



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# **Die Bodenkunde auf chemisch-physikalischer Grundlage**

**Fleischer, Moritz**

**Berlin, 1922**

Zweites Kapitel. Die Vorgänge bei der Bodenbildung.

---

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

## Zweites Kapitel.

### Die Vorgänge bei der Bodenbildung.

Schon bei der Besprechung der gesteinbildenden Mineralien und mehr noch der sedimentären oder Flözgesteine wurden einige der wichtigsten Faktoren angedeutet, die unablässig an der Umwandlung der harten Erdrinde in eine lose, lockere, für die Hervorbringung von Pflanzen geeignete Erdmasse, mit einem Wort, in „Boden“ tätig sind. Ihre Natur und ihr Walten eingehender zu erörtern ist die Aufgabe dieses Kapitels.

*Die bei der Bodenbildung beteiligten Kräfte* sind teils mechanisch, teils chemisch, teils biologisch wirkende.

#### A. Mechanische Vorgänge.

##### § 39.

**Temperaturänderungen.** Bei steigender Temperatur vergrößern, bei sinkender vermindern mit wenigen Ausnahmen alle Körper ihr Volum, und zwar sowohl je nach dem stärkeren oder schwächeren Ansteigen und Sinken der Wärme, als auch nach ihrer verschiedenen Beschaffenheit in verschiedenem Maße. Bei gleichartigen Körpern dehnt sich die stärker erwärmte Oberfläche mehr aus als das schwächer erwärmte Innere, in Körpern, deren Masse verschiedenartige Bestandteile enthält, auch bei gleichmäßiger Durchwärmung der eine Gemengteil mehr als der andere. Hierdurch werden bei Gesteinen, die sehr starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, im Innern Zerrungen und Pressungen hervorgerufen, die eine um so stärkere Lockerung des Zusammenhanges zur Folge haben, je ungleichmäßiger die Erwärmung derselben und je verschiedenartiger ihre Bestandteile sind. Es entstehen in dem festen Gestein Risse und Spalten, die anderen Agenzien Zugang und Gelegenheit verschaffen, ihre zerstörende Tätigkeit auf das Innere des Gesteins auszudehnen.

##### § 40.

*Die Ausdehnung des Eises.* Haben sich erst durch irgendwelche Einwirkungen in einem Gestein Spalten gebildet, in denen Wasser sich ansammeln und zum Gefrieren kommen kann, so ist ein weiteres höchst wirksames Moment zur Zerstörung des festesten Gesteins gegeben. Beim Gefrieren dehnen sich 100 Raumteile Wasser auf 109 Raumteile Eis aus



und dadurch wird eine immer stärkere Erweiterung der Gesteinsspalten und schließlich eine Loslösung größerer und kleinerer Bruchstücke vom Muttergestein herbeigeführt. Man bezeichnet diesen Vorgang als „*Spaltenfrost*“.

#### § 41.

**Die mechanischen Wirkungen des bewegten Wassers und Eises sowie des Windes.** Dieselben sind einerseits auf die *Zertrümmerung der festen Gesteinsrinde*, anderseits auf die Fortführung der Gesteinsbruchstücke nach anderen Stellen gerichtet. Die letzteren Vorgänge bezeichnet man als *Verschwemmung*, *Transport* und *Verwehung*. Wir betrachten zunächst die *zerstörende Tätigkeit* der drei Faktoren.

**Zertrümmerung.** Daß dem unablässig fallenden Tropfen auch das härteste Gestein nicht widersteht, ist eine viel beobachtete und schon in alten Zeiten sprichwörtlich verwertete Erscheinung. Die dadurch hervorgerufenen napfartigen Aushöhlungen können sich unter dem Stoß größerer fallender Wassermassen zu tiefen Löchern und Höhlen erweitern, desgleichen nagt sich das fließende Wasser allmählich in den unterlagernden Fels hinein, Löcher, Rinnen und schließlich Täler hervorbringend, die um so tiefer werden, je größer die Wassermasse, je stärker ihr Gefälle je weicher das angegriffene Gesteinsmaterial ist. Die Rinnenbildung gibt dem hindurchströmenden Wasser Gelegenheit, seine „*erodierenden*“ Wirkungen auf die Ufer des Rinnsals auszudehnen, das anstoßende Gestein zu unterwühlen, sein Nachstürzen und seine Zertrümmerung zu veranlassen.

Eine ähnliche Wirkung übt das durch Ebbe und Flut und durch Wind bewegte *Meereswasser* auf die küstenbildenden Gebirgsarten aus. Sie wird um so eingreifender sein, je höher der Wellenschlag (man hat Wellen von 18 m Höhe beobachtet), je steiler das Ufer, je weicher und zerklüfteter das Küstengestein ist. Während man an manchen, aus besonders widerstandsfähigem Gestein bestehenden Meeresküsten in absehbarer Zeit kaum eine Veränderung wahrnimmt, ist z. B. für die Küste von Norfolk und Suffolk (England) ein jährliches Abnagen von 1 m und mehr landeinwärts festgestellt worden. Ungleichmäßige Beschaffenheit des Gesteins, namentlich Wechsel zwischen leichter und schwerer angreifbaren Gesteinstteilen begünstigt die Zerstörung. Durch Erosion der weicheren Partien werden die widerstandsfähigeren in Form von Platten, Säulen, Nadeln bloßgelegt und unterliegen dann leichter dem nagenden Einfluß des Wassers (Küste von Helgoland)<sup>1)</sup>.

Wesentlich verstärkt wird die zerstörende Wirkung des bewegten Wassers durch die losgelösten Gesteinsbruchstücke, Schutt, Geröll, Kies,

<sup>1)</sup> Helgoland, dessen Größe jetzt etwa  $\frac{1}{100}$  Quadratmeile beträgt, soll vor etwa 1000 Jahren noch  $1\frac{1}{2}$  Quadratmeilen groß gewesen sein.



und Sand, die, vom Wasser fortgerissen, mit kräftigem Stoß auf das anstehende Gestein aufprallen oder dieses durch Reibung allmählich zerschleifen<sup>1)</sup>. Steinen, die durch fließendes Wasser in wirbelnder Bewegung gehalten werden, ist auch die Entstehung jener eigentümlichen, oft in das härteste Gestein eingebohrten Höhlungen zuzuschreiben, die man als „Riesentöpfe“ („Gletschertöpfe“, „Gletschermühlen“) zu bezeichnen pflegt.

Als ein nicht minder gewaltiges Werkzeug zur Zerstörung der Gesteinsmassen ist das Wasser im festen Zustande, das *Eis*, anzusehen. Die vom Wasser gegen den Felsen getragene Eisscholle höhlt diesen in gleicher Weise wie das vom Wasser getriebene Felsstück durch Stoß und Reibung. Weit mächtiger aber ist die Wirkung der großen Eisströme, die von den Kuppen unserer höchsten Gebirge unter dem Druck des sich immer erneuernden Firnschnees und Firneises<sup>2)</sup> unablässig den Tälern der Tiefe zu sich fortschieben und in ihrem Laufe Unterlage wie Ufer ritzen, zerschleifen und zerbröckeln. Diese Eisströme sind die *Gletscher*.

Endlich ist auch dem *Winde* ein bisweilen nicht unerheblicher Einfluß auf die Zernagung festen Gesteins zuzuerkennen. Wie es der Technik gelingt, mittels feinen Sandes, der durch einen kräftigen Luftstrom gegen Glasplatten getrieben wird („Sandgebläse“), in diese die mannigfaltigsten Figuren hinein zu „nagen“, so wirken die vom heftigen Winde — erkann bis 28 m in der Sekunde zurücklegen — bewegten Sand- und Staubteilchen zerreibend zunächst auf die weiche Teile eines Gesteins ein, zerstören so seinen Zusammenhang und führen Zerklüftungen und Abstürze herbei.

Bisher war nur die Rede von der *zerstörenden* Wirkung, die bewegtes Wasser, Eis und Wind auf das anstehende, d. h. noch einen zugehörigen Teil der festen Erdrinde bildende Gestein ausüben. Weit eingreifendere Veränderungen erleiden aber die vom Wasser und Eis mitgeführten Gesteinstrümmer. Je stärker das Gefälle des Wasserlaufes, um so mehr zerreiben sich die fortgerissenen Bruchstücke gegenseitig und an den Wänden des Flußbettes zu immer kleinerem Geröll und schließlich zu feinem Schlamm.

Auch die Gletscher nehmen bei ihrem Vorrücken zahlreiche Gesteins-

<sup>1)</sup> Auffällige Beispiele für die aushöhlende Gewalt des mit Steinschutt beladenen Wassers bieten die steilen, engen Täler Thüringens (Annatal, Drachenschlucht), der Sächsischen Schweiz, die „Klammern“ der Bayrischen und Österreichischen Alpen, ferner die Schluchten des Koloradoflusses in den nordamerikanischen Staaten Utah und Arizona. Hier hat der Fluß durch die Sedimentärformationen hindurch bis in den harten Gneis sich eine 1000–1800 m tiefe Furche („Cañon“ oder „Coulée“) mit zahlreichen Nebenschluchten eingeschnitten.

<sup>2)</sup> *Firn* oder *Firnschnee* nennt man die aus den Flocken des Hochschnees durch Verschmelzung und nachfolgendes Zusammenfrieren entstandene, von zahlreichen Luftbläschen durchsetzte körnige Masse. Durch den Druck der oberen Firnmassen auf die darunter liegenden verdichten sich diese zu *Firneis* und schließlich zu *Gletschereis*.



trümmer, nicht selten mächtige Blöcke mit sich, die entweder durch den Druck des Eises von der unebenen Gletschersohle losgelöst werden, oder, von den den Gletscher seitlich begrenzenden Felsmassen durch Spaltenfrost (s. o.) abgetrennt, auf den Gletscherrand stürzen und die *Seitenmoränen*<sup>1)</sup> des Gletschers bilden. Geraten diese, zunächst scharfkantigen Schuttgesteine durch die bei verschiedenen Veranlassungen sich bildenden Gletscherspalten auf die Sohle des Gletschers oder zwischen diesen und seine felsigen Ufer, so werden sie allmählich zermalmt, in abgerundetes Geröll und in einen feinen Schlamm umgewandelt und von den aus dem Gletscher austretenden Schmelzwässern weiter fortgeführt. (Weiteres darüber s. u.)

### § 42.

**Verschwemmung, Transport, Verwehung.** Die aus dem Gebirge in die Ebene eintretenden *Wasserläufe* verlieren allmählich immer mehr an Stromgeschwindigkeit und damit an Stoß- und Tragkraft für die mitgeführten Gesteinstrümmer. Je größer die letzteren sind, um so früher lagern sie sich ab, die Talsohle erhöhend, so lange, bis der Wasserlauf im alten Bette nicht mehr Platz findet, zudem aufgestaut durch selbstgeschaffene Gesteinsbarren, über seine natürlichen Ufer tritt und die angrenzenden Flächen mit Geröll, Kies und Sand überschüttet. Je *feiner* die im Wasser schwebenden Gesteinsreste sind, und je geringer ihr *spezifisches Gewicht*, um so länger werden sie im Wasser „schwebend“ („suspendiert“) erhalten, um so weiter können sie von ihrer Ursprungsstätte fortgetragen werden, bis auch sie infolge der sich mehr und mehr verlangsamen Stromgeschwindigkeit im Flußgebiete selbst oder in den den Fluß aufnehmenden Seen und Meeren zum Absatz gelangen. Den bei der Verschwemmung hauptsächlich in Betracht kommenden Gesteins-elementen kommt etwa folgendes *spezifisches Gewicht* zu:

Eisenkies	Augit	Apatit	Glimmer	Feldspate	Zeolithe
	Olivin		Chlorit	Nephelin	Kaolin
	Epidot		Magnesit	Serpentin	
	Hornblende		Dolomit	Quarz	
				Kalkspat	
5—5,25	2,9—3,5	3—3,25	2,8—3,1	2,5—2,75	2,—2,25.

Wenn hiernach die spezifischen Gewichte der Mineralien, abgesehen von dem Eisenkies, auch nicht in weiten Grenzen schwanken, so lassen

<sup>1)</sup> Als „End-“ oder „Stirnmoräne“ pflegt man die Schutt- und Geröllmassen zu bezeichnen, die beim Abschmelzen des Gletschers an seiner tiefsten Grenzlinie auf das darunter liegende Gestein stürzen und oft mächtige Wälle bilden. „Mittelmoräne“ nennt man die bei der Vereinigung zweier Gletscherströme aus den beiden einander zugewandten Seitenmoränen sich zusammensetzende Schuttinsel; „Grundmoräne“, die unter dem Gletscherstrom befindliche lose Gesteinsmasse.



obige Zahlen doch darauf schließen, daß die *tonigen* Gesteinsreste sich länger im Wasser schwebend erhalten können als die aus den übrigen Mineralien und namentlich aus Quarz bestehenden *Sande*<sup>1)</sup>. Ganz besonders aber wird die Ablagerung der ersteren erschwert durch die äußerst feine Verteilung und die damit zusammenhängenden kolloidalen Eigenschaften der Gesteinsbestandteile, insbesondere der Tonteilchen. (Näheres darüber unten.) Dennoch kommen auch diese allmählich zum Absatz, wenn die Stromgeschwindigkeit durch irgendwelche Umstände, z. B. durch Gegenströmungen oder durch gehinderten Rückfluß des Wassers nach Überschwemmungen, gemindert wird. Innerhalb des Flußgebietes bilden sich dann durch die stattfindenden Ablagerungen die *Flußmarsch-* oder *Aueböden*. An der Mündung der Flüsse in das Meer tritt zu der den Flußlauf zur Ruhe bringenden Wirkung der *Flut* noch der Einfluß, den die Salze des Meerwassers auf die Flockung und das Niederfallen der suspendierten Tonteilchen ausüben (§ 18). Die an der Mündung der Flüsse in die See sich ablagernden Sinkstoffe (Seeschlick S. 72), bilden dort „Barren“, „Watten“, *Seemarschboden*<sup>2)</sup> und geben unter gewissen Umständen, deren Erörterung uns hier zu weit führen würde, Veranlassung zur Entstehung von „Flußdeltas“. Alle diese noch fortdauernd unter Mitwirkung der Flüsse (und des Windes, s. u.) sich bildenden Ablagerungen rechnet man zum *Alluvium* (§ 3)<sup>3)</sup>.

