenheit der als Kolloide auftretenden Stoffe hängt auf das innigste ihre Knetbarkeit, Bildsamkeit, Plastizität zusammen. Sie tritt nur in die Erscheinung, wenn die Kolloide feucht, also ihre Teilchen von Flüssigkeitshüllen umgeben sind. Wenn auch nach den früheren Auseinandersetzungen alle Stoffe den Kolloidzustand annehmen können, so muß man doch im Hinblick auf ihr Verhalten zwischen Stoffen unterscheiden, die *gewöhnlich* als Kolloide und solchen, die *gewöhnlich* als Kristalloide auftreten. Bei den ersteren werden die kolloidalen Eigenschaften überwiegen. Sie werden sich durch besondere Kleinheit ihrer Teilchen, also durch besonders starke Oberflächenentwicklung und besonders starke Oberflächenanziehung auszeichnen. Ihnen gehören z. B. die als ausgezeichnete Klebemittel bekannten „echten“ (s. o.) Kolloide: Leim, Stärkekleister, Arabisch-Gummi, von Bodenkolloiden der gleich zu besprechende „*Kolloidton*“, weiterhin das Eisenhydroxyd, das Aluminiumhydroxyd und gewisse Humuskolloide an, falls diese Stoffe nicht durch teilweises Austrocknen von ihren kolloidalen Eigenschaften etwas eingebüßt haben. Im Kolloidton hat man ein wasserhaltiges Aluminiumsilikat zu erblicken, das den wichtigsten Teil der verschiedenen Tonkolloide ausmacht, und von dem schon wenige Prozent genügen, um tonigen Stoffen eine starke Bindekraft zu verleihen. In ihm sehen Th. Schlösing (der Ältere) und P. Ehrenberg die vornehmste Ur-

¹⁾ Fleischer, Die Torfstreu; s. Literaturnachweis.

²⁾ H. von Feilitzen, Mitt. des Ver. z. F. d. Moorkultur, 1908, S. 14.

sache für die Plastizität des Tons. Die äußerst feinen Kolloidteilchen¹⁾ umgeben nach diesen Forschern wie eine Hülle die an sich schon sehr feinen und mit großer Anziehungskraft begabten sonstigen Gemengteile der Tone²⁾, und ihnen verdanken diese den hohen Grad von Knetbarkeit, Klebrigkeit, Zähigkeit, Bildsamkeit³⁾.

Die verklebende Kraft der Kolloide spricht sich auch in ihrer Einwirkung auf Sande, Schotter und Gerölle aus (S. 63). Kieselsäure, Eisenhydroxyd, Ton, Humusstoffe u. a. verkitten jene Überbleibsel der Gesteinszerstörung zu neuen Gesteinsbildungen, oft von sehr fester Beschaffenheit, die man je nach Form und Größe der Gesteinstrümmer als Sandstein, Breccien oder Konglomerate, nach Art ihres Bindemittels als kieselige, eisenschüssige (Raseneisenstein), tonige, Humus-Sandstein (auch Ortstein) bezeichnen kann (s. S. 64). Solange als diese Bindemittel noch feucht sind, lassen sich auch die neuen Gesteinsbildungen leicht zerspalten („Bergfeuchter“ Zustand; s. S. 65). Erst nach dem Austrocknen des Klebestoffs erlangen sie ihre bisweilen sehr große Härte.

§ 85.

Kapillarität. GröÙte und kleinste Wasserkapazität. Außer den Kolloiden beherrscht die Kapillarität das Wasseraufsaugungs- und Festhaltungsvermögen eines Bodens. Sie beruht auf dem Zusammenwirken der Adhäsion einerseits, der Anziehung, welche die Wasserteilchen aufeinander ausüben („Kohäsion“), anderseits. Ein sehr enges Röhrchen (Haarröhrchen), das aus einem von Wasser benetzbaren Stoff besteht, hat, in Wasser getaucht, die Fähigkeit, Wasser entgegen der Schwerkraft um so höher emporzuheben, je enger es ist, und jenes nach dem Herausheben aus der Flüssigkeit in einer gewissen Höhe festzuhalten, die gleichfalls von seinem lichten Durchmesser abhängig ist. Die Kraft, mit der das Wasser gehoben und festgehalten wird, nennt man *Kapillarität*, „Kapillarkraft“, „Haar-

¹⁾ Die außerordentliche Kleinheit der Kolloidteilchen bringt P. Ehrenberg (a. a. O. S. 105) durch den Vergleich eines Sandkorns mittlerer Größe (als Würfel gedacht von 0,28 mm Seitenlänge) mit einem Kolloidteilchen (von 0,00014 mm Seitenlänge) sehr anschaulich zur Vorstellung. Denkt man sich beide ganz gleichmäßig vergrößert, so verhält sich die Größe eines Kolloidteilchens zu der des Sandkorns wie ein Würfel von 0,2 mm Seitenlänge zu einem geräumigen Wohnzimmer von etwa 2,6 m Höhe und 5 m Länge und Breite.

²⁾ S. über die Zusammensetzung der Tone S. 65.

³⁾ Ein Körper von ausgezeichneter Plastizität ist bekanntlich der sogenannte Glaserkitt, ein tüchtig durcheinander gearbeitetes Gemenge von gebranntem Gips und Leinöl. Auch hier erhöht das Kolloid-Leinöl die Knetbarkeit und Bildsamkeit des Gipspulvers in hohem Grade. Schon die Beimengung von 1 % Leim zu feinem Sandsteinpulver kann dieses nach Schlösing und Ehrenberg zu einer tonähnlichen, sehr plastischen und beim Austrocknen hart werdenden Masse machen.

röhrchenkraft“. Bei der engen Zusammenlagerung der einzelnen Teilchen, wie sie im Boden statt hat, sind die zwischen ihnen bleibenden Hohlräume zum Teil so klein, daß sie ein weitverzweigtes Netz von verschiedenen gestalteten Kapillarräumen darstellen und den Boden befähigen, Wasser von unten aufzusaugen und sowohl dieses als das von oben eindringende festzuhalten. Die Größe der Kapillarkraft eines Bodens hängt von der Menge der kapillar wirkenden Zwischenräume und diese von der Größe und Form der Bodenteilchen oder jener Teilchengruppen ab, die wir als Krümel bezeichnet haben (S. 145). Je kleiner die Bodenteilchen, um so größer ist im allgemeinen die Anzahl der Kapillarräume, um so größer das Aufsaugungsvermögen des Bodens. Bei sehr grobkörniger Bodenbeschaffenheit können die Zwischenräume so groß werden, daß sie nicht mehr kapillar wirken.

Da die Kapillarität das Bodenwasser nur bis zu einer bestimmten, von dem Durchmesser der Kapillaren abhängigen Höhe heben und hier festhalten kann, so wird die Wasserkapazität eines und desselben Bodens verschieden groß gefunden werden, je nachdem die Bodenoberfläche wenig oder weit über den Grundwasserspiegel emporragt, je nachdem also die Kapillaren der verschiedenen Bodenschichten ganz oder nur teilweise vom Wasser erfüllt sind. Ist der Wasserspiegel nur so weit gesenkt, daß alle Haarröhrchen eines Bodens bis obenhin mit Wasser gefüllt bleiben, so ergibt die Bestimmung der festgehaltenen Wassermenge die „volle“ oder „größte“ *Wasserkapazität* des Bodens. Sinkt dagegen das Grundwasser so tief, daß die feinen Hohlräume nur nach Maßgabe ihres Wasserhebungsvermögens mit Wasser gefüllt bleiben, zum Teil also wasserfrei sind, so findet man die „kleinste“ oder „absolute“ *Wasserkapazität*¹⁾.

§ 86.

Die Bewegung des Bodenwassers. *Das Eindringen des Wassers in den Boden. Durchlässigkeit.* Das in den atmosphärischen Niederschlägen auffallende oder von höheren Stellen auf die Bodenoberfläche auffließende Wasser dringt in die letztere ein und sinkt, dem Gesetze der Schwere folgend, in die Tiefe, soweit es nicht durch die vorhandenen Kapillaren und Kolloide zurückgehalten wird. Das Vermögen des Bodens, das eintretende Wasser weiter zu leiten, bezeichnet man als seine *Durchlässigkeit*. Bei gleichem Druck des auffallenden Wassers ist sie um so größer, je weiter die Poren, d. h. die Zwischenräume zwischen den einzelnen Bodenteilchen sind, je weniger nur langsam mit Wasser sich erfüllende Kapillaren und kolloide Stoffe die Leitung des Wassers erschweren. Grobkörnig-

¹⁾ Die Unterschiede „größte“ und „kleinste“ Kapazität sind zuerst von A. d. M a y e r erkannt worden.

keit der Bodenpartikel, Krümelung und mechanische Auflockerung erhöhen die Durchlässigkeit. In gleicher Richtung wirkt das Eindringen von Tieren und von Pflanzenwurzeln in den Boden (Aufschließen des Bodens durch tiefwurzelnnde Pflanzen! — s. auch S. 171). Ganz oder fast undurchlässig für Wasser kann der Boden werden, wenn seine Partikel sehr klein sind, daher auch sehr enge Zwischenräume bilden, und besonders, wenn sie zu einem großen Teil aus kolloidalen Stoffen, Tön, Humuskörpern bestehen oder wenn sie durch irgendein Bindemittel zu einer steinartigen Masse erhärtet sind, wie z. B. beim Ortstein, Raseneisenstein (§ 38, 2). Schon ein geringer Gehalt des Bodens an Eisenverbindungen und die dadurch hervorgerufene größere Bindigkeit der Bodenteilchen kann den Dräntechniker zwingen, den Abstand der Wasserabzüge kleiner zu gestalten. Sehr feinkörnige, mehliges Sande, noch mehr Wiesenalk und plastischer Ton und dichtgelagerte Moor- und Schlammböden werden, wenn sie einmal mit Wasser erfüllt sind, sehr schwer durchlässig für Wasser. Selbst sehr dünne Lagen derartiger Stoffe innerhalb der Bodenschichten können das Durchfließen sowie den kapillaren Aufstieg des Wassers völlig verhindern¹⁾ und so Wasseransammlungen im Boden veranlassen, die dessen natürliche Wasserkapazität weit übersteigen.