Ebenso wie das fließende Wasser „transportiert“ das Gletschereis große Steinmassen verschiedenster Art von der Höhe der Berge in die Täler hinab, teils wenig verändert als scharfkantige Bruchstücke, teils zu feinem Staub und Schlamm zermahlen (s. o.), der dann von dem Schmelzwasser aufgenommen und weiter verschwemmt wird. Noch zu unserer Zeit ist diese abtragende Tätigkeit der Gletscher eine sehr bedeutende<sup>4)</sup>, weit

<sup>1)</sup> Eine Folge der durch das fließende Wasser bewirkten „Entmischung“ der Gemengteile eines Gesteins ist z. B. die Entstehung des Geschiebesandes aus dem Geschiebelehm (s. S. 70, Anm).

<sup>2)</sup> Die Schlammabsätze, die den fruchtbaren Marschboden bilden, sucht man an der Nordseeküste künstlich dadurch zu befördern, daß man durch Anlage von „Lahnungen“, d. i. Fangdämmen („Schlengen“), Zäunen, Gräben dem bei der Ebbe zurückweichenden Wasser Hindernisse bereitet, seine Ablaufgeschwindigkeit und damit seine Tragfähigkeit vermindert („Polder-“ oder „Koog“anlage).

<sup>3)</sup> Als „Marsch“ im Gegensatz zur „Geest“ bezeichnet man im nordwestlichen Deutschland die äußerst fruchtbaren, völlig horizontalen Schlammablagerungen der Flüsse, die sich in größerer oder geringerer Breite am Meeresufer entlang ziehen und die Talniederungen der Flüsse ausfüllen. Die daran stoßende, meist weit über dem Spiegel der höchsten Fluten belegene, mehr oder minder wellige „Geest“ besteht im wesentlichen aus Bildungen des Diluviums (s. u.), aus denen nur an einigen Stellen Gesteine älterer Formationen hervorragen.

<sup>4)</sup> An einem Augusttag führt der aus den Firnmulden des Finsterahorns in das Haslital herabstürzende Aargletscher mehr als 280 000 kg fester Stoffe allein den Gletscherbächen zu.



gewaltiger war sie natürlich in jener als *Diluvialzeit* oder *Eiszeit* bezeichneten Bildungsperiode, da Nordeuropa und Nordamerika infolge erheblicher Temperaturerniedrigung — ob durch kosmische oder tellurische Verhältnisse herbeigeführt, ist fraglich — und demgemäß vermehrter Niederschlagsmengen zum größeren Teil von Eis bedeckt waren, das von gewissen Zentralpunkten im hohen Norden her dem tiefer liegenden Süden zudrängte und in gleicher Weise, aber in größerem Maße die gebirgzerstörenden und felsversetzenden Wirkungen ausübte, wie wir sie bei den noch heute vorhandenen Gletschern beobachten.

Die über den Gebirgen des nördlichen Skandinaviens und Finnlands angehäuften, vielleicht tausend Meter und mehr mächtigen Eismassen kamen auf ihrer geneigten Unterlage ins Gleiten und schoben sich, die vorhandenen Meerbecken ausfüllend und unter dem Druck des nachdrängenden Eises selbst beträchtliche Bodenerhebungen mit Leichtigkeit übersteigend, nach Süden fächerförmig bis in die Gegend der deutschen Mittelgebirge, im Westen bis nach Holland und England, im Südosten bis in die Flußgebiete des Schwarzen und des Kaspischen Meeres so lange vor, bis das zunehmende Abschmelzen in den wärmeren Landstrichen dem Vorrücken ein Ziel setzte. Soweit das vom vordringenden Eise berührte Gestein bereits durch den zerstörenden Einfluß der einwirkenden Naturkräfte zermürbt war, schlossen sich seine Bruchstücke als Grundmoräne (S. 78, Anmerkung) der Bewegung des Eises an. Sie gruben in die noch weiche und lockere Unterlage tiefe Furchen ein, halfen die feste Gesteinsunterlage zu flachen Buckeln abzurunden und vermochten das bereits feste Liegende sowie die seitlichen Gebirgswände auf der Oberfläche abzuschleifen und in eigentümlichen, vielfach noch jetzt deutlich erkennbaren parallelen Schrammen zu ritzen („Gletscherschliffe“).

Unter dem ungeheuren Druck des vorrückenden Eises wurden die großen mitgeschleppten Gesteinsblöcke allmählich zertrümmert, die kleineren Bruchstücke zu Geröll, Kies und endlich zu feinem und feinstem Sand und Schlamm zermahlen. Am Abschmelzrande des Eises lagerte sich parallel dem Gletscherrande der gröbere Gesteinsschutt als Endmoräne oft in langgestreckten Wällen, „Steinpackungen“, Blockhügeln über das Tertiär, während die kleineren Teile, die Grande und Sande, durch die Schmelzwässer weiter geführt wurden. Sie bildeten im Verein mit losgerissenen Teilen der tertiären Unterlage die sogenannten „Kames“-Landschaften, bestehend aus „fluvioglazialen“ Ablagerungen: geschichteten Hügeln, kurzen Landrücken und wannenförmigen Einsenkungen. Wiewohl infolge stärkerer Abschmelzung die Randlinie des Eises nach Norden zurück, so blieb das gesamte, seiner Zeit mitgeführte Steinmaterial in Schichten bis zu 150 m und mehr Mächtigkeit und in einem Umfang von hunderten von Quadratmeilen als „Grundmoräne“ zutage liegen. Es bildet



den „Geschiebemergel“ (s. o.), der mit seinen Abkömmlingen den größten Teil Norddeutschlands bedeckt <sup>1)</sup>).

Das Vorkommen tierischer und pflanzlicher Reste, stellenweise von Moorbildungen in verschiedenen Bodentiefen des Diluviums läßt erkennen, daß es in Nordeuropa mehrere, und zwar mindestens drei Vereisungsperioden gegeben hat. Sie waren durch „Interglazialzeiten“ getrennt, während deren die vom Eise befreite Oberfläche einer auf größere Wärme angewiesenen Flora und Fauna geeignete Lebensbedingungen bot. (Vgl. die Einleitung, § 3, Anmerkung S. 5.)

Auch im südlichen Deutschland sowie in der lombardischen Ebene beobachtet man die Spuren einer ein- oder mehrmaligen, von den Alpen ausgehenden Vergletscherung der nördlich und südlich angrenzenden Landstriche <sup>2)</sup>).

Endlich ist noch der *transportierenden Tätigkeit des Windes* zu gedenken. Ist ein Gestein erst zu Staub oder Sand zerfallen, so unterliegen die feinen Körner, falls sie nicht durch natürliche oder künstliche Mittel festgelegt werden, in erheblichem Maße der Wirkung des Windes. Der Sand der Sahara wird durch heftige Südwinde über das Meer hinweg bis in das südliche Frankreich getragen, der *Löß* (s. o.) scheint in manchen Gegenden hauptsächlich der Tätigkeit des Windes seine Ablagerung zu verdanken, und mit Sicherheit wissen wir dies von einer noch fortwährend unter unseren Augen entstehenden Bildung, den *Dünen*. Wo der Meeresstrand aus feinem Sand besteht, oder der sandige Meeresgrund durch die Ebbe trocken gelegt wird, führt der Seewind das leichtbewegliche Material landeinwärts und türmt es zu Hügeln und langgestreckten Wällen von oft sehr bedeutender Höhe (bis 200 m und darüber) auf, deren äußere, dem Meere zugewandte Böschung flach ist, deren Landseite meist ziemlich starkes Einfallen und nicht selten Schichtung zeigt. Stellen sich nicht natürliche Hindernisse entgegen oder wird nicht die Düne durch künstliche Maßnahmen, namentlich durch Bepflanzen mit anspruchslosen und widerstandsfähigen Gewächsen (z. B. Strandhafer, *Elymus arenarius*) und nachfolgende Aufforstung <sup>3)</sup> befestigt, so wandert sie unter dem Druck des

<sup>1)</sup> Die in den obigen Ausführungen kurz dargelegte Anschauung von der Bildung des Diluviums, die sogenannte „Glazial“-Theorie, ist zuerst von dem schwedischen Geologen Torell begründet worden und jetzt allgemein anerkannt. Sie trat an die Stelle der vorher herrschenden „Trift“- oder Drift-Theorie, die einen Transport der nordischen Gesteine auf schwimmendem Eise (durch „Trift“) annahm.

<sup>2)</sup> Gleiche Vorgänge wie in Nordeuropa haben sich in noch weit größerem Umfang ausgehend von Kanada im nördlichen Amerika vollzogen. Das amerikanische Vereisungsgebiet dürfte dreimal so groß sein als das europäische. Übrigens scheinen auch ältere geologische Epochen ihre Eiszeiten gehabt zu haben.

<sup>3)</sup> Große derartige „Dämpfungs“-Arbeiten werden u. a. seitens der preußischen Staatsforstverwaltung an den Wanderdünen der Kurischen Nehrung ausgeführt.



Windes, der den Sand an der Windseite in die Höhe treibt, ihn an der Landseite herabfallen läßt, meilenweit in das Land hinein, Kulturland und Häuser verschüttend und Flüsse aus ihrem Lauf verdrängend.

Auch im Binnenlande, häufig Flußläufe begleitend, finden sich nicht selten *Sandwehen* und ganze Dünenzüge, deren Material entweder den Ablagerungen des Flusses oder auch diluvialen Sanden entstammt <sup>1)</sup>.

Die durch den Wind veranlaßten Bodenbildungen werden „äolische“ Bildungen genannt.

### B. Chemische Vorgänge bei der Bodenbildung.

Den Wirkungen der zuletzt in ihrer Tätigkeit geschilderten mechanischen Kräfte auf die Umwandlung der starren Erdrinde wird vielfach durch gewisse Vorgänge vorgearbeitet, die chemischen Kräften entspringen.

#### § 43.

**Verwitterung.** Keines der die Erdkruste bildenden Gesteine widersteht auf die Dauer dem chemischen Angriff gewisser Stoffe, die in unerschöpflichen Mengen in der den Erdkörper umspülenden Atmosphäre vorhanden sind, dem *Sauerstoff*, der *Kohlensäure* <sup>2)</sup> und dem *Wasser*. Langsam, solange die Gesteinsoberfläche noch glatt und unverletzt ist, schneller, sobald erst feine und sich immer mehr erweiternde Risse und Spalten den Zugang zum Innern verstatten, bewirken diese Agenzien eine chemische Umsetzung der Mineralbestandteile und führen dadurch die Zerstörung der ursprünglichen Gesteinsmasse herbei <sup>3)</sup>. Diese Vorgänge, an denen sich alle drei Faktoren fast immer gleichzeitig oder in schneller

<sup>1)</sup> Die Wirkungen des Windes auf die Bodenbildung und die Veränderungen, die der Boden im Lauf der Zeit erleidet, sind überhaupt weit bedeutsamer, als man gewöhnlich annimmt. Jede durch den Wind veranlaßte Staubwolke entführt einer Bodenstelle die zu Mehl zerfallenen Bestandteile und führt sie einer anderen im Windschutz liegenden zu. Die so transportierten Staubmengen sind natürlich besonders groß in trocknen Klimaten. Der Transport erfolgt stellenweise auf fast unglaubliche Entfernungen. So werden selbst Sandkörner aus der südälgischen Wüste bis nach den dänischen Inseln fortgeführt und die im Jahre 1880 in Europa beobachteten auffälligen Dämmerungserscheinungen schrieb man dem in der Luft verbreiteten, von einem gewaltigen Ausbruch des Krakataua in Japan herrührenden vulkanischen Staub zu.

<sup>2)</sup> Unter „Kohlensäure“ wird hier und im folgenden entweder das Kohlendioxyd ( $\text{CO}_2$ ) oder die wirkliche Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) verstanden (§ 19).

<sup>3)</sup> Auf die Verwitterung ist auch das Klima insofern von Einfluß, als höhere Temperaturen, starke Niederschläge, üppiger Pflanzenwuchs (s. u.) die chemischen Zersetzungs Vorgänge befördern. So pflegen die „*Lateritböden*“ der *Tropenländer* stark eisenhaltige, aus Granit, Gneis, Syenit und anderen Gesteinen hervorgegangene poröse Lehm Böden, infolge der energischen Verwitterung jener harten Gesteine sehr tiefgründig zu sein.



Aufeinanderfolge beteiligen, nennt man „Verwitterung im engeren Sinne“ oder: **Einfache Verwitterung.**

Zum Verständnis der Wirkungen, die die Atmosphärien Wasser, Sauerstoff, Kohlensäure auf das Gestein der festen Erdrinde ausüben, sowie zur Erklärung der Vorgänge der komplizierten Verwitterung (s. u.) muß man sich zwei Tatsachen vor Augen halten:

1. Kein Gestein ist absolut undurchlässig für Wasser und die darin gelösten Stoffe, weil auch die scheinbar ganz dichten Gesteine von zahlreichen feinen Querspalten durchsetzt sind.

2. Wenn auch die Löslichkeit der verschiedenen Gesteinsbestandteile sehr verschieden groß ist, so ist doch keine von ihnen durchaus unlöslich in Wasser. Die lösende Wirkung des Wassers wird häufig verstärkt durch die in ihm gelösten luftförmigen oder festen Stoffe.

#### § 44.

Der *Sauerstoff* hat, ganz im Gegensatz zu dem anderen Hauptbestandteile der Atmosphäre, dem Stickstoff, ein hervorragendes Bestreben, mit anderen Elementen sich zu vereinigen, sie zu *oxydieren*. Seine Verwandtschaftsausprägungen sind besonders energisch, wenn er sich in dem „erregten“ Zustand befindet, in dem man ihn als „aktiven Sauerstoff“ oder als *Ozon* bezeichnet. In diesen Zustand geht er unter der Einwirkung des elektrischen Funkens und ferner in Berührung mit Stoffen über, die in langsamer Oxydation oder Verbrennung begriffen sind. Infolgedessen enthält die atmosphärische Luft fast immer größere oder kleinere Mengen von Ozon. Bei Gesteinen, die *Eisen* in niedrigen Oxydationsstufen, als Ferrooxyd oder Ferrioxyd (Magnetisen, S. 50), enthalten, äußert sich die Wirksamkeit des Sauerstoffs in der Weise, daß die Ferroverbindungen zu Ferriverbindungen oxydiert werden. Äußerlich macht sich dieser Vorgang meist durch Übergang der schwarzen, blauen oder grünen Farbe in rot oder gelb bemerklich <sup>1)</sup>. Zugleich aber wird dadurch der innere Zusammenhang zwischen den Mineralelementen zerstört und ein Zerfall der Mineralien und der Gesteine *herbeigeführt*. Eine Oxydation erleidet auch der in manchen Gesteinen vorhandene Eisenkies ( $\text{FeS}_2$ , S. 49). Die dabei entstehende freie *Schwefelsäure*, eine der stärksten bekannten Säuren, wirkt auf die mit ihr in Berührung kommenden Karbonate und Silikate sehr energisch zersetzend ein, indem sie die kieselsauren Salze unter Abscheidung von Kieselsäure, die kohlensauren unter Austreibung von Kohlendioxyd in Sulfate (z. B. in Gips) umwandelt, die vom Wasser meist leichter

<sup>1)</sup> Eine derartige Oxydation beobachtet man z. B. oft an frisch ausgegrabenem, blauem oder grauem Ziegelton, der schon bei längerem Liegen an der Luft und mehr noch beim Brennen eine gelbe oder rote Farbe annimmt.



gelöst werden als die ursprünglichen Verbindungen. Enthält ein Gestein Beimengungen organischer Natur, wie z. B. der Ortstein (S. 64), so werden diese durch den Sauerstoff unter Überführung ihres Kohlenstoffs in Kohlendioxyd, ihres Wasserstoffs in Wasser zerstört und dadurch der Gesteinszusammenhang gelockert. Ortstein zerfällt bei längerem Liegen an der Luft zu einzelnen Sandpartikeln<sup>1)</sup>. Weiteres über die zersetzenden Wirkungen, die der Sauerstoff auf organische Stoffe und deren Abkömmlinge ausübt, werden die Erörterungen über die „vegetativen Vorgänge“ bei der Bodenbildung bringen (s. u.).

#### § 45.

Das *Wasser* wirkt schon im reinen Zustande lösend und meist auch zersetzend auf die bodenbildenden Gesteine ein, in weit höherem Grade aber in Gemeinschaft mit Sauerstoff und *Kohlensäure*, die das natürliche Wasser in nicht unbeträchtlichen Mengen gelöst enthält. Bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Druck können 100 Maßteile Wasser ungefähr 3 Maßteile Sauerstoff und 100 Maßteile Kohlendioxyd aufnehmen.

#### § 46.

Sehr einfach verläuft unter der Einwirkung kohlensäurehaltigen Wassers die *Verwitterung der Karbonate* (§§ 19 und 38, 4). 10 000 Teile mit Kohlensäure gesättigten Wassers können in Lösung bringen:

Calciumkarbonat	Magnesiumkarbonat	Dolomit	Ferrokarbonat
( $\text{CaCO}_3$ )	( $\text{MgCO}_3$ )	( $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ )	( $\text{FeCO}_3$ )
10	13	3	7 Teile.

Wirkt mithin kohlensäurehaltiges Wasser auf Gesteine ein, welche ganz oder zum Teil aus Karbonaten bestehen, so können diese allmählich gelöst und von ihrer ursprünglichen Lagerstätte ganz fortgeführt werden, während etwaige Nebenbestandteile, wie Quarz, Sand, Silikate, Ton, Eisenoxyd, meist in gelockertem Zusammenhange und gewöhnlich dunkler gefärbt zurückbleiben. Die Auslaugung des Calciumkarbonates aus kalkhaltigen Böden durch das Tagwasser erfolgt schichtenweise in der Art, daß die untere Schicht erst dann an die Reihe kommt, wenn die obere völlig von Kalk befreit ist. Daher findet sich häufig z. B. eine ganz kalkarme Geschiebelehmschicht unmittelbar auf kalkhaltigem, ja bisweilen durch den Oberflächenkalk noch über den ursprünglichen Gehalt hinaus angereicherten Geschiebemergel aufgelagert. Auf *Dolomit* (S. 67) wirkt das kohlen-

<sup>2)</sup> Nach E m e i s kann ein Zerfall dieser eigentümlichen Gesteinsbildung, falls es sich um wirklichen Ortstein, d. h. durch humose Stoffe und nicht durch Eisenverbindungen verkitteten Sand handelt, schon durch eine gründliche Entwässerung der ortsteinführenden Bodenschichten herbeigeführt werden.



säurehaltige Wasser in der Weise zersetzend ein, daß es zunächst vornehmlich Calciumkarbonat entführt, also eine Masse zurückläßt, die an Magnesiumkarbonat reicher ist. Die vom Wasser aufgelösten und fortgeschwemmten Karbonate gelangen unter geeigneten Verhältnissen an anderen Stellen wieder zum Absatz, wobei das Ferrokarbonat allermeist in Ferrioxyd und Ferrihydroxyd umgewandelt wird.

#### § 47.

*Verwitterung der Sulfate.* Das an der Bodenbildung vornehmlich beteiligte *Sulfat*, das Calciumsulfat (Gips, Anhydrit; S. 47), wird gleichfalls durch Wasser in Lösung gebracht (ein Gehalt des Wassers an Kohlensäure scheint die Löslichkeit nicht zu erhöhen), und zwar können 10 000 Teile Wasser ungefähr 25 Teile Calciumsulfat aufnehmen<sup>1)</sup>. Unter dem Einfluß organischer Stoffe erleiden die Sulfate eine Reduktion und gehen schließlich in Karbonate über (§ 24).

#### § 48.

*Verwitterung der Phosphate und der Kieselerdmineralien.* Auch die in vielen Gesteinen vorkommenden *Phosphate* werden durch kohlensäurehaltiges Wasser gelöst. Die Löslichkeit ist bei den verschiedenen Phosphaten sehr verschieden, jedoch soweit es sich um normale Salze handelt, stets sehr gering. Noch schwerer löslich scheinen der *Quarz* und die übrigen *Kieselerdmineralien* zu sein; in weit größeren Mengen löst sich Kieselerde in kohlensaurem Wasser in dem Augenblick, wo sie aus sich zersetzenden Silikaten abgeschieden wird.

#### § 49.

*Die Verwitterung der kieselsauren Salze* unter dem Einfluß von Kohlensäure und Wasser verläuft sehr verschieden, je nach der physikalischen Beschaffenheit (Struktur) und chemischen Zusammensetzung des Minerals und je nach dem vorhandenen Vorrat an den genannten Lösungsmitteln. Je weniger Hindernisse die Struktur eines Minerals dem Eindringen der lösenden Agenzien in den Weg stellt, je mehr Angriffspunkte die letzteren finden, um so energischer werden sie im allgemeinen ihr Zerstörungswerk vollbringen. Ihm wird wesentlich vorgearbeitet, wenn das Mineral Ferrioxyd enthält, das unter dem Einfluß des Sauerstoffs höher oxydiert wird und dadurch den Zusammenhang der Mineralelemente lockert.

<sup>1)</sup> Der ganze Gebirgszüge, Hügelreihen, Bergkuppen bildende Gips tritt auch vielfach als Einlagerung in andere Gesteine auf. Aus solchen Lagerstätten nimmt die Lorenzquelle zu Leucken und im Schweizer Kanton Wallis jährlich 4 Millionen Kilogramm, entsprechend etwa 2300 cbm feste Gipsmasse, auf. Durch die auslaugende Tätigkeit des Wassers bilden sich nicht selten im Gesteinsinnern große Höhlungen („Gipsschlotten“), z. B. in der Mansfelder Zechsteinformation.



Von den in den Silikaten enthaltenen *Metallen* unterliegt im allgemeinen am leichtesten das Calcium und das Eisen der Ferroverbindungen dem Angriff der Kohlensäure, es folgt das Natrium, dann erst das Kalium und das Magnesium (letzteres ist meist noch schwerer angreifbar als das Kalium). Sie werden durch die Kohlensäure in Karbonate übergeführt und, in Wasser gelöst, dem Mineral entzogen. An ihre Stelle tritt häufig etwas Wasser in das Silikat ein. Beim Übergang eines wasserfreien in ein wasserhaltiges Silikat, wie er z. B. — s. § 18 — bei Umwandlung von Olivin in Serpentin, von Augit und Hornblende in Chlorit, von Feldspat in Zeolith sich vollzieht, findet eine Ausdehnung statt. Auch hierbei wird ebenso wie beim Spaltenfrost (S. 76) die Zersprengung des Gesteins, seine Umwandlung in Boden gefördert. Die entstandenen Karbonate können ferner lösend auf die Kieselsäure einwirken und einen Teil davon mitführen. Aluminium und das Eisen der Ferriverbindungen werden von der Kohlensäure gar nicht angegriffen und bleiben als wasserhaltiges Eisen- und Aluminiumsilikat zurück. Auf diese Weise kann sich z. B. der *Orthoklas* (Kalifeldspat) allmählich in *Kaolin* umwandeln, ein Vorgang, der sich durch folgende schematische Darstellung veranschaulichen läßt (Credner):

	Kali	Tonerde	Kieselerde	Wasser
In 100 Orthoklas $[K_2Al_2(Si_3O_8)_2]$	= $K_2O$	+ $Al_2O_3$	+ $6 SiO_2$	
sind enthalten	16,9	18,5	64,6	0
Es treten aus (—), ein (+)	— 16,9	0	— 43,1	+ 6,5
Es bleiben		18,5	+ 21,5	+ 6,5
= 46,5 Kaolin $[H_2Al_2(SiO_4)_2 + H_2O] =$		$Al_2O_3$	+ $2 SiO_2$	+ $2 H_2O$ .

Der in der Natur vorkommende Kaolin enthält immer noch Alkalien. Es geht also in Wirklichkeit die Zersetzung nie so vollständig vor sich, wie es nach obiger Darstellung scheinen möchte, und dasselbe gilt für die Verwitterung der übrigen Silikate und namentlich der an Magnesium reichen. So verwittert der *Olivin* <sup>1)</sup> infolge der meist vorhandenen feinen Sprünge und Spalten zuerst leicht, indem das stets darin enthaltene Eisenoxydul in Eisenoxyd übergeführt wird. Der an Magnesium reiche Rest aber wandelt sich unter Wasseraufnahme in ein schwer verwitterbares Magnesiumsilikat, meist in *Serpentin* um. Aus *Augit* und *Hornblende* treten leicht Calcium, Eisenoxydul und die etwa vorhandenen Alkalien als Karbonate aus, zurück aber bleiben an Magnesium reiche, schwer zersetzliche Silikate: Serpentin, Talk, Chlorit oder, wenn die Mutterminerale Aluminium enthielten, Magnesiaglimmer. Erst bei weiterem Fortschreiten der Verwitterung wird auch das Magnesium in Karbonat übergeführt, und es bleiben dann von den aluminiumhaltigen Mineralien *eisenhaltige Tone*

<sup>1)</sup> Vgl. die Übersicht über die Zusammensetzung der wichtigsten Silikate (S. 36, 37).



als Endprodukt zurück. Wenn nach dem oben Gesagten im allgemeinen die an Calcium und Eisenoxydul reichen Silikate schneller als die an Natrium reichen, und diese schneller als die an Kalium und namentlich an Magnesium reichen der Verwitterung unterliegen, so wirken hierauf doch noch andere Umstände fördernd ein, unter deren Einfluß jene Gesetzmäßigkeiten beeinträchtigt werden. Im Einklang mit den letzteren steht es, wenn die an Natrium und Calcium reichen *Plagioklase* schneller zu verwittern pflegen als der *Kalifeldspat*, daß die *Augite* sich schneller zersetzen als die an Aluminium und Magnesium reicheren, an Calcium ärmeren *Hornblenden*. Dagegen ist der an Kali reiche *Muscovit* (Kali-glimmer) fast unverwitterbar, während die Zersetzung des *Magnesia-glimmers* trotz seines hohen Magnesiumgehaltes verhältnismäßig leicht erfolgt. Diese und andere Tatsachen lassen vermuten, daß auch das Verhältnis zwischen Kieselsäure und Metall innerhalb der Silikate von Einfluß auf deren Zersetzlichkeit ist. Diese scheint sich mit Zunahme des Kieselsäuregehaltes zu verringern. (Vgl. auch die früheren Mitteilungen über das chemische Verhalten der Silikate, § 18.)