Das Hindernis, das sehr feinkörnige Böden dem Eindringen des Wassers bieten, wird noch bedeutend erhöht, wenn die Bodenpartikel an ihrer Oberfläche völlig abgetrocknet sind. Über einem stark ausgetrockneten feinkörnigen Boden können sich (etwa wie auf einem mit Öl getränkten, engmaschigen Gewebe) große Wassermengen ansammeln, ohne in die Tiefe zu fließen. Diese eigentümliche Erscheinung ist zu einem Teil auf den *Widerstand* zurückzuführen, den die trockenen Bodenpartikel, namentlich ausgetrocknete humose Stoffe, ihrer *Benetzung* mit Wasser entgegenzusetzen, zu einem anderen Teil beruht sie wahrscheinlich auf dem Widerstand, den die in die Kapillarräume eingedrungene Luft dem Eintreten

¹⁾ Fast undurchlässige, für den Pflanzenwuchs verhängnisvolle Schichten bilden sich namentlich leicht, wenn dichte, massive Bodenbestandteile (z. B. Sandkörner) mit kolloiden Stoffen zusammenkommen. So bei der *Rimpau*-schen *Moordamnkultur*, bei der unter dem Druck der Sanddecke und der Bestellungs- und Erntegeräte die unterste Decksandlage mit den obersten Mooredeteilchen zu einer äußerst dichten Schicht sich zusammenlagern kann.

Bei derselben Kulturmethode entsteht bisweilen zwischen dem Moor und der Sanddecke auch dadurch eine undurchlässige Schicht, daß die aus dem Moor austretenden Eisensalze (Ferrokarbonat) bei ihrer Oxydation zu Eisenoxyd die Sandkörner zu einer harten Masse verkitten.

Die Schwerdurchlässigkeit der Moorböden macht sich namentlich dadurch bemerkbar, daß die Entwässerungsgräben nur auf sehr kurze Entfernung wirken, und daß fast unmittelbar neben tief in das Moor eingeschnittenen Torfstichen der Wasserspiegel oft nur wenige Dezimeter unter die Mooroberfläche gesenkt ist.

des Wassers leistet. Erst nach Überwindung beider Widerstände vermag das Wasser in die freien Zwischenräume des Bodens einzusickern (Siehe auch S. 157.)

§ 87.

Der kapillare Aufstieg des Bodenwassers. Die Tätigkeit der Kapillarrohrhöhlen des Bodens wirkt auf den Ausgleich des Wassergehaltes der tieferen wasserreicheren und der oberen wasserärmeren Schichten hin. Nach den vorliegenden Untersuchungen scheint sie erst zu beginnen, wenn der Wassergehalt der tieferen Schichten die Hälfte ihrer Wasserkapazität übersteigt, und sie ist im allgemeinen um so lebhafter, je größer der Wassergehalt der letzteren.

Die *Schnelligkeit*, mit der die Wasseraufsaugung geschieht, und die *Höhe*, bis zu der das Wasser kapillar gehoben wird, pflegen in umgekehrtem Verhältnis zueinander zu stehen. Je weiter die vorhandenen Kapillarräume sind, um so *schneller*, aber um so *weniger hoch* steigt in ihnen das Wasser, je kleiner sie sind, um so mehr ist der Aufstieg verlangsamt, die Steighöhe vergrößert. Man kann daher im allgemeinen sagen, daß bei geringem Umfang und bei dichter Lagerung der Bodenpartikel das Wasser langsam, aber um so höher steigen wird. In *grobkörnigem* Boden (z. B. in grobem Sand) erfolgt der Aufstieg schnell, aber nur bis zu geringer Höhe. Schon bei 2 mm Korngröße hört der kapillare Aufstieg auf (Ramann). Beimengungen von *feinkörnigen* Bodenbestandteilen (Ton, Kalkstaub) oder von humosen Stoffen verlangsamen die Geschwindigkeit, befördern aber die Höhe des Aufstiegs. Eine *Lockerung* des Bodens, durch die die Kapillarrohrhöhlen zu Teil erweitert oder ganz zerstört werden, setzt das Aufsteigen des Wassers herab, ein *Festwalzen* lockerer Böden vermehrt und verkleinert zugleich die vorhandenen Kapillaren, bewirkt also ein langsames, aber um so höheres Aufsteigen des Wassers (s. u. § 89).

Daß das Vorhandensein von Steinen den Aufstieg verlangsamen, das Vorhandensein von undurchlässigen Schichten (S. 162) ihn ganz unterbrechen muß, liegt auf der Hand. Kolloide, auf die die Kapillarzüge stoßen, können die Hebung des Wassers erheblich verstärken, indem sie selbst dann noch die oberhalb belegenen Kapillarräume mit Wasser erfüllen, wenn das Kapillarvermögen der tieferen bereits erschöpft ist. Sie verlangsamen aber den Aufstieg, indem sie sich erst mit Wasser vollsaugen müssen, bis dieses weiter nach oben dringen kann.

§ 88.

Die Verdunstung des Bodenwassers. Solange die über dem Boden befindliche atmosphärische Luft nicht mit Feuchtigkeit gesättigt ist, unterliegt

das Bodenwasser der Verdunstung. Diese gestaltet sich ganz verschieden, je nachdem der Boden mit Pflanzen bestanden ist oder nicht. Auf *unbewachsenem Boden* findet die Verdunstung im wesentlichen ¹⁾ nur an der Oberfläche statt. Das hierbei abgängig werdende Wasser kann aus den tieferen Schichten nur durch die Wirkung der Kapillarkraft ersetzt werden. Die Größe der Verdunstung hängt also, abgesehen von dem relativen Feuchtigkeitsgehalt ²⁾ der Luft, ab von der *Temperatur des Bodens*, den an der Oberfläche vorhandenen *Wassermengen* und von der *Schnelligkeit*, mit der das verdunstende Wasser ersetzt wird.

Von den auf die Bodentemperatur einwirkenden Faktoren wird erst später die Rede sein. Die an der Oberfläche vorhandene Wassermenge wird von der *Größe der Oberfläche* und von der *Wasserkapazität* des Bodens beeinflusst. Die erstere ist durchaus nicht konstant, sie kann durch kulturelle Maßnahmen, durch Herstellung von Furchen und Hügeln erheblich vergrößert werden ³⁾. Daß ferner der Wind die Verdunstung um so mehr fördert, je trockener, wärmer und stärker er ist, ist eine bekannte und leicht verständliche Tatsache. Dagegen wird die Verdunstung herabgesetzt durch Maßregeln, die die verdunstende Fläche verkleinern, durch Bedecken des Bodens mit Steinen ⁴⁾, grobem Sand und anderen Stoffen, die geringere Kapillarität besitzen als der Boden selbst (grobe Sägespäne, Gerberlohe u. dgl.). Ebenso kann eine Krustenbildung, wie sie besonders leicht auf tonreichen Böden stattfindet, die Verdunstung fast ganz aufheben.

Nackte Böden, die bis an die Oberfläche mit Wasser völlig gesättigt sind, verdunsten unter gleichen Verhältnissen annähernd gleiche Wassermengen. Sinkt der Wasserstand, so macht sich die größere oder geringere Wasserkapazität der verschiedenen Bodenarten insofern bemerklich, als z. B. humose und tonreiche Böden stärker verdunsten als Sandböden. Ist die Austrocknung der Bodenoberfläche stärker geworden, so tritt die Kapillarität in Wirkung, und alle die kapillare Leitung im Boden fördern-

¹⁾ Gegenüber der Oberflächenverdunstung dürften die im Bodeninnern, innerhalb der mit Luft erfüllten Zwischenräume, verdunstenden Wassermengen nicht ins Gewicht fallen.

²⁾ D. i. das Verhältnis des wirklich vorhandenen Wassergehaltes zu den Wassermengen, die die Luft bei dem augenblicklichen Thermometer- und Barometerstande aufnehmen kann.

³⁾ Eine Fläche Boden, die mit Wasser völlig gesättigt ist, verliert mehr Wasser durch Verdunstung als eine gleich große in Ruhe befindliche Wasseroberfläche, weil die rauhe, unebene Bodenoberfläche größer ist als die Wasseroberfläche. Sobald die Bodenoberfläche abgetrocknet ist, kehrt sich natürlich das Verhältnis um.