### § 50.

**Die komplizierte Verwitterung.** Während die als „einfache Verwitterung“ bezeichneten Veränderungen des Gesteins unmittelbar durch die Atmosphärien veranlaßt werden, umfaßt die „komplizierte Verwitterung“ die äußerst mannigfaltigen Wirkungen, welche die Erzeugnisse der einfachen Verwitterung aufeinander und auf die ursprünglichen oder bereits mehr oder weniger zersetzten Gesteinsbestandteile hervorbringen. Bei der einfachen Verwitterung entstehen zahlreiche, in Wasser mehr oder weniger lösliche Salze des Kaliums, Natriums, Calciums, Magnesiums, Eisenoxyduls sowie auch freie Kieselsäure, Verbindungen, die zu den verschiedensten chemischen Umsetzungen Veranlassung geben können. Die durch sie herbeigeführten Vorgänge faßt man unter dem Namen „komplizierte Verwitterung“ zusammen.

Wie bereits früher erörtert wurde (S. 43, Anm.), findet bei der Berührung zweier chemisch aufeinander einwirkenden Körper folgendes statt: Falls durch Vereinigung des einen mit dem andern, oder eines Bestandteils des einen mit einem Bestandteil des anderen Körpers eine Verbindung entstehen kann, die von den vorhandenen Agenzien nicht mehr chemisch beeinflußt wird, so wird diese in einer Menge gebildet, die den vorhandenen aufeinander wirkenden Mengen der Bestandteile entspricht (die Umsetzung ist eine vollständige). Bleiben jedoch die möglichen Umsetzungsprodukte der chemischen Einwirkung der anwesenden Agenzien zugänglich, so ist die Umsetzung nur eine beschränkte und in ihrer Größe abhängig von der Größe der chemischen Anziehungskraft, die die einzelnen Bestandteile



aufeinander ausüben, und von den Mengen, in denen sie vorhanden sind. Dieses Gesetz gilt nicht nur für gelöste Stoffe, sondern auch dann, wenn ein gelöster mit einem festen Stoff in Berührung kommt, der seiner chemischen Einwirkung zugänglich ist. Da also die chemische Wirkung eines Stoffes nicht bloß von seiner chemischen Anziehungskraft, sondern zugleich auch von der Masse abhängig ist, mit der er in die Reaktion eintritt, so kann ein Element von schwächerem Vereinigungsbestreben unter Austreiben eines Elementes von stärkerer Energie sich an dessen Stelle setzen, wenn es nur in genügender Menge auftritt.

### § 51.

*Beispiele für die komplizierte Verwitterung.* Obwohl das Calcium eine weit schwächere Verwandtschaft zu den Säuren hat als das Kalium, kann es, in ausreichender Menge (als gelöstes saures Calciumkarbonat) zugeführt, in Kaliumsilikaten an die Stelle des Kaliums treten. So verwandelt sich unter Umständen der an Kalium reiche, Calcium nicht enthaltende *Orthoklas* in den an Calcium reichen, kaliumfreien *Epidot*, wobei zugleich Aluminium durch Eisen ersetzt wird. So kann ferner, je nach dem Mengenverhältnis der aufeinander chemisch einwirkenden Stoffe, die *Hornblende*  $\text{CaMg}(\text{SiO}_3)_2$  in den an Calcium reichen *Epidot* oder in den an Magnesium reichen *Chlorit* übergehen. Im ersteren Fall tritt an die Stelle des Magnesiums Calcium, im anderen an die Stelle des Calciums in der Hornblende Magnesium. Es liegt auf der Hand, daß bei diesem Verhalten der chemisch aufeinander einwirkenden Mineralbestandteile die mannigfaltigsten Umwandlungen eintreten können. Durch die komplizierte Verwitterung werden auch diejenigen Bestandteile der Silikate, die der einfachen Verwitterung am längsten widerstehen (s. o.), die Tonerde  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und das Ferrioxyd  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  angegriffen und in Bewegung gebracht, indem sie sich in den Lösungen von Karbonaten, Sulfaten, Chloriden auflösen, wobei Kieselerde als Quarz oder Opal abgesetzt wird.

Ein wichtiges Produkt der komplizierten Verwitterung sind die *Zeolithe*. Sie können sich aus wasserfreien Silikaten durch Ersatz von Kalium durch Natrium und Aufnahme von Wasser bilden. So entsteht bei Einwirkung von Natriumkarbonat- oder Natriumchloridlösung auf *Leucit*  $\text{K}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_4$  der zur Zeolithgruppe gehörige *Analcim*  $\text{Na}_2\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  unter gleichzeitiger Bildung von Kaliumchlorid  $\text{KCl}$  oder Kaliumkarbonat  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Ferner entstehen Zeolithe durch Einwirkung der Lösung von Natrium- oder Calciumsalzen auf Ton oder auf Lösungen von Kieselsäure und Tonerde. Da sie neben Aluminium fast immer nur Natrium und Calcium, aber fast nie Kalium und Magnesium enthalten, so bilden sie sich fast nur in den aus Calcium-Natrium-Silikaten bestehenden, höchst selten in kalium- oder magnesiumreichen Gesteinen. Übrigens läßt sich, wie wir später



sehen werden, durch Einwirkung von Kaliumsalzen das Natrium und das Calcium der Zeolithe sehr leicht durch Kalium und andere Stoffe ersetzen, wobei sie eigentümlicherweise ihr Wasser verlieren.

### C. Umwandlung der Gesteine in Boden unter dem Einfluß der mechanisch und chemisch wirkenden Kräfte.

Für die Schnelligkeit, mit der unter dem Einfluß der oben geschilderten Kräfte aus den Gesteinen der festen Erdrinde Boden gebildet wird, und für die Beschaffenheit des letzteren sind im wesentlichen als Faktoren maßgebend: a) die Beschaffenheit der gesteinsbildenden Mineralien und b) die einwirkenden Wassermengen.

#### § 52.

**Einfluß der Beschaffenheit der gesteinsbildenden Mineralien auf die Umwandlung.** 1. *Die Oberflächengestaltung des verwitternden Gesteins.* Ist diese eben oder gar muldenförmig, so werden nur die durch den Verwitterungsprozeß löslich gewordenen Stoffe durch das Wasser fortgeführt; auf geneigten oder abschüssigen Flächen tritt dagegen zugleich auch die mechanische, auch ungelöste Stoffe verschwemmende Kraft des Wassers in Wirkung. *Granit* mit ebener oder muldenförmiger Oberfläche hinterläßt bei seiner Verwitterung einen an Ton und Glimmerteilchen reichen *Lehmboden*, auf stark abfallenden Flächen wird Ton und Glimmer fortgeschwemmt, und es bleibt tonarmer *Sandboden* zurück.

2. *Die Struktur des verwitternden Gesteins.* Je leichter der Zutritt ein Gestein den Verwitterungsagenzien Wasser, Sauerstoff, Kohlensäure gewährt, um so energischer können diese bodenbildend einwirken. *Geschichtete* und *schiefrige* Gesteine werden fast immer schneller der Verwitterung unterliegen als *kompakte*: Gneis schneller als Granit, die Flöz- oder Sedimentärgesteine ganz allgemein schneller als die kristallinen Massengesteine. Sind die geschichteten Gesteine durch irgendwelche im Erdinnern wirkenden Kräfte *aufgerichtet* worden, so wird dadurch das Eindringen des Wassers mit seinen zerstörenden Agenzien, die sprengende Wirkung des Eises und damit der Zerfall erheblich beschleunigt. In gleicher Richtung wirkt die eigentümliche regelmäßige *kugelige oder säulenförmige Absonderung*, die manche Gesteine, z. B. viele *Basalte*, aufweisen. Eine *dichte* Gesteinsstruktur, die mit einer feinen und gleichmäßigen Verteilung der Gemengteile verbunden ist (z. B. bei vielen *Porphyr*-Arten), verlangsamt, eine mehr *grobkörnige* oder *grobkristallinische* Struktur beschleunigt im allgemeinen die Verwitterungsvorgänge. Denn die letztere ruft durch die verschiedenartige Ausdehnung der gesteinsbildenden Mineralien die Bildung zahlreicher Risse und Abspaltungen hervor, die die



Verwitterung in das Gesteinsinnere tragen. So zerfällt der grobkörnige, große Quarz- und Feldspatkristalle enthaltende *Granit* verhältnismäßig leicht zu einem aus größeren und kleineren Trümmern bestehenden Grus, der bei weiterer Zersetzung einen tiefgründigen Boden liefert, während aus feinkörnigen Graniten und aus *Porphyren* mit sehr dichter Grundmasse („Hornsteinporphyr“), bei denen die Verwitterung nur von der Oberfläche des Gesteins ausgeht, meist flachgründige Böden entstehen.

3. *Die chemische Beschaffenheit der gesteinsbildenden Mineralien.* Sind die Gemengteile eines Gesteins in verschiedenem Grade der Verwitterung zugänglich, so folgt diese dem durch die Lage der leichter zerstörbaren Mineralien vorgezeichneten Weg, löst dadurch den Zusammenhang der Gesteinsmasse und führt ihren Zerfall zu „Grus“ herbei. *Granite*, die neben dem schwer verwitternden Orthoklas leicht zerfallenden Oligoklas oder gar Labrador enthalten, unterliegen daher schneller der Umwandlung als die von Plagioklasen freien Glieder dieser Gesteinsart. Da die Hornblende schwieriger verwittert als der Augit (S. 87), so liefert der aus Plagioklas und Hornblende bestehende *Diorit* (§ 36, 2) einen an feinerdiger Masse armen steinigen Boden, während der aus Plagioklas und Augit gebildete *Diabas* (§ 36, 3) ziemlich schnell zu fruchtbarem, tiefgründigem Boden zerfällt.

Von großer Bedeutung für die leichtere oder schwerere Verwitterung eines Gesteins ist der Gehalt an *niederen Oxydationsstufen des Eisens*, an Ferrioxyd ( $\text{FeO}$ ) und Ferroferrioxyd ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Sie werden entweder durch die im Wasser gelöste Kohlensäure in Ferrokarbonat übergeführt, das, in kohlensäurehaltigem Wasser sich lösend, aus dem Gestein austritt, oder unter dem Einfluß des zutretenden Sauerstoffs oxydiert. Beide Prozesse wirken lockernd auf den Gesteinsverband. Der Übergang der dunkel (grün) gefärbten Ferroverbindungen in gelbrotes Ferrioxyd oder in braunrotes Ferrihydroxyd macht sich äußerlich durch den Farbenwechsel bemerkbar, der beim Übergang des unverwitterten Gesteins in Boden sich vollzieht (§ 43). Von der Oberfläche nach unten hin geht die Farbe solcher Böden nicht selten von gelbrot in braunrot, in rot und grün gemengt und schließlich in das Grün des bodenbildenden Gesteins über, eine Aufeinanderfolge von Farben, die ein Urteil über die Tiefe zuläßt, bis zu der die Verwitterung sich erstreckt. An Ferrioxyd reich sind von den plutonischen Gesteinen namentlich die „basischen“, wie Basalt, Dolerit, Diabas, Melaphyr u. a. Die Sedimentärgesteine, die aus ihnen durch Verwitterung und Verschwemmung hervorgegangen sind, pflegen naturgemäß an niederen Oxydationsstufen des Eisens ärmer zu sein, falls solche nicht nachträglich durch Reduktionsprozesse innerhalb des neugebildeten Gesteins aus dessen Oxyden sich zurückgebildet haben (§ 24). Am häufigsten kommen sie hier in den *Tongesteinen* vor.



Ein hoher Gehalt der Gesteine an *Calciumverbindungen*, die durch Wasser und Kohlensäure in Karbonat umgewandelt und ausgewaschen werden, wirkt gleichfalls auf ihre rasche Umbildung zu Boden hin. Auch aus diesem Grunde zerfallen die kalkreichen *basischen* Urgesteine schneller als die *sauren*, und erstere liefern daher im allgemeinen einen tiefgründigeren Boden als die letzteren. Der an Calcium- und Magnesiumsilikat reiche *Basalt* wird bei der Verwitterung infolge der Bildung und Fortführung von Calcium- und Magnesiumkarbonat<sup>1)</sup> an Calcium und Magnesium immer ärmer, während andere schwerer lösliche Bestandteile sich anhäufen.

So fand man in hundert Teilen:

	des ursprünglichen Gesteins	der ersten Verwitterungsstufe	der zweiten Verwitterungsstufe
Kalk (CaO) . . . .	14,6	10,6	3,7
Magnesia (MgO) . .	7,3	7,1	1,3
Tonerde (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . .	17,1	19,8	32,5
Eisenoxyd (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7,7	8,4	9,2

Schneller noch findet natürlich der Zerfall des Gesteins statt, wenn darin fertiggebildete *Karbonate* enthalten sind. Infolge der Auswaschung wird die Gesteinsmasse und der daraus entstehende Boden insbesondere an Calciumkarbonat immer ärmer, an anderen Bestandteilen reicher. Von der Entkalkung der Geschiebemergel-Böden war schon früher die Rede (S. 70). Ein sehr lehrreiches Beispiel liefern auch die Untersuchungen E. v. Wolffs über die Bodenbildung aus dolomitischen Muschelkalkstein.

Es enthielt:

	das ursprüngliche Gestein %	die erste Verwitterungsstufe %	die zweite Verwitterungsstufe <sup>2)</sup> %
Calciumkarbonat (CaCO <sub>3</sub> ) . . . .	77,9	47,8	35,2
Magnesiumkarbonat (MgCO <sub>3</sub> ) . .	16,6	34,9	22,8 <sup>3)</sup>
Tonerde (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,8	2,6	7,7
Kieselerde (SiO <sub>2</sub> ) . . . . .	3,1	9,8	24,7
Kali (K <sub>2</sub> O) . . . . .	0,27	1,12	2,82
Phosphorsäure (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) . . . . .	0,08	0,16	0,42
Eisenoxyd (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	0,65	1,69	2,15

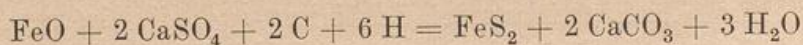
<sup>1)</sup> In einem gewissen Verwitterungsstadium weist der zu Boden zerfallende Basalt einen mehr oder weniger großen Gehalt an Karbonaten auf.

<sup>2)</sup> Das ursprüngliche Gestein war sehr fest, die „erste Verwitterungsstufe“ bereits ziemlich mürbe geworden, die „zweite Verwitterungsstufe“ zum Teil zu leicht zerreiblichen Gesteinsbröckeln, zum Teil zu lockerem Pulver auseinander gefallen, ohne schon den Zustand eines „Kulturbodens“ erlangt zu haben.

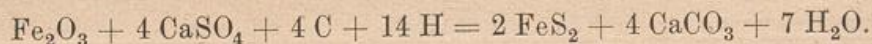
<sup>3)</sup> In diesen Zahlen macht sich zugleich die größere Widerstandsfähigkeit des Magnesiumkarbonates gegenüber dem Calciumkarbonat bemerklich. Erst wenn der größere Teil des Calciumkarbonates durch Auswaschung entfernt ist, unterliegt das Magnesiumkarbonat der Auflösung (§ 46).



Die Verarmung der äußersten Verwitterungsrinde der bodenbildenden Gesteine an Karbonaten kann so weit gehen, daß im Interesse der landwirtschaftlichen Kultur eine künstliche Zufuhr von Kalk oder Mergel nötig wird. Nicht selten kann das hierzu nötige Material dem tieferen Untergrund entnommen werden. So bringt man z. B. auf den Marschböden (S. 79), deren äußerst fein verteilte Karbonate der Auswaschung besonders leicht unterliegen, zum Ersatz die an Calciumkarbonat noch reiche Erde der tieferen Schichten („Kuhlerde“ oder „Wühlerde“) zur Oberfläche („Kuhlen“, „Wühlen“, „Überkleien“). — Auch die stellenweise über Marschboden als Untergrund aufgewachsenen Moore („Marschmoore“, s. u.) sucht man vielerwärts durch Aufbringen von Marscherde aus dem Untergrund, die man mittels besonderer Hebevorrichtungen („Kuhlmaschinen“) bisweilen aus sehr beträchtlicher Tiefe gewirnt, zu verbessern und insbesondere mit Kalk anzureichern. Unter dem Einfluß der vermodernden Moorpflanzen haben jedoch die unmittelbar unter dem Moor liegenden oder auch die tieferen, stark mit Pflanzenresten durchsetzten und stets Calciumsulfat,  $\text{CaSO}_4$ , enthaltenden Marschbodenschichten Veränderungen erlitten, die sie für den beregten Zweck völlig untauglich machen können. Aus ihren schwefelsauren Salzen und Ferro- oder Ferrioxyd ist durch Reduktion (§ 24) Zweifachschwefeleisen entstanden. Die Umsetzung läßt sich durch folgende chemische Gleichungen veranschaulichen:



oder



Wird dieser an sich unschädliche Stoff an die Oberfläche gebracht, so geht er unter der Einwirkung des Luftsauerstoffs in zwei starke Pflanzengifte, nämlich in freie Schwefelsäure und Ferrosulfat (in wasserhaltigem Zustande „Eisenvitriol“ genannt) über (S. 49). Solange genügende Mengen von Calciumkarbonat vorhanden sind, erfahren, wie früher (a. a. O.) erwähnt wurde, jene Schädlinge eine heilsame Umwandlung, ist aber das Calciumkarbonat aus der betreffenden Bodenschicht ausgelaugt (was unter der Einwirkung der aus pflanzlichen Resten reichlich entwickelten Kohlensäure häufig der Fall ist), so lassen sie ein Pflanzenwachstum nicht mehr aufkommen. Die schwefeleisenhaltige und dabei ihres Calciumkarbonates ganz oder fast ganz beraubte Marscherde bezeichnet man im nordwestlichen Deutschland als „Gifterde“, „Pulvererde“, „Bettelerde“ oder „Maibolt“<sup>1)</sup>. Man schützt sich vor ihr dadurch, daß man den von den

<sup>1)</sup> Der Unterschied zwischen brauchbarer und der durch Reduktion und Auslaugung ungünstig veränderten Marscherde geht deutlich aus folgenden Untersuchungsergebnissen der Moorversuchsstation hervor. Es enthielten in



Kühlmaschinen aufgehobenen Boden nur dann verwendet, wenn er beim Übergießen mit Salzsäure aufbraust. (Entweichen von Kohlendioxyd.)

Infolge der starken Auswaschung, der die Karbonatminerale unterliegen, kann es vorkommen, daß von einem ursprünglich fast ausschließlich aus Kalkstein, Magnesit, Dolomit bestehenden Gestein bloß die beigemengten schwerlöslichen Mineralien wie Ton, Sand, Eisenoxyd zurückbleiben, und der Charakter des entstehenden Bodens sich ausschließlich nach dem Vorwiegen dieses oder jenes *zufälligen* Bestandteils des ursprünglichen Gesteins richtet.

### § 53.

**Einfluß der bei der Verwitterung mitwirkenden Mengen von Wasser und der Art und Menge der im Wasser gelösten Stoffe. Die Salzablagerung.** Bei der verschiedenen Löslichkeit der einzelnen Gesteinsbestandteile in kohlensäurehaltigem Wasser können die aus einem und demselben Gestein hervorgehenden Böden sehr verschiedenartig sein, je nachdem der Verwitterungsprozeß in Anwesenheit von viel oder wenig Wasser sich vollzieht. Im ersteren Falle wird mit den leichter löslichen Bestandteilen auch ein größerer Teil der Kieselsäure in Lösung gebracht und entfernt, im anderen werden fast nur die leichter löslichen Bestandteile fortgeführt, und es bleibt ein an Kieselerde reicherer Boden zurück. Ebenso bewirkt ein größerer Gehalt des Wassers an Kohlensäure eine schnelle Verwitterung, bei der die in Karbonate umgewandelten Basen der Silikate rasch entführt werden und die schwer lösliche Kieselerde zurückbleibt, während bei geringerem Kohlensäuregehalt die Verwitterung langsam vorschreitet, und die geringen Mengen ausgeschiedener Kieselerde zugleich mit den entstandenen Karbonaten fortgespült werden. Die Art der Salze, die das Wasser gelöst enthält, ist bestimmend für die Gesteinsumwandlungen, die man als „komplizierte“ Verwitterung bezeichnet (§ 50), also auch für die Art des sich bildenden Bodens. Aus reinem *Kalkstein* kann ein an Magnesiumkarbonat reicher Boden entstehen, wenn Lösungen dieses Salzes auf jenen einwirken. Eine Lösung von Magnesiumkarbonat ist imstande, noch große Mengen von Calciumkarbonat aufzunehmen; beide Salze bilden

100 Teilen der von Wasser und von organischen Beimengungen frei gedachten Masse:

	Gute Marscherde	Maibolt
Calcium- und Magnesiumkarbonat . . . . .	8,58 Teile	2,43 Teile
Schwefeleisen . . . . .	2,18 „	9,77 „
Ferrisulfat *) . . . . .	0,00 „	1,50 „
Freie Schwefelsäure *) . . . . .	0,00 „	0,45 „

\* Bei längerem Liegen der Probe an der Luft aus Schwefeleisen entstanden.



schwerlöslichen *Dolomit*, der sich ausscheidet, während leichtlösliches saures Calciumkarbonat vom Wasser fortgeführt und an anderen Stellen abgelagert werden kann. Kommen *eisenreiche* Gesteine, z. B. Tone, mit den Lösungen von Calciumphosphat in kohlensäurehaltigem Wasser zusammen, so entsteht ein schwerlösliches Eisenphosphat, das im Boden zurückbleibt. *Kaliumreiche*, an Calciumverbindungen arme Gesteine können *calciumreiche* und kaliumarme Böden liefern, wenn sie mit großen Mengen calciumkarbonathaltigen Wassers in Berührung sind; denn Kaliumsilikat und saures Calciumkarbonat setzen sich zu leichtlöslichem Kaliumkarbonat um, während Kieselerde und normales Calciumkarbonat ausgeschieden werden. Unter Einwirkung von *kaliumkarbonathaltigem* Wasser kann in *natriumsilikathaltigen* Gesteinen das Natrium durch Kalium ersetzt, also die Bildung eines an Kalium reichen Bodens hervorgerufen werden, während das entstandene Natriumkarbonat fortgewaschen wird. Lösungen von Kalium- und Natriumsilikat können Tonerde in Lösung bringen und so die Bildung eines tonärmeren Bodens aus einem an Aluminiumsilikat reichen Gestein veranlassen. Dahin gehört ferner die Bildung von Schwefeleisen bei Einwirkung von eisenkarbonathaltigem Wasser auf Gips (S. 49). Weitere Umsetzungen s. § 51.

Zu den bedeutsamsten Vorgängen bei der Bodenbildung gehört die *Entstehung der Salzlager*, wie sie in verschiedenen geologischen Perioden stattgefunden hat. Nach der herrschenden Vorstellung von der Bildung der Erdrinde sind die im Wasser und vornehmlich im Meereswasser gelösten Stoffe im wesentlichen <sup>1)</sup> ursprünglich Bestandteile der plutonischen Urgesteine gewesen. Bei der Zerstörung des Gesteinszusammenhanges durch die oben eingehend erörterten Vorgänge wurden die im Wasser besonders leichtlöslichen Mineralien vom Wasser am weitesten fortgeführt; sie sammelten sich schließlich im Meereswasser und verleihen diesem seinen salzigen Geschmack und sein hohes spezifisches Gewicht. Der Gehalt des Seewassers an festen Stoffen schwankt infolge der ungleichen Wasserverdunstung in den verschiedenen Gegenden und je nach der Größe der in das Seewasser eintretenden Süßwasser- oder Eismengen. Der Salzgehalt des Atlantischen Ozeans beträgt etwa 3,6 %, der des Mittelmeeres 3,96—4,16 %, dagegen der der Ostsee nur etwa 1—2 %. Im Durchschnitt bestehen die im Meerwasser gelösten Salze aus 78 % Chlor-

---

<sup>1)</sup> Ein Teil der bei sehr hoher Temperatur luftförmigen Chloride, Fluoride u. a. Verbindungen mag allerdings in der Zeit, da die Erstarrungskruste des glutflüssigen Erdballs sich bildete, neben dem damals ausschließlich in Dampf- form befindlichen Wasser in der den Erdkörper umgebenden Lufthülle vorhanden gewesen sein und bei weiterer Abkühlung, ohne Gesteinsbestandteil zu werden, in dem allmählich flüssig werdenden Wasser sich gelöst haben.



natrium, 9,6 % Chlormagnesium, 6,5 % Magnesiumsulfat, 3,7 % Calciumsulfat, 1,8 % Chlorkalium und 0,1 % saures Calciumkarbonat <sup>1)</sup>).

In Binnenseen oder in abgeschnürten Meeresbuchten, welche zwar dem Zufluß, nicht aber dem Wiederabströmen von Seewasser günstig sind, kann sich das Salzwasser infolge der Verdunstung des Wassers derartig konzentrieren, daß die gelösten Stoffe zur Ausscheidung gelangen. Solche Vorgänge finden noch jetzt z. B. im Toten Meer und im Großen Salzsee von Utah in Nordamerika statt, und ihnen verdanken auch die gewaltigen, bis 1600 m mächtigen Salzablagerungen im nördlichen Deutschland während der Zechsteinperiode ihre Entstehung. Höchstwahrscheinlich haben sie sich in einem Becken gebildet, welches von der offenen See durch eine wohl das Zuströmen von Seewasser zulassende, aber das Abfließen hindernde Barre getrennt war. Aus der durch stetige Wasserverdunstung immer dichter werdenden Salzlake schieden sich zunächst die am schwersten löslichen Bestandteile — insbesondere Calciumsulfat in Form von Anhydrit (§ 23) — aus, es folgte das Chlornatrium (Steinsalz), von dem sich infolge des stetigen Ersatzes des verdunstenden Wassers durch neues Salzwasser besonders große Massen absetzten. Die in Wasser leichter löslichen Salze kamen aus der darüber stehenden Flüssigkeit unter Bildung zahlreicher Doppelsalze (§§ 23, 27) erst dann zum Absatz, als die verdunstenden Wassermengen das hinzutretende Seewasser überwogen und der Zulauf des letzteren schließlich ganz aufhörte <sup>2)</sup>).

Ein ähnlicher Prozeß hat zweifellos bei allen Salzablagerungen stattgefunden; wenn sich im Gegensatz zu den meisten übrigen Salzvorkommen bei den deutschen Salzlagerstätten die besonders wertvollen, das Steinsalz überdeckenden Kalisalze ganz oder zum großen Teil auf ihrer Bildungsstätte erhalten haben, so ist dafür der glückliche Umstand verantwortlich zu machen, daß sie zu rechter Zeit von einer durch die Winde herbeigeführten lößartigen Bodenschicht überlagert worden sind, die sie vor dem Zutritt des Wassers geschützt hat.

<sup>1)</sup> Neben den obengenannten Salzen finden sich im Meereswasser noch in geringer Menge Verbindungen von Brom-, Jod-, Fluor- und anderen Elementen.