⁴⁾ Hierbei wirkt zugleich die Abhaltung der erwärmenden Sonnenstrahlen erniedrigend auf die Verdunstung ein.

den Umstände erhöhen zugleich das Verdunstungsvermögen des Bodens. Nach den früheren Erörterungen werden flachgründige Böden, deren Kapillarräume bei ihrer geringen Höhe sich bis obenhin mit Wasser füllen können, am schnellsten durch Verdunstung austrocknen, tiefgründige Böden um so weniger Wasser durch Verdunstung verlieren, je mächtiger sie sind und je höher ihre Oberfläche über dem Grundwasser liegt.

Auf das stärkste beeinflußt wird die Bodenwasserverdunstung durch einen Pflanzenbestand. Einmal vergrößert dieser die verdunstende Oberfläche um ein Mehrfaches, ferner heben die Pflanzenwurzeln auch aus tieferen Schichten Wasser empor und geben sie der Verdunstung preis. Aus Gefäßversuchen, die Geheimrat E. K r ü g e r - Berlin im Jahre 1909 am Kaiser-Wilhelm-Institut in Bromberg ausführte, berechnet sich, daß ein Haferfeld durch Verdunstung weit mehr Wasser verlor, als ihm während der Vegetationszeit in den Niederschlägen zufloß, obwohl die Beschattung der Oberfläche durch die Pflanzen auch die Verdunstungsgröße herabsetzt. Je tiefer die Wurzeln in den Boden eindringen, um so größere Wassermengen gelangen aus der Tiefe zur Verdunstung. Trotz der starken Bodenbeschattung im Walde verliert dieser unter gewöhnlichen Verhältnissen mehr Wasser durch Verdunstung als der Acker. (Es kommt hinzu, daß ein großer Teil der Niederschläge vom Waldlaub festgehalten wird und gar nicht in den Boden gerät.)

§ 89.

Die Kondensation von Wasserdampf durch den Boden (Hygroskopizität) und die Taubildung. Der an seiner Oberfläche völlig ausgetrocknete Boden hat wie alle festen Körper die Fähigkeit, Gase, also auch Wasserdampf, an seiner Oberfläche zu verdunsten. Man bezeichnet diese Eigenschaft als *Hygroskopizität*. Die Menge des hygroskopisch gebundenen Wassers ist natürlich in erster Linie abhängig von der Größe der kondensierenden Oberfläche der vorhandenen Bodenteilchen. Obwohl insbesondere humose Böden nicht unbeträchtliche Mengen Wasserdampf aus der Luft absorbieren können, lassen die neueren Untersuchungen es fraglich erscheinen, ob jener Fähigkeit für die Wasserversorgung der Pflanzen eine größere Bedeutung zukommt¹⁾. Sie tritt nämlich erst dann in Wirkung, wenn der Boden so weit ausgetrocknet ist, daß die darin wurzelnden Pflanzen bereits zu welken anfangen.

¹⁾ Demgegenüber soll nicht verschwiegen werden, daß neuerdings versucht wird (zuletzt von C h r. M e z g e r, Journ. f. Landw., 69. Bd., Jahrg. 1821, S. 49), die Bildung des Grundwassers zu einem sehr erheblichen Teil auf die Kondensation des trockenem oder mäßig feuchtem Boden durch Flächenanziehung (Adsorption) anhaftenden Wasserdampfs zurückzuführen.

Wichtiger ist die durch den Boden hervorgerufene *Taubildung*. Sie kann dann eintreten, wenn die Bodenoberfläche sich unter den Taupunkt der mit ihr in Berührung befindlichen Luftschicht abkühlt, aber auch, wenn die Oberflächentemperatur höher als die Lufttemperatur, dagegen niedriger als die der tieferen Bodenschichten ist. In diesem Fall kann die mit Wasserdampf gesättigte Bodenluft an die abgekühlte Oberfläche Wasser in tropfbar flüssiger Form abgeben ¹⁾. Wahrscheinlich ist diese Erscheinung in sehr lockeren und in grobkörnigen Böden mit geringer Kapillarkraft für die Versorgung der Bodenoberfläche mit Wasser, also besonders für das Keimen der Samen von Bedeutung. Auch das frische Aussehen der Pflanzenwelt nach tauigen Nächten dürfte der erquicklichen Wirkung des Taus zuzuschreiben sein.

§ 90.

Bedeutung des Bodenwassers für die Vegetation und seine Beeinflussung durch menschliches Eingreifen. Da die Pflanzen zum weitaus größten Teil (zu 70—90 %) aus Wasser bestehen ²⁾, das sie in überwiegender Menge durch die Wurzeln aufnehmen, so bedarf die Notwendigkeit eines genügenden Wasservorrates im Boden keiner besonderen Begründung. Zugleich ist das Bodenwasser der wichtigste Träger der mineralischen Pflanzennahrung, indem es die Bodennährstoffe, mit denen die Pflanzenwurzeln nicht in unmittelbare Berührung kommen, in Lösung bringt und ihren Übergang in die Pflanzen vermittelt. So wichtig es daher für die Pflanzen ist, daß der Boden nicht bis auf ein für ihr Gedeihen verhängnisvolles Maß austrocknet, so kann auf der anderen Seite ein *Übermaß* von Bodenwasser die Fruchtbarkeit des reichsten Bodens völlig vernichten ³⁾. Abgesehen davon, daß ein überreicher Wassergehalt die *Temperaturverhältnisse* des Bodens ungünstig beeinflusst, wirkt er besonders dadurch verhängnisvoll, daß er das Eindringen des *Luftsauerstoffs* in den Boden verringert oder aufhebt. Da der der Pflanze zum Leben nötige Sauerstoff zu einem großen Teil durch die Wurzeln eingeatmet wird, so muß sie Not leiden, wenn die sauerstoffhaltige Bodenluft durch Wasser aus dem Boden verdrängt wird. Die vom Bodenwasser selbst gelösten Mengen Sauerstoff (s. u.) werden schnell verbraucht, wenn es nicht wenigstens

¹⁾ Die Taumenge kann auch durch Wasser vermehrt werden, das in regenlosen warmen Nächten aus dem Pflanzenkörper austritt.

²⁾ Nach sechsjährigen Beobachtungen von Hellriegel verbrauchen im norddeutschen Klima unsere wichtigsten Getreidearten für die Erzeugung von 1 kg oberirdischer, trockener Pflanzenmasse im Durchschnitt etwa 350 kg Wasser. Nach anderen steigt die Menge verbrauchten Wassers auf mehr als das Sechsfache des erzeugten Trockengewichts.

³⁾ Ein kennzeichnendes Beispiel hierfür ist die Entstehung von nährstoffarmen Hochmoorbildungen über reichen, aber versumpften Bodenarten.

von Zeit zu Zeit durch frisches Wasser ersetzt wird, das längere Zeit mit der atmosphärischen Luft in Berührung war. Die Bodennässe wird also dann besonders schädlich wirken, wenn es sich um „stehendes“ oder „stauendes“ Wasser handelt, und dies wird unter anderem der Fall sein, wenn im Boden oder unter dem Boden undurchlässige Schichten vorhanden sind, die die Bewegung des Bodenwassers verhindern.

Ein Mangel an Luftsauerstoff wirkt aber noch in anderer Richtung schädigend auf den Pflanzenwuchs, indem er die Entwicklung der heilsamen an der Bodenbildung und der Pflanzenernährung beteiligten, sauerstoffliebenden Bodenbakterien stört und unheilvolle Reduktionsvorgänge hervorruft (S. 48 u. 110). Ohne Sauerstoff kann die Humusbildung nur in unvollkommenem Grade vor sich gehen, namentlich werden die stickstoffhaltigen Bestandteile nicht in die vorteilhafteste Stickstoffverbindung (salpetersaure Salze) übergeführt, ja es werden die bereits gebildeten Nitrate unter Abscheidung von freiem Stickstoff wieder zerstört (S. 110). Während bei Anwesenheit von Sauerstoff der Kohlenstoff der organischen Bodenbestandteile in das nützliche Kohlendioxyd umgesetzt wird, tritt bei Sauerstoffmangel das vielleicht schädliche Sumpfgas (CH_4) auf (§ 58), der Schwefel der Pflanzenreste wird in das giftige Schwefelwasserstoffgas umgewandelt, die der Pflanzenernährung dienenden schwefelsauren Salze zu Sulfiden reduziert, die Schwefelwasserstoff entwickeln und bei späterer Berührung mit Luftsauerstoff gefährliche Pflanzengifte (Schwefelsäure und Ferrosulfat) liefern können. Ein Übermaß von Wasser führt ferner auf ton- und humusreichen und auch auf Moorböden leicht eine gefürchtete Erscheinung: das „Aufrieren“ des Bodens und in Verbindung damit das „Auswintern“ der Winterfrüchte herbei. Indem das die oberen Bodenschichten erfüllende Wasser gefriert und sich dabei um 10 % des ursprünglichen Raumes ausdehnt, drängt es die festen Bodenteilchen voneinander, hebt bisweilen die ganze Oberflächenschicht empor, so daß die feinen Pflanzenwurzeln zerreißen und die Pflanzen verdorren, wenn nicht nach dem Auftauen der Boden rechtzeitig durch Walzen wieder angedrückt wird.