<sup>2)</sup> Diese bei der bergmännischen Gewinnung des Steinsalzes erst abzuräumenden Salze pflegt man als „Abraumsalze“ zu bezeichnen. — Der oben geschilderte Vorgang ist durchaus mit den Erscheinungen zu vergleichen, die man beim Eindampfen einer Salzlösung („Salzsole“) in der Salzpflanne beobachtet: zuerst Absatz und Auskristallisieren der schwerer löslichen Stoffe, während die „Mutterlauge“ sich immer stärker konzentriert und ihre leichtlöslichen Bestandteile erst absetzt, wenn das Wasser ganz oder zum größten Teil verflüchtigt ist. — Übrigens finden sich in der Natur nicht selten über den „Abraumsalzen“ wieder Steinsalzbildungen mit oder ohne Überlagerung von Abraumsalzen, ein Zeichen dafür, daß in späteren Zeiten ein neuer Einbruch von Meereswasser und eine Ablagerung von „jüngeren Steinsalz“ erfolgt ist.



## § 54.

Die Erörterungen über die Bodenbildung lassen klar erkennen, daß ein und dasselbe Gestein sehr verschiedenartige Böden liefern kann, je nach den Umständen, unter denen seine Verwitterung sich vollzieht. Je nachdem z. B. größere Mengen von fließendem, die löslich gewordenen Bestandteile fortführendem Wasser mit dem zerfallendem Gestein in Berührung kommen oder nicht, kann der Granit unfruchtbaren Sand- oder einen fruchtbaren Lehm Boden liefern, kann aus *Tonschiefer* ein an Kali und Kalk reicher und in anderen Fällen ein Boden hervorgehen, der nur Spuren dieser Stoffe enthält. Aus *Basalt* kann unter Umständen ein Boden gebildet werden, der in seiner Zusammensetzung sich nur wenig von dem ursprünglichen Gestein unterscheidet, unter anderen Verhältnissen kann aus dem an Kalk, Kali, Phosphorsäure reichen Muttergestein ein von diesen Stoffen fast freier Boden entstehen. Bezeichnungen, die bloß die Herkunft eines Bodens erkennen lassen, wie *Granitboden*, *Gneisboden*, *Basaltboden*, *Porphyrboden* u. a., bieten mithin keinerlei Handhabe, um den landwirtschaftlichen Wert der fraglichen Bodenarten zu ermessen.

#### D. Umwandlung der festen Erdrinde unter dem Einfluß vegetativer Kräfte.

Die früheren Erörterungen haben dargetan, daß chemische und mechanische Vorgänge unablässig an der Zerstörung der festen Erdrinde arbeiten und dadurch zugleich das Material für die mannigfachsten Neugestaltungen schaffen. Ebenso führen die pflanzlichen und tierischen Wesen, welche die Erde bevölkern, sowohl durch ihre Lebenstätigkeit als durch ihre abgestorbenen und der Zersetzung anheimfallenden Leiber einerseits den Zerfall des Bestehenden und andererseits den Aufbau neuer Gebilde herbei. Der Beteiligung tierischer und pflanzlicher Wesen an der Entstehung des Kieselgurs, der Kreide, des Muschel- und Korallenkalkes, des Kalktufts, Wiesenkalks und des Salpeters ist früher bereits gedacht worden (S. 30; 43, 68, 52). Auch an der manchenorts vorkommenden Aufspeicherung von Phosphaten haben zweifellos vielfach Pflanzen und Tiere mitgewirkt. Den Resten von Seetieren verdanken höchstwahrscheinlich die *Petroleumansammlungen*<sup>1)</sup>, einer üppigen Pflanzenvegetation die *Steinkohlen-* und *Braunkohlenlager* ihre Entstehung. Aber die Mitwirkung tierischer und pflanzlicher Wesen an der Umgestaltung der Erdrinde beschränkt sich

<sup>1)</sup> Dieser besonders von K. Engler vertretenen Ansicht gegenüber sieht G. Kraemer die Muttersubstanz des Erdöls in den wachsartigen Bestandteilen von Algenansammlungen, wie sie sich in den tieferen Schichten zahlreicher Torfablagerungen finden.



nicht auf diese vereinzelt Vorkommnisse, sie spielt vielmehr bei der Entstehung aller Bodenarten eine wichtige Rolle.

## § 55.

**Einfluß lebender und abgestorbener Pflanzen auf die Bodenbildung.**

**Bodenbakterien.** Alle Pflanzen bedürfen zu ihrer Ernährung gewisser Mineralstoffe, die wir als Bestandteile der die Erdrinde bildenden Gesteine kennen gelernt haben, und ferner sind ihnen Wasser, Stickstoff und Kohlenstoff nötig. Wasser, Stickstoff und Kohlenstoff sind die vornehmsten Bildner des verbrennlichen („organischen“) Teils der Pflanzenmasse. In unerschöpflichen Mengen bietet die Atmosphäre für alle Pflanzen leicht aufnehmbares Wasser. Der in ihr gleichfalls reichlich vorhandene Kohlenstoff ist mit Sauerstoff zu Kohlendioxyd ( $\text{CO}_2$ ) verbunden. Aber die höher organisierten, Blattgrün (Chlorophyll) enthaltenden Pflanzen besitzen die Fähigkeit, das Kohlendioxyd der Luft in ihren chlorophyllhaltigen Zellen mit Hilfe des Sonnenlichtes zu spalten und dessen Kohlenstoff zum Aufbau ihres Körpers zu benutzen. Einige von ihnen, die Schmetterlingsblütler (Papilionaceen), vermögen auch, wie dies zuerst Hellriegel nachgewiesen hat, mit Hilfe kleinster Lebewesen („Bakterium radicicola“, „Rhizobium“, „Azotobakter“), die sich in ihren Wurzeln in eigentümlichen Anschwellungen (Wurzelknöllchen) ansiedeln, den freien Stickstoff der atmosphärischen bzw. der Bodenluft zur Bildung ihrer stickstoffhaltigen Bestandteile zu verwerten. (Weiteres darüber unter Bodenbakterien im zweiten Teil dieses Paragraphen.) Den übrigen höheren Pflanzen geht diese Fähigkeit ganz oder doch so weit ab, daß sie zu ihrer normalen Ernährung des Vorhandenseins von Stickstoffverbindungen bedürfen. Abgesehen von den verhältnismäßig geringen Mengen von Stickstoffverbindungen, die sich bei den früher erörterten Naturvorgängen (§ 29) bilden, stand aber zu der Zeit, in der auf der erkalteten Erdoberfläche das Wachstum von Pflanzen möglich wurde, den letzteren nur der ungebundene Stickstoff der Luft zur Verfügung. Dem Wachstum höherer Pflanzen, die wie die Schmetterlingsblütler den freien Luftstickstoff sich anzueignen vermögen, war der ihrer Wurzelentwicklung ungünstige Zustand der harten Steinmassen hinderlich. Es konnten darauf naturgemäß nur höchst anspruchslose pflanzliche Organismen gedeihen, die zugleich die Fähigkeit besitzen, den zum Aufbau ihres Körpers nötigen Stickstoff und Kohlenstoff der atmosphärischen Luft zu entnehmen. Daß es derartige Organismen gibt, hat die Forschung der Neuzeit zweifellos dargetan. Es sind Bakterien („Spaltpilze“), denen das kaum verwitterte Gestein genügende mineralische Nahrung bietet, und die aus dem freien Stickstoff und dem Kohlendioxyd der Luft ihren Bedarf an Kohlenstoff und Stickstoff zu decken imstande sind. Mit ihren ab-



gestorbenen Leibern ließen sie Stickstoffverbindungen zurück, die auch höheren, auf die Aufnahme gebundenen Stickstoffs angewiesenen Pflanzen die Ansiedelung ermöglichten und die durch ihre Lebenstätigkeit eine nicht unbeträchtliche gesteinzersetzende und dadurch bodenbildende Wirkung ausübten. Dieser Vorgang läßt sich noch heutzutage vielfach auf fast unverwittertem Fels beobachten. Zunächst sind es die anspruchslosesten Pflanzen, Algen, Flechten, die das Gestein beziehen, Feuchtigkeit zurückhalten und so, im Verein mit der immer vorhandenen Kohlensäure, den Verwitterungsprozeß beschleunigen und den Boden für das Wachstum immer anspruchsvollerer Gewächse vorbereiten. Die Pflanzenwurzeln in ihrem Bestreben, Nahrung aus dem Boden zu saugen, verzweigen sich über das Gestein, dringen in jedes noch so feine Spältchen und umklammern die entstandenen Gesteinsbrocken. Durch die von ihnen ausgeschiedene Kohlensäure befördern sie die Verwitterung der Mineralien, mit denen sie in Berührung kommen, und durch eigentümliche Vorgänge, die man als *diosmotische* oder als *Diffusion* bezeichnet, wirkt in gleicher Richtung der in ihren Zellen eingeschlossene saure Wurzelsaft. Gerade die feinsten, besonders dicht an die Gesteinspartikel sich anlegenden Wurzeln pflegen reich an organischen Säuren: Oxalsäure, Weinsäure, Zitronensäure u. a., zu sein. Diese sind sowohl im Zelleninhalt als auch in der die Zellhaut durchsetzenden Flüssigkeit gelöst und imstande, durch die Zellwandung hindurch auf die mit ihr in innige Berührung kommenden Gesteinselemente zersetzend und lösend einzuwirken. Die so entstandene Lösung mineralischer Stoffe „diffundiert“ durch die Zellhaut hindurch in die Wurzelzellen und dient zur Versorgung der Pflanzen mit mineralischen Nährstoffen<sup>1)</sup>.

Auch *mechanisch* können die in die Gesteinsspalten eindringenden, an Umfang immer mehr zunehmenden Pflanzenwurzeln auf die Zertrümmerung des Gesteins hinwirken, indem sie die Erweiterung der Risse befördern, den Zusammenhang lockern und so den zersetzenden Agenzien: Luft, Wasser und Kohlensäure, den Weg bahnen<sup>2)</sup>.

Auf der anderen Seite kann das natürliche Pflanzenwachstum einer weiteren Zerstörung der zertrümmerten Felsmassen dadurch vorbeugen, daß es deren Verschwemmung durch das Wasser hindert. Die den Boden beziehenden und mit ihren Wurzeln festigenden Moose, Gräser und Wald-

<sup>1)</sup> Vgl. hiermit auch die Bemerkungen über „Physiologisch saure“ Salze in § 34.

<sup>2)</sup> Mit wie unwiderstehlicher Gewalt die Ausdehnung wachsenden Holzes erfolgt, ließ eine Beobachtung auf dem Garnisonsfriedhof in Hannover erkennen. Ein großer Sandsteinblock, der mit eisernen Klammern an eine Grabstätte befestigt war, wurde durch eine wachsende Birke unter Sprengung der Klammern beiseite gerückt.



bäume mildern die zerstörende Kraft des auffallenden Regens und schützen das bereits entstandene Erdreich gegen den seitlichen Stoß des zuströmenden Wassers.

Schon in den früheren Ausführungen ist mehrfach auf jene kleinen Lebewesen Bezug genommen worden, die man gewöhnlich als *Bakterien* bezeichnet. Die Forschungen auf dem Gebiet der Bakterienkunde lassen immer klarer die gewaltige Bedeutung dieser kleinsten Geschöpfe für zahlreiche Vorgänge in der Natur hervortreten, die man früher vornehmlich als chemische Kraftäußerungen anzusprechen gewohnt war. Auch bei der Bodenbildung und Umformung spielen sie offenbar eine wichtige Rolle. Insbesondere die von Hellriegel nachgewiesene Beteiligung von Bodenbakterien an der Ernährung der hülsenfrüchtigen Gewächse hat in neuerer Zeit der Untersuchung der Bodenbakterien und ihrer Bedeutung für Bodenbildung und Bodenkultur lebhaftes Interesse zugewendet und manche aussichtsreichen Ergebnisse gefördert. Immerhin darf nicht verschwiegen werden, daß die Bodenbakteriologie als Wissenschaft noch in den Kinderschuhen steckt und ihre Entwicklung noch weit zurücksteht hinter den Fortschritten der medizinisch-hygienischen Bakteriologie.

Abgesehen von Ursachen mehr äußerer Art sind dafür besonders die Schwierigkeiten verantwortlich zu machen, die sich der Erkennung und scharfen Kennzeichnung der einzelnen im Boden tätigen Mikroorganismen entgegenstellen sowie die Veränderlichkeit, die die Bakterienflora in einem Boden schon bei geringfügigen Veränderungen des letzteren aufweist, und die Leichtigkeit, mit der die einzelne Bakterienart beim Eintritt in andere Lebensbedingungen ihre Eigenschaften und Lebensäußerungen zu verändern scheint<sup>1)</sup>.

*Bakterien* (Spaltpilze oder Schizomycetes), der Gruppe der Thalluspflanzen (Thallophyten) unter den kryptogamischen Gewächsen angehörig, sind einzellige oder fadenförmige chlorophyllfreie Pflanzengestalten von winziger Größe — der größte Coccus (s. u.) hat einen Durchmesser von

etwa  $2 \mu = \frac{2}{1000}$  mm. Ihre einfachste Form tritt in kugelrunden Zellen

als „Kokken“ auf. „Stäbchen“formen bezeichnet man als „Bacillus“, Stäbchenzellen mit schwachschräbigen Krümmungen als „Vibrio“, stärker gekrümmte als „Spirillum“, gerade Zellflächen als „Leptothrix“, korkzieherartig gekrümmte Zellfäden als „Spirochaete“. Die Bakterien vermehren sich durch Zweiteilung der Zellen. Ihre die Erhaltung der Art sichernde Verbreitung geschieht wie bei allen Kryptogamen durch Sporen, kleine, aus der Mutterzelle sich abteilende selbständige Lebewesen, die

<sup>1)</sup> Weiteres darüber bei Dr. H. Fischer (s. Literaturnachweis).



bei Gegenwart geeigneter Nährstoffe und bei zusagender Temperatur keimen. Der Keim bildet sich wieder zum Bakterium aus.