Vom Einfluß des Bodenwassergehalts auf die „Spät-“ oder „Nachtfröste“ wird gelegentlich der Ausführungen über die *Bodenwärme* die Rede sein.

Ein andauernder Wassergehalt des Bodens, der seiner vollen Wasserkapazität (s. o.) entspricht, schädigt unter allen Umständen das Gedeihen der Kulturpflanzen. Andererseits beginnen die Pflanzen bereits Not zu leiden, wenn der Wassergehalt des Bodens unter ein gewisses, bisweilen noch recht hohes Maß sinkt. Letzteres ist bei den verschiedenen Bodenarten sehr verschieden. Es steht offenabr in engster Bezeihung zu ihrer Wasserkapazität (§ 83) und daher insbesondere zu ihrem Gehalt an Boden-

kolloiden. Das Ringen des pflanzlichen Organismus im Boden um das zu seinem Gedeihen nötige Wasser beginnt schon beim Samen. Nach den Untersuchungen von A. Müntz gibt der Boden an den Samen (es wurden zu den Versuchen Weizenkörner verwendet) erst dann das zum Keimen nötige Wasser ab, wenn seine Wasserkapazität völlig gesättigt ist. Solange das nicht der Fall ist, entzieht er sogar dem Samen Wasser. Es zeigte sich weiter, daß der Gehalt des Versuchsbodens an Kolloiden (tonigen und Humusstoffen) ausschlaggebend war für die zum Keimungsvorgang verfügbare Feuchtigkeitsmenge

| | | | |
|---------------------------------|-------|------------------|--------|
| bei einem Bodentongehalt von | 2,4 % | 5,5 % | 13,2 % |
| keimten, die Körner (schon) bei | 2,5 % | (erst) bei 4,2 % | 7,7 % |

Bodenwassergehalt.

Bei einem leichten Sandboden fand schon bei 0,5 %, bei einem humusreichen Gartenboden erst bei 19 % Bodenwasser die Keimung statt. (Im ersteren Fall verfügten die Samenkörner über 10 g Wasser, im letzteren mußte das Keimbett 380 g Wasser enthalten, ehe Keimung möglich war.

Nach den klassischen Versuchen von H. Hellriegel (s. Literaturnachweis) scheint das Optimum des Bodenwassergehalts für die Kulturpflanzen etwa bei 60 % der wasserhaltenden Kraft zu liegen. Ein Wassergehalt von 80 und mehr Prozent wirkte bei seinen Versuchen schädlich, und ebenso hatte ein Sinken unter ein Drittel der Wasserkapazität eine Verminderung der Produktion zur Folge. Demgemäß fingen bei Versuchen von J. Sachs Tabakpflanzen auf einem Lehm Boden mit 8 %, auf einem Sandboden erst beim Austrocknen auf 15, % zu welken an. Auf jüngerem Moortorfacker beobachtete Fleischer 1883 eine erhebliche Schädigung von Roggen und Kartoffeln, als der Wassergehalt der obersten, 5 cm starken Bodenschicht auf 60 % (des feuchten Bodens) gesunken war. Ebenso trat bei Gefäßversuchen auf Hochmoor ein Welken der Haferpflanzen bei 60 % Wassergehalt (des ganzen Gefäßinhalts) ein, während unter gleichen Verhältnissen der auf Sandboden wachsende Hafer bei einem Wassergehalt von 14 % keine Spur von Welken zeigte. So fand endlich C. A. Weber¹⁾ (Moor-Versuchsstation), daß weißer Senf und Hafer Not zu leiden begannen, als auf jüngerem Moostorf der Wassergehalt auf durchschnittlich 66 % sank, dagegen auf Klei- und Sandboden erst beim Sinken auf 14 und 7 %²⁾.

¹⁾ Protok. der Zentralmoorkommission, 39. Sitzung, 1897.

²⁾ Bemerkenswert ist es, daß ein großer Teil der auf Moorboden wild wachsenden Pflanzen mit Vorrichtungen versehen sind, die ihnen einen Schutz gegen allzu starken Wasserverlust gewähren. Nach L. Kny (Die Schutzmittel der Pflanzen, Godesberg, Verlag des Keplerbundes, 1910) dient dazu unter anderem die Verkorkung der Außenmembranen der Oberhautzellen (selbst dünne Korkschichten sind fast undurchlässig für Wasser). Ferner eine Einlagerung von Wachs in die Außenmembran, und endlich schützen sich manche Pflanzen vor

Bei den meisten Böden scheint die obere Grenze, wie schon Hellriegel fand, bis zu der das Bodenwasser noch nicht schädlich wirkt, und bei der andererseits den Pflanzen mit Sicherheit die nötige Wassermenge geboten wird, etwa bei 60 % der größten Wasserkapazität zu liegen. Ein Sinken des Wassergehaltes unter 20 % der Wasserkapazität ist dagegen von Übel ¹⁾.

§ 91.

Auf die *Herstellung eines für das Gedeihen der Pflanzen förderlichen Bodenwassergehaltes* kann man durch verschiedene *Maßnahmen* hinwirken. Soweit es sich nicht um die unmittelbare Zu- oder Ableitung von Wasser handelt (s. u.), werden sie sich hauptsächlich auf die Erhaltung und zweckmäßige Verteilung des vorhandenen Wasservorrats richten und dabei eine möglichst günstige Gestaltung der *Oberflächen-* und der *Untergrunds-*verhältnisse ins Auge fassen müssen. Zur Vermeidung einer übermäßig starken Verdunstung dient die Steigerung der Wasserfesthaltungskraft durch Anreicherung der oberen Schichten mit Kolloidstoffen, z. B. mit tonreichen Bodenarten (Lehmmergel, Seeschlick u. dgl.), mit humosen oder humusliefernden Stoffen, wie Moorerde, Stalldünger, der Anbau von Gründüngungspflanzen. Ferner eine Einschränkung des kapillaren Wasseranstiegs an die verdunstende Oberflächenschicht durch Lockerung der Oberfläche mittels Pflug und Egge behufs Erweiterung der Bodenporen, wodurch zugleich das Eindringen des Regenwassers erleichtert wird. Der Landwirt weiß, daß ein rechtzeitiges Lockern des Bodens bis zu einem gewissen Grad die Niederschläge ersetzen kann.

Ähnlich wie diese Maßnahme wirkt das Bedecken des Bodens mit nicht oder nur wenig kapillar leitenden Stoffen. Das ist z. B. der Fall bei dem auf dem Boden zurückbleibenden Abfall der Waldbäume (Laub, Nadeln, Zweige), deren Fortnahme (zur Benutzung als Einstreu) insbesondere auf leichten trockenen Böden verderblich zu wirken pflegt ²⁾.

der Wasserverdunstung durch zeitweiliges Schließen ihrer Spaltöffnungen. Man darf hieraus ein Zeichen dafür sehen, daß trotz des großen Wassergehalts des Moorbodens die Pflanzen ohne solchen Schutz Not leiden würden.

¹⁾ Übrigens ist auch das Aneignungsvermögen für Bodenwasser bei den verschiedenen Pflanzen verschieden groß. Viele Pflanzen treiben starke „Pfahlwurzeln“, die das Wasser aus großen Bodentiefen aufnehmen können und sich durch Seitenwurzeln „1. und 2. Ordnung“ derartig verzweigen, „daß in dem ganzen Wurzelbereich einer großen Pflanze auch nicht ein Kubikzentimeter Erde zu finden ist, der nicht von einem Wurzelästchen durchwachsen und ausgebeutet würde“ (F. Noll). Andere wieder sind vermöge der Ausbildung feinsten Würzelchen mit zahlreichen Wurzelhaaren imstande, sich so innig an die festen Bodenteilchen anzulegen, daß sie diesen selbst einen Teil des durch Flächenanziehung fest anhaftenden Wassers (allerdings nie das ganze) zu entziehen imstande sind.

²⁾ Allerdings kann nach E. Ramanns Untersuchungen diese natürliche Bodendecke den Bodenwassergehalt auch ungünstig beeinflussen, wenn sie als

Daß beim Anbau wertvoller Gartengewächse die Gärtner zur Verhinderung des Austrocknens den Boden mit locker liegenden Stoffen wie Laub, Reisig, Stalldünger bedecken dürfte, bekannt sein.

Dahin gehört auch das Bedecken der Weinbergsböden mit Steinen.

Von dem Schutz, den das Aufbringen von Stoffen mit geringerer Kapillarität auf Böden mit starkem Verdunstungsvermögen gewährt, macht man bei der Rimpauschen *Moordammkultur* ausgedehnten Gebrauch. Die aufgebrachte mineralische Bodendecke wirkt um so stärker feuchtigkeiterhaltend, je grobkörniger sie ist ¹⁾. (Zugleich verhindert sie das „Mulligwerden“ und das Aufreißen der Bodenoberfläche unter dem Einfluß der Sonnenwärme.)