Trotz der sehr geringen Unterschiede in ihrer Gestaltung weichen die verschiedenen Bakterienarten in ihrer Lebensweise und in ihren Lebensäußerungen außerordentlich stark voneinander ab.

So sicher der Zusammenhang zwischen dem Eintritt zahlreicher natürlicher Vorgänge und der Tätigkeit bestimmter Bakterien nachgewiesen ist, so rätselhaft ist vorläufig noch die Art und Weise, wie diese Wirkungen zustande kommen. Ubrigens sind es nicht nur Lebensäußerungen der Bakterienzelle welche auf die Umgebung verändernd einwirken können. Auch an sich leblose Bestandteile des Zellinhalts, sogenannte „ungeformte Enzyme“, können nach ihrem Austritt aus der Zelle Zersetzungen oder Verbindungen fremder Körper hervorrufen, mit denen sie in Berührung kommen, und zwar ohne daß sie selbst dabei merkbare Veränderungen erleiden.

Die meisten Bakterien bedürfen der Anwesenheit von Sauerstoff („aerobe“ B.), andere können ohne Sauerstoff auskommen („fakultativ anaerobe“ B.), einige Arten gedeihen nur bei Abwesenheit von Sauerstoff („obligat anaerobe“ B.). Die Anwesenheit größerer Mengen von Kalk scheint die Tätigkeit aller Bakterien zu erhöhen und für die meisten Vorbedingung für ihre gedeihliche Entwicklung zu sein.

Gegen Frost scheinen die meisten Bakterien unempfindlich zu sein, manche, wie z. B. die wichtigen, den Luftstickstoff in Pflanzenstickstoff überführenden, müssen vor längerer Belichtung geschützt werden.

Auch der übrigen, den höheren Pflanzen nötigen mineralischen Nährstoffe können die Bakterien nicht entbehren. Während jene fast durchweg den zum Aufbau ihres Leibes nötigen Kohlenstoff dem Kohlendioxyd („Kohlensäure“) der Atmosphäre entnehmen, bedürfen die meisten Bakterien der Zufuhr organischer Stoffe zu ihrer Ernährung. Hinsichtlich ihres Stickstoffbedürfnisses verhalten sie sich sehr verschieden (s. u.).

Nach A. F i s c h e r (s. Literaturnachweis) lassen sich die Bakterien hinsichtlich ihrer Lebensweise in drei biologische Gruppen zerlegen. Die eine, die „prototrophen“ Bakterien, vermag ganz oder teilweise ohne organische Nahrung zu gedeihen<sup>1)</sup>, die beiden anderen, die „metatrophen“ und die „paratrophen“ Bakterien, sind nicht fähig, aus anorganischen Stoffen ihren Leib aufzubauen und daher zu ihrer Ernährung auf bereits gebildete organische Stoffe pflanzlicher oder tierischer Herkunft angewiesen. Die metatrophe, die Mehrzahl der Bakterien umfassende Gruppe,

<sup>1)</sup> Sie verhalten sich also nach dieser Richtung hin wie die höheren, Blattgrün enthaltenden Pflanzen, die gleichfalls fähig sind, das Kohlendioxyd der Luft zu spalten und daraus den zur Bildung der organischen Körpermasse nötigen Kohlenstoff zu entnehmen (s. o.).



lebt sowohl in der freien Natur als auf der inneren Oberfläche des tierischen und menschlichen Körpers. Ein Teil von ihnen ruft Gärungsprozesse hervor („zymogene“ B.), andere sind Erreger der Fäulnis („saprogene“ B.), noch andere verhalten sich je nach den vorhandenen Lebensbedingungen verschieden.

Die paratropen Bakterien gedeihen nur innerhalb lebender Organismen oder doch nur unter Bedingungen, die den Verhältnissen im lebenden Körper nachgebildet sind.

Alle Böden<sup>1)</sup> enthalten zahlreiche Bakterien teils als ruhende Keime, teils in lebhafter Vegetation. Für die Bodenbildung und die Bodenkultur beanspruchen die folgenden Bakterien eine besondere Bedeutung:

Die *Schwefelbakterien* (Thiobakterien), den prototropen Bakterien (s. o.) zugehörig, finden sich an Orten, wo Schwefelwasserstoff auftritt. Sie führen die Oxydation dieses Gases unter Abscheidung von freiem Schwefel herbei.

*Eisenbakterien* („Ferrobakterien“), gleichfalls prototrophe Bakterienarten, wirken unter Abscheidung von Ferrihydroxyd oxydierend auf Lösungen von saurem Ferrokarbonat ein (s. S. 44). Übrigens legen manche Forscher dieser Mitwirkung an der Entstehung von Eisenockerablagerungen nur eine untergeordnete Bedeutung bei.

Von hervorragender Wichtigkeit sind die Bakterien, welche den *Bodenstickstoff* beeinflussen.

Viele saprogene (s. o.) Bakterien wirken zersetzend auf organische, an sich nicht zur Pflanzenernährung taugliche Stickstoffverbindungen tierischer oder pflanzlicher Herkunft ein, so namentlich auf Eiweißstoffe und ferner auf den Harnstoff der tierischen Ausscheidungen unter Bildung von *Ammoniak* oder Ammonverbindungen, andere, und zwar prototrophe, dabei natürlich aerobe Bakterien oxydieren den Ammonstickstoff zu *salpetriger Säure*<sup>2)</sup> („Nitritbakterien“: Nitrosococcus und Nitrosomonas), und eine weitere Oxydation der salpetrigen Säure zu Salpetersäure, der für die Pflanzenernährung wichtigsten Stickstoffverbindung, wird durch die Nitratbakterien (Nitrobacter) herbeigeführt („Nitrifikation“<sup>3)</sup>).

<sup>1)</sup> Der ursprüngliche Reichtum an Bakterien scheint von der Bodenart abhängig zu sein. So wurden beispielsweise bei annähernden Zählungen in 1 g Sandboden 380 000, in 1 g Leimboden 500 000 Salmittelze gefunden. Des weiteren wird Zahl und Artenmenge beeinflusst durch die Behandlung des Bodens (Kalkung, Düngung, Lockerung, Entwässerung usw.).

<sup>2)</sup> Salpetrige Säure ( $\text{HNO}_2$ ) kann unter anderem durch Sauerstoffentziehung (Reduktion) aus Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) entstehen. Ihre Salze („Nitrite“) sind im Gegensatz zu den Nitraten Pflanzengifte.

<sup>3)</sup> Ob die Ansicht mancher Forscher, daß bei diesem bedeutsamen Vorgang ein Teil des Ammonstickstoffs durch Verflüchtigung oder durch Festlegung in organischen Verbindungen für die Pflanzenernährung verloren gehe oder minder-



Noch andere Bakterien vermögen den freien Stickstoff der atmosphärischen und der Bodenluft in Stickstoffverbindungen überzuführen. Von diesen leben die Bakterien der Wurzelknöllchen der Schmetterlingsblütler, Azotobakter, *Bacillus radiculicola* oder *Rhizobium radiculicola*, in gegenseitigem Parasitismus (Symbiose) mit den hülsenfrüchtigen Gewächsen. Sie beziehen von ihnen die nötigen stickstofffreien Nährstoffe (in der ersten Zeit nach ihrer Einwanderung in die Wurzeln jener Pflanzen vielleicht auch Stickstoffnahrung), versorgen dann aber durch ihre Fähigkeit, den freien Stickstoff der Luft zu assimilieren, die „Wirtspflanze“ mit Stickstoffverbindungen <sup>1)</sup>.

Umstritten ist die Frage, ob die Stickstoffversorgung von Nichtleguminosen gleichfalls durch Bodenbakterien in nennenswertem Maße gefördert werden kann. Nach den bisherigen Untersuchungen ist das Vorkommen freilebender Bakterien nicht ausgeschlossen, die den Boden mit Stickstoffverbindungen anreichern. Auch scheint sich durch Heranzucht solcher Bakterienarten, die den angebauten Pflanzen gut angepaßt sind, und durch geeignete Ernährung ihre Wirkung nicht unwesentlich erhöhen zu lassen.

„*Denitrifizierende Bakterien*“. Neben den die Stickstoffversorgung der Pflanzen begünstigenden Lebewesen finden sich im Boden Bakterienarten,

wertig werde, und daß sich hierdurch die vielfach beobachtete Minderwirkung des Ammonstickstoffs gegenüber dem Salpeterstickstoff erkläre, zu Recht besteht, ist noch nicht erwiesen. Vielleicht sind für die letzteren in vielen Fällen Umstände verantwortlich zu machen, die der Nitrifikation entgegenwirken. So scheinen die Salpeterbakterien außerordentlich empfindlich gegenüber dem Wasservorrat des Bodens zu sein. Schlösing der Jüngere fand, daß von dem Stickstoff eines und desselben Bodens unter sonst gleichen Verhältnissen bei einem Bodenwassergehalt von

9,5 % :	2,7 %,
10,6 „ :	80,0 „
11,5—14,0 „ :	100,0 „

in Salpeterstickstoff übergangen.

<sup>1)</sup> Die in die Wurzelknöllchen eingewanderten Bakterien scheinen zunächst eine Umwandlung in „Bakteroiden“ zu erleiden, bevor sie fähig werden, den freien Luftstickstoff in Stickstoffverbindungen überzuführen. Diese Umwandlung scheint durch die Anwesenheit leicht löslicher Stickstoffverbindungen im Boden beschleunigt zu werden.

Böden, denen jene Bakterien fehlen, kann man sie nach Salfeld durch Aufbringen geringer Mengen von Erde aus leguminosenwüchsigen Äckern („Bodenimpfung“) oder nach Nobbe und Hiltner von Reinkulturen des *Bacillus radiculicola* („Nitragin“ oder „Azotogen“) einverleiben (Entgegen der früheren Annahme, wonach jede der verschiedenen Pазilionaceenarten eines besonderen Bakteriums zur Bindung des atmosphärischen Stickstoffs bedürfe, neigt man jetzt der Ansicht zu, daß ein und dieselbe Bakterienart bei allen Schmetterlingsblütlern die gewünschte Wirkung ausübe, wenn sie sich deren Eigenschaften erst angepaßt habe.



die sie erheblich beeinträchtigen. Sie scheinen vornehmlich den anaeroben Arten anzugehören, da ihre Wirkungen besonders stark in schlecht entwässerten, ungenügend durchlüfteten Böden hervortreten. Diese bestehen darin, daß sie entweder die salpetersauren Salze unter Abspaltung freien Stickstoffs zerlegen oder die Salpetersäure zu salpetriger Säure reduzieren („Denitrifikation“) oder sie in eiweißartige, für die Kulturpflanzen nicht aufnehmbaren Stoffe umwandeln. Auch die Entwicklung dieser Unholde wird durch die Anwesenheit reichlicher Kalkmengen im Boden sehr gefördert.

Schließlich mag noch bemerkt werden, daß nicht nur Bakterien, sondern auch zahlreiche andere kleine Lebewesen, wie Algen, Fadenpilze, Protozoen, Rotatorien u. a., an den besprochenen Bodenvorgängen sowie auch an der später zu erörternden Erscheinung der „Bodengare“ beteiligt sind <sup>1)</sup>.

**Einfluß abgestorbener Pflanzen auf die Bodenbildung.** Von größter Bedeutung für die Entstehung des Bodens sind ferner die Veränderungen, welche die Pflanzen nach ihrem Tode erleiden, und die Wirkung, die sie auf das umgebende Gestein ausüben.

## § 56.

**Verwesung.** Unter natürlichen Verhältnissen unterliegen die Bestandteile abgestorbener Pflanzen einer fortdauernden Umwandlung. Äußerlich spricht sie sich in der Zerstörung der Pflanzenfarben und der pflanzlichen Formen aus. Eingeleitet wird sie wahrscheinlich stets durch die Lebens-tätigkeit von niederen Lebewesen, darunter besonders von Bakterien (s. o.), deren Art auch auf den Verlauf und die Endprodukte des Zersetzungs-vorganges von Einfluß ist. Beteiligt sich der *Sauerstoff* der Luft in hervorragendem Grade an dem Zersetzungs Vorgange, so bezeichnet man diesen als *Verwesung*. Vom chemischen Standpunkt ist die Verwesung als ein Oxydationsprozeß, eine langsame Verbrennung anzusehen, wobei, unter Aufnahme von Sauerstoff, schließlich aller Kohlenstoff der organischen Pflanzenbestandteile in Kohlendioxyd und aller Wasserstoff in Wasser sich umsetzt, also die einfachen Verbindungen zurückgebildet werden, aus denen die lebende Pflanze die verwickelt zusammengesetzten Bestandteile ihres Körpers formte. Der von den Pflanzen in organischen Verbindungen, namentlich als Eiweiß aufgespeicherte Stickstoff wird bei der Verwesung entweder als freies Gas ausgeschieden oder in Ammoniak oder in Salpetersäure (§ 29) umgewandelt, während die

<sup>1)</sup> Sie werden neuerdings von R. H. Francé (München 1913) unter dem Namen „Edaphon“ (nach dem griechischen Wort το ἔδαφος, der Boden) zusammengefaßt.



durch die Wurzeln aufgenommenen Mineralstoffe als Karbonate, Nitrate, Sulfate, Phosphate, Silikate und Chloride zurückbleiben. Wie diese Mineralsalze die komplizierte Verwitterung (S. 87), so befördert das beim Verwesungsprozeß auftretende Kohlendioxyd in Verbindung mit Wasser die einfache Verwitterung (S. 83) der noch nicht völlig zersetzten Gesteinstrümmer. Andererseits tragen die von den verwesenden Pflanzen hinterlassenen Stickstoffverbindungen sowie die Pflanzennährstoffe Kalk, Kali, Phosphorsäure u. a., die von den Pflanzenwurzeln beim Eindringen in die tieferen Bodenschichten gesammelt und beim Verwesen der Pflanzen in den oberen Bodenschichten angehäuft zurückgelassen werden, erheblich dazu bei, die Bedingungen für das Wachstum anspruchsvollerer Gewächse günstiger zu gestalten, und zwar um so mehr, je vollständiger deren Überführung in Salpetersäure oder vielmehr in salpetersaure Salze erfolgt. Die Umstände, die hierfür besonders maßgebend sind, werden später noch näher erörtert werden.