So förderlich eine Verminderung der Kapillarräume in der Oberflächenschicht für die Erhaltung des Bodenwasservorrats sein kann, so schädlich wirkt sie unter Umständen, wo es auf eine Versorgung gerade der oberen Bodenschicht mit Feuchtigkeit ankommt, sei es zum Nutzen keimender Samen, sei es zur Tränkung flachwurzelter Gewächse. Schon die in vielen Moorstorfböden in großer Menge vorkommenden Wurzelstöcke des gemeinen Wollgrases machen sich nach den Beobachtungen von B. Tacke dadurch unangenehm bemerkbar, daß sie den Zusammenhang des im übrigen stark kapillar leitenden Moostorfs unterbrechen ²⁾.

Besonders empfindlich zeigen sich Wiesen und Weiden auf Hochmoor gegen ein zu schwaches Kapillarvermögen der Oberflächenschicht. Selbst bei schwacher Senkung des Grundwassers trocknet in regenarmen Zeiten die zur Herstellung eines geeigneten Keimbettes gelockerte Kulturschicht so stark aus, daß die flachwurzelter Futtergewächse Not leiden. Schon der Tritt des Weideviehs, unter dem das Moor sich verdichtet und seine Haarröhrchenkraft wiedergewinnt, schafft hier bis zu einem gewissen Grade Abhilfe. Als ein weit vollkommeneres Mittel zu gleichem Zweck hat sich nach den neueren Versuchen der Moor-Versuchsstation die häufige Verwendung sehr schwerer Beton- oder Eisenhohlwalzen mit Wasserfüllung bewährt ³⁾. (Eingehenderes darüber s. Fleischer, Moorwiesen und Moorweiden; Literaturnachweis.)

„Rohhumus“ dem Boden so dicht auflagert, daß sie die schwächeren Niederschläge in sich aufsaugt, den stärkeren das Eindringen in den Boden erschwert. Er empfiehlt für solche Fälle eine Lockerung der Humusschicht und ein Vermischen mit dem darunter lagernden Mineralboden.

¹⁾ Sehr grobkörnige, von Feinsand freie Sande können die Verdunstung des Bodenwassers soweit einschränken, daß die Pflanzen vom Wasserüberschuß Not leiden.

²⁾ In solchen Fällen empfiehlt es sich, die der Vererdung lange Zeit widerstehenden Pflanzenreste mechanisch zu entfernen oder durch Feuer zu zerstören.

³⁾ Die mit der Verdichtung der Bodenoberfläche eintretende Zunahme der Feuchtigkeit konnte B. Tacke ziffermäßig nachweisen. Es enthielt die 5 cm

Der Austrocknung des Bodens durch die die Verdunstung befördernden Winde sucht man in manchen Gegenden durch die Anlage von Hecken und von Baumanpflanzungen entgegenzuwirken¹⁾.

Von sehr erheblichem Einfluß auf die günstige Gestaltung der Bodenwasserverhältnisse sind Beschaffenheit und Behandlung der Untergrundschichten. So wie ein kolloidreicher toniger Untergrund auch die darüber liegenden, leicht austrocknenden sandigen Schichten mit dem nötigen Wasser speisen kann, so können die Wasserverhältnisse eines schweren, von Natur nassen Tonbodens durch Auflagerung auf einen durchlässigen kiesigen Sand sehr verbessert werden. Unter gewöhnlichen Verhältnissen pflegen die tieferen Bodenschichten an Wasser reicher zu sein als die oberen. Daher wird eine Bodenbehandlung, die den Pflanzen ein tieferes Eindringen ermöglicht, ihnen die Wasserversorgung erleichtern. So die Lockerung des Untergrundes durch Grubber, Untergrundspflüge und ähnliche Geräte, ferner der Anbau tiefwurzelnder Pflanzen, so besonders der tief eindringenden Lupine, aber auch anderer Schmetterlingsblütler, wie Klee, Erbsen, Bohnen, die nicht nur die Fähigkeit besitzen, sich selbst aus den tieferen Bodenschichten mit Wasser zu versorgen, sondern die letzteren auch durch die hinterlassenen Wurzelröhren für die Nachfrucht zugänglich machen.

Die oben erwähnte Hebung des Untergrundwassers in das Wurzelgebiet der Pflanzen durch Förderung der Haarröhrenkraft (Walze!) hat zugleich die wichtige Folge, daß mit dem aufsteigenden Wasser auch ein Teil der versunkenen löslichen Nährstoffe den Pflanzen wieder zugeführt werden.

Einer Übersättigung des Bodens mit Wasser kann man durch möglichstes Abfangen des Zuflusses sowie durch Abführung des eingedrungenen Wassers nach der Tiefe oder nach den Seiten hin (durch Anlage von Brunnen, („Vertikaldränung“) Gräben, Dräns, wo nötig nach Durchbrechung undurchlässiger Bodenschichten) und ferner durch Begünstigung der Verdunstung entgegenarbeiten. Maßregeln, die den kapillaren Aufstieg befördern, werden hier nützlich wirken, also auf der einen Seite möglichste Vergrößerung der Oberfläche (durch Anlage von Rücken-

starke Oberflächenschicht eines gewalzten Bodens im Liter 649 ccm, eines nicht gewalzten nur 505 ccm Wasser, also auf der nicht gewalzten fast 29 % Wasser weniger. Infolge des Walzens stiegen die Durchschnittserträge auf Hochmoordauerwiesen in wenigen Jahren von 5000 auf 7000 kg Heu für 1 ha. Übrigens hat sich auch bei Grasländereien auf Niedermoor der Gebrauch der schweren Glatzwalzen in hohem Grade bewährt. (K r a h m e r in der Festschrift des Ver. z. Förd. d. Moorkultur — s. Literaturverzeichnis.)

¹⁾ Andererseits sind jedoch derartige Anlagen geeignet, die Gefahr der Spätfroste (s. u.), Anmerkung zu verstärken.

Rabaaten), anderseits ein Dichtwalzen der obersten Schicht, Entfernung von nicht oder wenig kapillar leitenden Bodenbedeckungen¹⁾ (s. o.).

§ 92.

Die künstliche Bewässerung. Endlich bietet die direkte Zufuhr von Wasser, wie sie bei der künstlichen Bewässerung von Wiesen und Ackerland vielfach geübt wird, ein Mittel, um den Bodenwassergehalt günstiger zu gestalten. Allerdings hat man bei jener Maßnahme allermeist nicht ausschließlich die Anfeuchtung des Bodens, sondern noch andere Zwecke im Auge. So kann das Überstauen und Berieseln einer Wiese im Frühjahr deren *Temperaturverhältnisse* günstig beeinflussen, weil das Wasser zu dieser Zeit wärmer als der Boden zu sein pflegt²⁾. Nicht zu unterschätzen ist ferner die „bodenreinigende“ Tätigkeit des mit Luftsauerstoff beladenen Wassers, denn dieser verhindert die Bildung pflanzen-schädlicher Reduktionsprodukte im Boden (s. o.) oder zerstört sie, wo sie bereits entstanden sind. Es liegt auf der Hand, daß diese heilsamen („Oxydations“-) Vorgänge nur eintreten können, wenn das Wasser Gelegenheit hatte, reichliche Mengen von Sauerstoff aufzunehmen. Bereits zur Berieselung benutztes Wasser wirkt schwächer oder selbst ungünstig, weil es den gelösten Sauerstoff zum Teil oder ganz verloren und sich dafür mit Kohlendioxyd und mit schädlichen Zersetzungsprodukten des Bodens (z. B. mit Schwefelwasserstoff) angereichert hat. Die reinigende Wirkung des Wassers wird in solchem Fall wieder hergestellt, wenn bei ausgiebiger Berührung mit der atmosphärischen Luft das Kohlendioxyd entweichen kann, die schädlichen Zersetzungsprodukte durch Oxydation zerstört und neue Sauerstoffmengen aufgenommen werden. Man bezeichnet diesen (bereits den alten Römern bekannten) wichtigen Vorgang als die „Selbstreinigung der Wasserläufe“³⁾.

¹⁾ So hat sich bei R i m p a u schen Moordämmen, die ungenügend entwässert waren, ein zeitweiliges, streifenweises Bloßlegen des Moores bewährt. (Dr. Freiherr von Wangenheim-Kl. Spiegel). Ähnlich wirkt wiederholter Kartoffelanbau mit starkem Behäufeln der Pflanzen. Die obigen Erörterungen lassen zugleich erkennen, daß auf Moorböden, die sich nicht genügend entwässern lassen, das Aufbringen von Bodenarten mit geringerem Kapillarvermögen, als es das Moor selbst besitzt, von Übel ist (s. auch S. 170 Anm. 1).

²⁾ Nach Untersuchungen der *Landwirtschaftlichen Versuchsstation zu Münster* (s. K ö n i g, Literaturnachweis) betrug z. B. die Durchschnittstemperatur bei 33 cm Tiefe:

| | Vom 30. Nov. bis 10. Dezbr. 1880. | Vom 15. bis 17. März 1881. |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Im berieselten Boden | 4,8° C. | 3,8° C. |
| Im nicht berieselten Boden . . | 4,3° C. | 3,5° C. |

³⁾ In dem Gehalt des zugeführten Wassers an freiem Sauerstoff wird man neben seiner anfeuchtenden Wirkung den Hauptnutzen der Bewässerung zu suchen haben, der in den meisten Fällen die unmittelbar düngende Wirkung

Eine *düngende* Wirkung kommt dem Bewässerungswasser zu, wenn es aus dem anstehenden Gestein, aus den Abgängen menschlicher Niederlassungen oder gewisser gewerblicher Betriebe¹⁾ größere Mengen von Pflanzennährstoffen in sich aufgenommen hat. Diese können im Wasser gelöst sein oder als Bestandteile ungelöster Schlammstoffe vom *bewegten* Wasser schwebend erhalten werden („Schlick“, „suspendierte“ oder „Sink“-stoffe)²⁾. Letztere werden auf den bewässerten Böden zum größten Teil abgesetzt, die ersteren fließen, soweit sie nicht von den wachsenden Pflanzen aufgenommen oder vom Boden absorbiert³⁾ werden, mit dem ablaufenden Wasser wieder von dannen.

des Bewässerungswassers weit übertrifft. Wenn in neuerer Zeit die Besprengung unserer Böden mit fein verteiltem Wasser immer mehr Freunde gewinnt, so glaube ich den Vorteil dieser „*künstlichen Beregnung*“ wesentlich in dem hohen Gehalt der mit der Luft in innigster Berührung gewesenen Wassertropfen an Luftsauerstoff erblicken zu sollen.

¹⁾ Nicht selten werden allerdings die natürlichen Wasserläufe auch mit schädlichen Abgängen aus technischen Betrieben derart angereichert, daß sie für landwirtschaftliche Nutzung ganz ungeeignet erscheinen, so namentlich mit freien Säuren, mit Salzen der schweren Metalle (Kupfer, Zink, Eisen u. a.), mit übergroßen Mengen von Natrium-, Magnesium-, Calcium-Chloriden und Sulfaten, die entweder als Pflanzengifte oder auch dadurch ungünstig wirken, daß sie den Boden verschlämmen (§ 80) oder durch Wechselersetzung (S. 147) wertvolle Bodenbestandteile in Lösung und damit leicht in Verlust bringen.

²⁾ Nach Untersuchungen der Moor-Versuchsstation (F. Seyfert, Das Wasser im Flußgebiet der Weser, Bremen, M. Nöbler, 1893) wurden in 1000 l Weserwasser im Durchschnitt der wärmeren Jahreszeit der Jahre 1888–1890 bei einer Tiefe von 1½ m gefunden:

| Etwa 20 km unterhalb der Stadt Bremen: | Feste Stoffe | Kali | Kalk | Magnesia | Schwefelsäure | Phosphorsäure | Chlor |
|--|--------------|------|------|----------|---------------|---------------|-------|
| | g | g | g | g | g | g | g |
| In Wasser gelöst . . . | 291,0 | 6,5 | 76,3 | 15,4 | 57,0 | Spur | 49,7 |
| In Form von Schlick . . | 14,5 | 0,4 | 0,7 | 0,8 | 0,2 | 0,3 | 0,3 |
| Zusammen: | 305,5 | 6,9 | 77,0 | 16,2 | 57,2 | 0,3 | 50,0 |

Etwa 60 km unterhalb der Stadt Bremen (erheblicher Einfluß des Seewassers!):

| | | | | | | | |
|-------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| Im Wasser gelöst . . . | 8561,3 | 143,6 | 176,0 | 413,1 | 454,4 | Spur | 4342,5 |
| In Form von Schlick . . | 258,6 | 5,5 | 12,8 | 6,9 | 2,2 | 1,3 | 7,3 |
| Zusammen: | 8819,9 | 149,1 | 188,8 | 420,0 | 456,7 | 1,3 | 4349,8 |

³⁾ Über Bodenabsorption s. u. Die Menge der absorbierten Stoffe richtet sich hauptsächlich nach der Beschaffenheit des Bodens. Besitzt dieser kein großes Absorptionsvermögen, so kann das Bewässerungswasser selbst reicher an gelösten Stoffen abfließen, als es aufgeflossen ist, so daß also die Bewässerung geradezu eine Verarmung des Bodens herbeiführt. Am ehesten kann man noch auf eine Absorption des Kali und der allerdings meist nur in Spuren vorhandenen Phosphorsäure rechnen.

§ 93.

Die Bodenluft und die Durchlüftbarkeit („Permeabilität“) des Bodens.

Alle nicht von Wasser eingenommenen Hohlräume des Bodens sind mit Luft erfüllt. Die Bodenluft ist zwar ein Teil der atmosphärischen Luft, sie ist aber in ihrer Zusammensetzung durch im Boden sich vollziehende physikalische, chemische und biologische Vorgänge stark beeinflusst. Das Bodenwasser löst die Hauptbestandteile der Luft, Sauerstoff und Stickstoff nicht in gleichem Maße und bewirkt so eine Verschiebung des Mischungsverhältnisses zwischen beiden Gasen. Es entzieht ferner der Luft ihre leichtlöslichen zufälligen Bestandteile: Ammoniak-, Salpetersäure-, Salpetrigsäure-Verbindungen. Auch die Flächenanziehung der festen Bodenteile mag Veränderungen in dem ursprünglichen Verhältnis von Sauerstoff und Stickstoff herbeiführen. Hauptsächlich aber sind es die Vorgänge chemischer und biologischer Natur, die die Zusammensetzung der Bodenluft bestimmen. Die Oxydation anorganischer Bodenbestandteile, besonders aber die Atmung der lebenden und die langsame Verbrennung der abgestorbenen Pflanzen entzieht der Bodenluft große Mengen von Sauerstoff, und die letztgenannten Vorgänge bereichern sie dafür mit Kohlendioxyd. Die Fäulnis organischer Stoffe führt ihr Schwefelwasserstoff und Sumpfgas zu. Ein Teil ihres Stickstoffs wird durch die Tätigkeit stickstoffbindender Bakterien festgelegt. Je nachdem diese Vorgänge mehr oder weniger energisch verlaufen und je nach der Zusammensetzung der verschiedenen Böden wird natürlich auch die Zusammensetzung der Bodenluft in weiten Grenzen schwanken. Im allgemeinen aber läßt sich sagen, daß die Bodenluft ärmer an Sauerstoff, etwas reicher an Stickstoff und um ein Vielfaches reicher an Kohlendioxyd ist als die atmosphärische Luft.

In 100 Raumteilen enthält

atmosphärische Luft:

| Stickstoff | Sauerstoff | Kohlendioxyd |
|----------------|----------------|----------------------|
| 79,1 Raumteile | 20,9 Raumteile | 0,03—0,04 Raumteile. |

Dagegen fand Boussingault in 100 Raumteilen

Bodenluft:

| Stickstoff | Sauerstoff | Kohlendioxyd |
|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 78,80—80,24 Raumteile | 18,80—20,03 Raumteile | 0,72—5,79 Raumteile. |

Die Bestimmung des Kohlendioxyds in der Bodenluft bietet ein Maß für die Energie der Zersetzung bei den organischen Bodenbestandteilen. Nach Untersuchungen der Moor-Versuchsstation (R. Kießling und M. Fleischer) enthielten z. B. 100 Raumteile Bodenluft (auf 760 mm Barometerdruck und 0° berechnet):

| Datum | Durchschnittl. Lufttemperatur ° C | Hochmoorboden | | | | Niederungsmoorboden | |
|---------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| | | Unbesandet | | Mit Sand gedeckt | | Mit Sand gedeckt | |
| | | Boden- temperatur ° C | Raum- teile CO ₂ | Boden- temperatur ° C | Raum- teile CO ₂ | Boden- temperatur ° C | Raum- teile CO ₂ |
| 5. April | 10,60 | 2,00 | 0,55 | 2,70 | 0,18 | 7,00 | 1,29 |
| 20. August bis 1. September. | 25,25 | 19,18 | 1,68 | 20,32 | 1,27 | 19,49 | 4,21 |

Hiernach ist der Gehalt der Bodenluft an Kohlendioxyd in der wärmeren Jahreszeit weit höher als in der kälteren. Ferner: die Bedeckung des Hochmoorbodens mit Sand vermindert den Gehalt der Bodenluft an Kohlendioxyd und endlich: der Kohlendioxydgehalt der Bodenluft des Niederungsmoores ist weit größer als der des Hochmoores. Und aus diesen Ergebnissen wird man mit großer Sicherheit schließen dürfen: in der wärmeren Jahreszeit ist die Umsetzung der organischen Bodenbestandteile eine weit energischere als in der kälteren. Die Bedeckung des Hochmoorbodens mit Sand setzt die Umsetzung der organischen Bodenbestandteile herab. Die Zersetzung der niederungsmoorbildenden Pflanzenteile erfolgt schneller als die der hochmoorbildenden.

Aus den früheren Erörterungen über die Bedeutung der Bodenluft für die Kulturpflanzen geht hervor, daß deren Gedeihen an einen häufigen Wechsel der Bodenluft, namentlich an den Ersatz ihres zu Oxydationsprozessen und zur Wurzelatmung der Pflanzen verbrauchten Sauerstoffs durch atmosphärischen Sauerstoff und an die Entfernung der dem Pflanzenleben schädlichen Gase gebunden ist. Der Luftaustausch zwischen Boden und Atmosphäre wird im wesentlichen durch drei Faktoren vermittelt: durch *Temperaturunterschiede* der Bodenschichten und der Luft, durch die *Diffusion* der Gase und durch verdunstendes und *fließendes Wasser*. In der kälteren Jahreszeit steigt die wärmere Bodenluft nach oben und wird durch die kältere und daher schwerere atmosphärische Luft ersetzt. Die *Diffusion*, d. i. das allen gasförmigen Körpern eigene Bestreben, sich gegenseitig zu durchdringen und, unabhängig von ihrer spezifischen Schwere, sich gleichmäßig miteinander zu vermischen, kommt in allen Jahreszeiten zur Geltung, sobald nur die Bodenbeschaffenheit den Ein- und Austritt von Luft gestattet. Sie vollzieht sich um so leichter, je größer und zahlreicher die Hohlräume im Boden sind. Sehr dicht gelagerte Bodenschichten sowie die Erfüllung der Hohlräume mit Wasser können sie völlig verhindern. Nach dem Diffusionsgesetz diffundiert ein Gas um so schneller, je geringer sein spezifisches Gewicht ist. Das bei der Oxydation der humosen Bodenbestandteile sich bildende Kohlendioxyd

(CO₂) ist von allen hier in Frage kommenden Luftarten die schwerste; es vermischt sich am langsamsten mit den übrigen Luftbestandteilen, und auch deswegen ist die Bodenluft stets reicher daran als die atmosphärische Luft. Endlich wird der Luftwechsel im Boden durch Verdunstung des Bodenwassers und durch Eindringen von atmosphärischen Wasser im den Boden gefördert. Durch die Bodenwasserverdunstung wird ein großer Teil der Bodenhohlräume dem Eindringen der atmosphärischen Luft geöffnet. Das auf den Boden fallende und einsickernde Regenwasser bereichert durch den eigenen Gehalt an Luftsauerstoff, besonders aber dadurch den Boden, daß es beim Einsickern eine saugende Wirkung auf die atmosphärischen Gase ausübt.

§ 94.

Einfluß menschlichen Eingreifens auf die Durchlüftung des Bodens. Es liegt auf der Hand, daß alle auf die Herstellung des Krümelzustandes und auf sonstige Lockerung des Bodens gerichteten Maßnahmen, wie Pflügen, Eggen, Hacken, das Einbringen von auflockernden Materialien (von frischem strohigen Stalldünger, groben Torfstücken u. dgl.), ferner das Durchbrechen sehr dichtgelagerter Bodenschichten (z. B. des Tones, des Ortsteins, des Raseneisensteins), endlich eine tiefere Wassersenkung, das Eindringen der atmosphärischen Luft erleichtern müssen¹⁾. In ähnlicher Weise, wie es durch den Regen geschieht, sucht man auch durch die seitliche Zufuhr von Wasser über die Bodenoberfläche („Berieselung“) den Boden mit Luftsauerstoff zu versorgen. Je mehr Luftsauerstoff das Rieselwasser vorher aufnehmen konnte, um so wohltätiger wird nach dieser Richtung hin seine Wirkung sein (§ 92).

§ 95.

Das Verhalten des Bodens gegen die Wärme. Das Gedeihen der Pflanze ist an gewisse Wärmegrade gebunden, unterhalb und oberhalb deren ihre Lebenstätigkeit gefährdet wird und aufhört. Die ihr zur Verfügung stehende Wärmemenge richtet sich einerseits nach den örtlichen klimatischen Verhältnissen, anderseits nach der Beschaffenheit des Bodens, den man als einen von den Sonnenstrahlen gespeisten Wärmebehälter²⁾

¹⁾ In neuerer Zeit wurde zur Förderung der Bodendurchlüftung vom Oberlandmesser Friedersdorf ein Verfahren ausgearbeitet, welches durch ein Netz von Dränröhren eine Luftbewegung im Boden bewirken soll. Siehe darüber die Ausführungen von Geh. Reg.-Rat Krüger-Berlin, D. Landw. Presse 1912 Nr. 53, und von Baurat Mierau, Mitt. d. Ver. z. Förd. d. Moork. Jahrg. 1913, S. 2.

²⁾ Allerdings besitzt die Erde auch eine gewisse, nur zum Teil von den Sonnenstrahlen bedingte Eigenwärme, die sich (im Mittel der Beobachtungen auf 30 m je um 1° zunehmend) in größeren Tiefen sehr bemerklich macht, aber

ansehen kann. Je mehr Wärme dieser aufnimmt, je mehr er davon für die Pflanzen verfügbar hält, um so wohler werden sich die letzteren im allgemeinen befinden.

Absorption der Sonnenstrahlen. Der Boden empfängt unter sonst gleichen Verhältnissen¹⁾ von der Sonne um so mehr Wärme, je günstiger seine Lage zu den auffallenden Sonnenstrahlen und je größer sein Absorptionsvermögen für die letzteren ist. Gegen *Süden* und *Osten* geneigte Flächen werden stärker von der Sonne bestrahlt als *nördliche* und *westliche* Hänge und müssen daher im allgemeinen wärmer sein als die letzteren²⁾. Die Strahlenmenge, die vom Boden aufgenommen und zu seiner Erwärmung verwendet wird, richtet sich nach der Beschaffenheit der Bodenoberfläche. Je *rauher* die Oberfläche, um so mehr Bodenteilchen können durch die Sonnenstrahlen Wärme empfangen, je *dunkler* ihre Farbe, um so mehr Strahlen werden von ihr absorbiert und in Wärme umgesetzt³⁾.

§ 96.

Die von den Sonnenstrahlen der Erdoberfläche mitgeteilte Wärme pflanzt sich durch *Leitung* in die tieferen Bodenschichten fort, und zwar

den Pflanzen an der Oberfläche nur in Ausnahmefällen zugute kommen dürfte. Ferner wird durch die unablässig, insbesondere im *gedüngten* Boden sich vollziehenden chemischen Umsetzungen Wärme erzeugt, deren Mengen aber wahrscheinlich gleichfalls so unbedeutend sind, daß wir sie unberücksichtigt lassen können. Auch durch physikalische Vorgänge kann eine Erwärmung hervorgerufen werden. So entwickelt sich bei der Aufnahme von Wasser durch trockenen Boden infolge der hierbei stattfindenden Verdichtung des Wassers an der Oberfläche der Bodenbestandteile Wärme, die man nach A. Mitscherlich als „Benetzungswärme“ bezeichnet. Ihre Menge ist von der Art, Form und Größe der Bodenbestandteile abhängig, aber zu gering, um für den Pflanzenwuchs in Frage zu kommen. Ihre Bestimmung bietet jedoch ein brauchbares Maß für die Größe der Bodenoberfläche (Summe der Oberflächengrößen sämtlicher festen Bodenteilchen), deren Feststellung für zahlreiche Zwecke der Bodenkunde wünschenswert ist (s. u. a. die Ausführungen über die Kolloide).

¹⁾ Es wird hier von den Umständen abgesehen, die eine Verminderung der Bestrahlung herbeiführen, wie z. B. die Beschattung des Bodens, das Bedecken desselben mit schlechten Wärmeleitern, ein dichter Pflanzenbestand u. a. m.

²⁾ Diese Tatsache spricht sich besonders deutlich in dem höheren Wert der nach Süden geneigten Weinbergsböden, aber auch Ackerländereien aus. So hat man in den nordwestdeutschen Marschgegenden sich bisweilen genötigt gesehen, durch hohe Wölbung der Ackerbeete wenigstens einen Teil der angebauten Pflanzen dem Wasserübermaß zu entziehen, und hier pflegen die südlichen Abhänge der Äcker sich durch freudigeren Wuchs auszuzeichnen.

³⁾ Die von der Sonne ausgehenden Wärmestrahlen sind teils dunkel, teils hell. Die letzteren bezeichnet man auch als „Lichtstrahlen“. Von hellen Böden werden im wesentlichen nur die dunklen Wärmestrahlen aufgenommen, die hellen zurückgeworfen. (Nur deswegen erscheinen uns diese Böden hell.) Dunkle Böden nehmen nicht nur die dunklen, sondern auch die hellen Strahlen auf und verwerten beide Strahlengattungen zur Erwärmung ihrer Masse.

um so schneller, je größer das *Wärmeleitungsvermögen* des Bodens ist. Das Wärmeleitungsvermögen der verschiedenen *festen* Bodenbestandteile weicht voneinander etwas, aber nicht sehr ab (die Unterschiede dürften für den Pflanzenwuchs ohne Bedeutung sein). Es ist etwas größer als das des Wassers. Von allen Bodenbestandteilen leitet die Bodenluft die Wärme bei weitem am schlechtesten (fast 30mal schlechter als das Wasser). Im allgemeinen wird man sagen können, daß die Wärme am schnellsten sich im Boden fortpflanzen wird, je weniger luftfassende Räume der Boden enthält und je mehr die vorhandenen Hohlräume von Wasser erfüllt sind.

Die Erwärmung des Bodens hängt aber nicht bloß von der durch die Sonnenstrahlen ihm zugeführten Wärmemenge und von deren Fortpflanzung, sondern in hohem Grade auch von der größeren oder geringeren Erwärmungsfähigkeit der Bodenbestandteile, von ihrer „spezifischen Wärme“ oder „Wärmekapazität“ ab.

§ 97.

Die *spezifische Wärme* ¹⁾ der verschiedenen festen *mineralischen* Bodenbestandteile ist nach den vorliegenden Untersuchungen keine wesentlich verschiedene ²⁾. Die Unterschiede kommen für die natürlichen Verhältnisse kaum in Betracht gegenüber der weit überwiegenden Wärmekapazität des flüssigen Bodenbestandteils, des *Bodenwassers*. Um Wasser um einen Grad zu erwärmen, bedarf es einer etwa doppelt so großen

¹⁾ *Spezifische Wärme* oder *Wärmekapazität* eines Körpers nennt man die Wärmemenge, die ihm zugeführt werden muß, um seine *Gewichts-* oder *Raumeinheit* (also 1 g oder 1 ccm) um einen Grad des 100teiligen Thermometers zu erwärmen. Beim Wasser ist es gleichgültig, ob man die spezifische Wärme auf Gewicht oder Raum bezieht, bei den übrigen Körpern liegen die einerseits auf Gewicht und andererseits auf Volum berechneten Zahlen um so weiter auseinander, je mehr ihr spezifisches Gewicht von dem des Wassers abweicht. Da für die Pflanzen der ihnen zur Verfügung stehende *Bodenraum* wichtiger ist als das *Bodengewicht*, so ist es praktischer, die spezifische Wärme des Bodens und der Bodenbestandteile auf das Volum zu beziehen (s. weiter Anm. 2).

²⁾ Nach C. Lang (Wollny: Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1878) beträgt die spezifische Wärme von

| auf die Raumeinheit bezogen: | | | |
|----------------------------------|----------|-------|-----------------|
| Quarzsand | Kalksand | Ton | Torf |
| 0,517 | 0,582 | 0,576 | 0,601 Kalorien, |
| auf die Gewichtseinheit bezogen: | | | |
| 0,196 | 0,214 | 0,233 | 0,477 Kalorien, |

oder, wenn man die Wärmemenge, die einem Kubikzentimeter oder einem Gramm Wasser zugeführt werden muß, um es um 1° C. zu erwärmen, als eine „Kalorie“ bezeichnet, so bedarf zu gleichen Zwecken 1 ccm Quarzsand einer Wärmezufuhr von 0,517, 1 g Quarzsand einer solchen von 0,196 Kalorien. (Man nennt jene Wärmemenge auch „kleine“, dagegen die zur Erwärmung von 1 kg oder 1 l um 1° nötige Wärmemenge „große“ Kalorie.)

Wärmemenge, als zu gleicher Erwärmung des gleichen Volums von einem festen Bodenbestandteil erforderlich ist. Da nun gerade die Kolloide und unter ihnen besonders die Humusstoffe in hervorragendem Maße das Wasser aufzunehmen und festzuhalten vermögen, daher stets die wasserreichsten Bodenbestandteile sind, so kommt die geringe spezifische Wärme des *trockenen* Humus im Boden eigentlich nie zur Geltung, ja, man wird bei ihrer stetigen Vergesellschaftung mit großen Wassermengen geradezu sagen dürfen, daß unter natürlichen Verhältnissen die Humussubstanzen unter allen festen Bodenbestandteilen die höchste Wärmekapazität besitzen. Ganz allgemein aber gilt der Satz: Je nasser ein Boden ist, um so größerer Wärmezufuhr bedarf er zur Erhöhung seiner Temperatur, um so schwerer erwärmt er sich. Dazu kommt noch, daß bei nassen Böden die *Verdunstung* größer ist als bei trockeneren, und stärkere Verdunstung stets mit einem größeren Wärmeverlust verbunden ist. Bei nassen Böden wird mithin eine größere Menge von Wärme zur Erhöhung der Bodentemperatur und zur Überführung von Wasser in Wasserdampf verbraucht, die für die Pflanzen verlorengeht, und es erscheint der von der Praxis aufgestellte Satz: „*Nasse Böden sind kalte Böden*“ durchaus gerechtfertigt.

Wie aber bei Zufuhr gleicher Wärmemengen ein Raumteil Wasser nur etwa halb so stark erwärmt wird als ein gleicher Raumteil fester Bodenbestandteile, so kühlt sich bei Entziehung gleicher Wärmemengen das Wasser auch nur halb so stark ab wie die trockenen Bodenbestandteile. Die Temperatur eines wasserreichen Bodens sinkt daher bei Abkühlung der Außenluft auch langsamer als die eines trockenen, und die *Temperaturschwankungen* sind mithin in dem ersteren geringer als in dem letzteren¹⁾, soweit nicht durch starke Wasserverdunstung große Temperaturerniedrigungen hervorgerufen werden.

§ 98.

Wärmeausstrahlung. Von der durch die Sonnenstrahlen dem Boden übermittelten Wärme geht durch Ausstrahlung in den Weltraum ein Teil wieder verloren. Wie groß dieser ist und inwieweit er durch die verschiedenen Bodenbestandteile, also durch die Beschaffenheit des Bodens beeinflusst wird, läßt sich aus den bisher ausgeführten Untersuchungen nicht mit Sicherheit erkennen. Nur scheint von vornherein festzustehen, daß der durch Strahlung herbeigeführte Verlust um so bedeutender sein wird, je größer die Bodenoberfläche, je rauher der Boden ist.

„*Spätfröste*“ oder „*Nachtfröste*“. Die Wärmestrahlung des Bodens ist

¹⁾ Der Gleichmäßigkeit des *Seeklimas* und den großen Temperaturschwankungen des *Kontinentalklimas* liegen dieselben Ursachen zugrunde.

als die vornehmste Ursache eines Ereignisses anzusehen, das selbst in gemäßigten Klimaten in Frühjahrs- und Sommernächten nicht selten auftritt und die Hoffnungen des Landwirts und Gärtners vernichten kann. Der Vorgang der Spät- oder Nachtfröste schließt zahlreiche noch rätselhafte Erscheinungen ein insofern, als das beobachtete Auftreten sowie auch das stellenweise Ausbleiben von Schädigungen sich häufig nicht mit den allgemeinen Erfahrungen in Übereinstimmung bringen lassen. Die Fröste treten nur in windstillen und klaren Nächten (auf nordwestdeutschen Mooren bis in den August hinein) auf. Neblige Luft und Gewölk verhindern sie (wie auch künstliche Entwicklung von Rauchwolken als wirksames Schutzmittel dient). Auch Luftströmungen, welche die unter 0° abgekühlte Luftschicht durch wärmere Luft ersetzen, wirken dem Erfrieren der Pflanzen entgegen. Dagegen sind die in Bodenvertiefungen oder im Schutz von höheren Gegenständen befindlichen Pflanzen gewöhnlich am stärksten gefährdet.

Wenn auch ein Übermaß von Bodenwasser und die dadurch veranlaßte Steigerung der Verdunstung den Wärmeverlust noch verstärken muß, so zeigt doch die Erfahrung, daß trockene Böden stärker von Spätfrösten leiden als normal feuchte. Die Ursache ist in ihrem schwächeren Wärmeleitungsvermögen (s. o.), zu suchen, das nicht ausreicht, um durch Zufuhr aus den tieferen Schichten den Wärmeverlust auszugleichen. (Damit hängt es zusammen, daß Maßnahmen, die eine Anfeuchtung des Bodens zur Folge haben, zugleich ein Schutzmittel gegen die Fröste bilden. So die Zufuhr von Kalidüngesalzen, die durch Wasseranziehung aus der Luft den Boden feuchter machen ¹⁾.)

§ 99.

Beeinflussung der Bodenwärme durch menschliches Eingreifen. Durch geeignete Erdarbeiten sucht man für besonders wertvolle Pflanzen (z. B. in Weinbergen) die *Neigung* der Bodenoberfläche für das Auffallen der Sonnenstrahlen günstiger zu gestalten. Das Aufbringen *dunkelgefärbter* mineralischer Bodenarten (z. B. dünner Lagen von Basaltschutt) begünstigt die Absorption der Wärmestrahlen. Die Bedeckung des Bodens mit lockeren *lufthaltigen* Materialien (Sägespänen, Gerberlohe, trockenen Torfstücken u. a.) in kalter Jahreszeit verringert die Wärmeleitung und damit die Wärmeabgabe an die Außenluft ²⁾. Weit wichtiger als derartige,

¹⁾ Die oben erwähnte Wirkung der Kalisalze ist durch zahlreiche Beobachtungen festgestellt. Dagegen ist nach den Untersuchungen der Moor-Versuchstation von dem durch sie vermehrten Bodenwassergehalt kein Vorteil für die Wasserversorgung der Pflanzen zu erwarten, da das von ihnen festgehaltene Wasser ebensowenig an die Pflanzen abgegeben wird wie der größte Teil des kolloidal festgehaltenen.

²⁾ Aber auch die Fortpflanzung der von ihrer obersten Schicht absorbierten Sonnenwärme nach der Tiefe hin.

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 mit körnigem 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 ersteren, die „Blattnährstoffe“, sind *Kohlendioxyd* („Kohlensäure“) 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 Luftschicht, also besonders durch Verstärkung der Kohlensäureerzeugung im Boden (Stallmist-, Kompost-, Moorerdezufuhr, Gründüngung 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.