### § 57.

*Der Verlauf des Verwesungsprozesses* hängt im wesentlichen ab von den zur Verfügung stehenden *Sauerstoff- und Wassermengen*, von der *Temperatur*, der größeren oder geringeren *Widerstandsfähigkeit* der der Zersetzung unterliegenden Pflanzenbestandteile und von der Anwesenheit oder Abwesenheit gewisser mineralischer Stoffe, die die Lebenstätigkeit der Verwesungsbakterien beeinflussen oder auf die pflanzlichen Stoffe eine chemische Wirkung ausüben.

Je leichter der Zutritt der *Luftsauerstoff* zu den abgestorbenen Pflanzenresten hat, um so energischer wird im allgemeinen die Oxydation von Kohlenstoff und Wasserstoff verlaufen. Die Anwesenheit von *Wasser* ist ferner eine durchaus nötige Vorbedingung für den Eintritt der Verwesung. Diese findet nicht statt bei völlig ausgetrockneten Stoffen, sie wird durch zunehmenden Wassergehalt der verwesenden Substanz so lange gesteigert, als dieser keinen hemmenden Einfluß auf den Zutritt des Luftsauerstoffs ausübt. Nach Untersuchungen von E. Wollny<sup>1)</sup> enthielt die Luft in einer Anhäufung verwesender Pflanzenstoffe bei einer Temperatur von 20° und einem

Wassergehalt von .	6,8 %	26,8 %	46,8 %
in 1000 Raunt. . .	3,2	54,2	61,5 Raunt. Kohlendioxyd.

Die Intensität der Verwesung ist ferner in hohem Grade abhängig von der Höhe der *Temperatur*. Sie wird verlangsamt oder gehemmt, sobald die Temperatur unter eine gewisse Grenze sinkt oder gewisse Grade übersteigt. Wie groß deren Einfluß innerhalb der Grenzen, zwischen denen

<sup>1)</sup> Journ. f. Landw., Jahrg. 1886, Bd. 34, S. 245.



noch eine Verwesung erfolgt, auf die Energie der Oxydation ist, geht aus folgenden Zahlen hervor: Versuche der Moor-Versuchsstation<sup>1)</sup> ergaben für 1000 l Bodenluft bei 30 cm Tiefe in einem gut entwässerten und aus leicht zersetzlichen Pflanzenresten bestehenden Niedermoor einen Gehalt an

Kohlendioxyd von . . . . .	17,3 g	33,9 g	56,7 g.
Bei einer Bodentemperatur von	5,4°	10,9°	17,2°.

Daß die *besonders festen und dichten* Pflanzenteile, z. B. die verholzten Stengel länger der Verwesung widerstehen als die weichen und porösen, die dem Eindringen der Zersetzungsagenzien kein Hindernis bieten, liegt auf der Hand. Auch die *chemische Beschaffenheit* gewisser Pflanzenbestandteile spielt dabei eine Rolle. Sehr widerstandsfähig sind z. B. die mit Kieselerde imprägnierte Oberhaut vieler Gewächse sowie die Wachs- und Harzstoffe der Pflanzen. Das aus eigentümlichen Umwandlungen von abgestorbenen Pflanzen (vielleicht auch von tierischen Körpern) hervorgegangene *Erdharz* („Erdwachs“, „Bitumen“) widersteht gleichfalls lange weiterem Zerfall und kann auch, indem es Gesteine durchdringt, diese auffällig lange vor der Verwitterung schützen. Befördert wird die Verwesung sehr erheblich durch die Anwesenheit *alkalisch reagierender* Stoffe, z. B. von Kalium- und Natriumkarbonat, von Calciumhydroxyd und auch von Calciumkarbonat, also von Stoffen, die auf die pflanzlichen Substanzen lösend einwirken und wahrscheinlich der Entwicklung und der Lebenstätigkeit der Verwesungsorganismen förderlich sind. *Verlangsamt* oder vollständig gehemmt wird sie dagegen durch andere Stoffe, welche die Entwicklung der Bakterien ungünstig beeinflussen, so durch größere Mengen von Chloriden der Alkali- und Erdmetalle, z. B. von Kochsalz, Kaliumchlorid u. a., ferner durch lösliche Salze der schweren Metalle, z. B. Eisensulfat, Quecksilberchlorid, Kupfersulfat u. a. Auch das Vorhandensein freier Säuren wirkt nachteilig auf die Verwesungsvorgänge ein.

Endlich beteiligen sich an der Zersetzung der Pflanzenreste im Boden noch die in dem letzteren lebenden *Tiere*, und unter diesen in hervorragendem Grade die Regenwürmer, mittelbar, indem sie durch ihre wühlenden und grabenden Bewegungen den Boden lockern und dadurch dem Luftsauerstoff Eingang verschaffen, unmittelbar dadurch, daß sie die als Nährmittel aufgenommenen Pflanzenstoffe in ihren Verdauungsorganen zu einer der Verwesung leicht unterliegenden Masse verarbeiten. Beihilflich sind ihnen dabei gewisse, ihrem Darmkanal eigene Drüsen, die

<sup>1)</sup> Dritter Bericht über die Arbeiten der Moor-Versuchsstation (Die Bodenluft in besandetem und nicht besandetem Hochmoor- und Niedermoorboden), s. Literaturverzeichnis.



Calciumkarbonat absondern. Weiteres über die Tätigkeit der Regenwürmer s. u. unter Bodengare. Auch die Tätigkeit anderer im Boden hausender Würmer, ferner von Insekten (Engerlingen, Ameisen) und auch von höheren Tieren (namentlich von Maulwürfen) wirkt nach beiden Richtungen fördernd auf die Verwesung ein. Das Vorhandensein *freier Säuren* im Boden verschlechtert die Lebensbedingungen aller dieser Tiere.

### § 58.

**Humus.** Bisher war nur die Rede von den Endprodukten der Verwesung. Zwischen ihnen und den organisierten Pflanzegebilden, aus denen sie hervorgehen, liegt aber eine große Anzahl von *Mittelgliedern*, von dunkel gefärbten, in den verschiedensten Zersetzungsstadien befindlichen und fortwährend sich verändernden Substanzen, Erzeugnissen einer noch unvollständigen Verwesung. Diese Stoffe, die, solange sie nicht infolge weiterer Aufnahme von Sauerstoff in die letzten, zum Teil luftförmigen Produkte des Verwesungsprozesses sich umgewandelt haben, einen wichtigen Teil des Kulturbodens bilden, bezeichnet man als *Humus* oder als „Humusstoffe“, „Humussubstanzen“.

Obwohl die chemische Forschung mit der Untersuchung der *Humusstoffe* sich vielfach beschäftigt hat, ist es bisher nicht gelungen, deren chemische Natur befriedigend aufzuklären. Durch Einwirkung gewisser Reagenzien lassen sich zwar aus dem Humus verschiedene Körper absondern, die aber bei verschiedener Darstellungsweise verschiedene Zusammensetzung und verschiedene Eigenschaften aufweisen und daher nicht als reine chemische Verbindungen, sondern wahrscheinlich als ein Gemenge von verschiedenen Körpern angesehen werden müssen. Nichtsdestoweniger hat man diesen Stoffen Namen beigelegt, wie „Humin“, „Ulmin“, „Huminsäure“, „Ulminsäure“, „Quell-“ oder „Krensäure“, „Quellsatz-“ oder „Apokrensäure“, „Geinsäure“ u. a. m., ohne aber Gewißheit darüber schaffen zu können, ob sie vorgebildete Bestandteile des Humus oder erst bei seiner chemischen Verarbeitung entstanden sind. Durch Behandlung des natürlich vorkommenden Humus mit kalten alkalischen Flüssigkeiten (Kalklauge, Natronlauge, Ammoniak) lassen sich daraus Stoffe abtrennen, die in den angewandten Reagenzien löslich sind, aus ihrer Lösung durch Zusatz von Säuren abgeschieden werden, also den Charakter von in Wasser schwer löslichen Säuren tragen. Ein anderer Teil des Humus wird von alkalischen Flüssigkeiten nicht in Lösung übergeführt. Die gelösten Stoffe bezeichnet man gewöhnlich als *Humussäure*, die nicht löslichen als *Humin*. Beide Stoffe oder Stoffgruppen enthalten neben Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff noch Stickstoff und mineralische Stoffe, deren Abtrennung so schwer gelingt, daß es unklar bleibt, ob sie einen zugehörigen Teil oder nur eine Verunreinigung der erst-



genannten bilden. Zwar ist es gelungen, aus den in Alkalien löslichen Bestandteilen des Humus eine von Mineralstoffen und von Stickstoff fast freie Säure zu gewinnen (Detmers Huminsäure), aber es ist unentschieden, ob sie im natürlichen Humus vorhanden oder ein durch jene Einwirkungen umgestaltetes Erzeugnis ist.

Die durch Alkalien in Lösung gebrachten Stoffe, die wir schlechtweg als „Humussäure“ bezeichnen wollen, sind in reinem Wasser schwer löslich. Ein Gehalt des Wassers an freien Säuren und an gewissen Salzen: Chloriden, Nitraten, Sulfaten der Alkali- und Erdmetalle, erhöht die Schwerlöslichkeit, die Anwesenheit von löslichen Phosphaten vermindert sie. Aus einer wässrigen Lösung werden die Humussäuren bei sehr niedriger Temperatur abgeschieden. So wenig die chemische Natur der natürlichen Humusstoffe erkannt ist, so läßt sich doch von allen sagen, daß sie aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff und den Mineralstoffen bestehen, die den humusliefernden Pflanzen eigen waren. An Kohlenstoff sind sie prozentisch reicher, an Wasserstoff und Sauerstoff prozentisch ärmer als der Pflanzenbestandteil, aus dem sie der Hauptmasse nach entstanden sind: die Pflanzenfaser oder *Cellulose*. Der letzteren kommt die chemische Formel:  $C_6H_{10}O_5$  zu, und sie enthält demnach 44,4 % Kohlenstoff, 6,2 % Wasserstoff, 49,4 % Sauerstoff. Dagegen enthalten die von Mineralstoffen, Stickstoff und Wasser ganz frei gedachten Humusstoffe etwa 59–64 % Kohlenstoff, 4,4–4,6 % Wasserstoff und 35–36 % Sauerstoff. Bei der langsamen Oxydation der Pflanzenstoffe, die man als Verwesung bezeichnet, treten also von dem ursprünglich vorhandenen Wasserstoff und Sauerstoff größere Mengen in Form von Wasser aus, als von dem Kohlenstoff in Form von Kohlendioxyd. Man kann sich den Vorgang etwa in folgender Weise vorstellen. Nach der Formel der Cellulose (s. o.) kommen darin auf

72 G.-T. Kohlenst., 10 G.-T. Wasserst., 80 G.-T. Sauerst.

Infolge der Verwesung an Luft-sauerstoff aufgenommen:

— „ „ — „ „ 32,6 „ „

Summa: 72 G.-T. Kohlenst., 10 G.-T. Wasserst., 112,6 G.-T. Sauerst.

Zur Bildung von 45,1 Kohlendioxyd und von 49,5 Wasser verwendet:

12,3 „ „ 5,5 „ „ 76,8 „ „

Bleibt: 59,7 G.-T. Kohlenst., 4,5 G.-T. Wasserst., 35,8 G.-T. Sauerst.

d. i. die prozentische Zusammensetzung von Detmers „Huminsäure“ (s. o.).

Der Stickstoffgehalt der natürlichen Humusstoffe hängt zunächst ab von dem größeren oder geringeren Stickstoffreichtum der humusbildenden



Pflanzen. Es ist anzunehmen, daß in den ersten Stadien der Verwesung nur sehr wenig Stickstoff austritt. Infolge der Oxydation des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs zu Kohlendioxyd und Wasser, die zum Teil auf Kosten des Luftsauerstoffs, zum Teil auf Kosten des in der Masse selbst enthaltenen Sauerstoffs (s. o.) vor sich geht, muß sich der zurückbleibende Rest also prozentisch immer mehr mit Stickstoff anreichern. Er ist zum weitaus überwiegenden Teil fest an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff gebunden und setzt sich erst bei weiterem Fortschreiten des Verwesungsvorganges und dem damit verbundenen völligen Zerfall der Pflanzenreste in Verbindungen um, die für die Kulturpflanzen aufnehmbar sind (Ammoniak, Salpetersäure). Weiteres darüber werden die Erörterungen über die Eigenschaften der verschiedenen Böden bringen. Der Stickstoffgehalt des von Wasser und Mineralstoffen frei gedachten Humus kann 1—6 % betragen.

Die natürlichen Humusstoffe besitzen in der Regel eine schwächer oder stärker saure Reaktion, d. h. sie röten in feuchtem Zustand blauen Lackmusfarbstoff. Sehr häufig beruht diese nur auf einem Gehalt an Kohlensäure, die sich bei der stetig fortschreitenden Verwesung der Humusstoffe bildet. In diesem Fall verschwindet beim Austrocknen der Masse mit der Verflüchtigung des Kohlendioxyds auch die saure Reaktion. Nicht selten bleiben aber auch die Humussubstanzen nach dem Austreiben der anhaftenden Kohlensäure sauer, sie enthalten dann *freie Humussäuren*, und man kann in diesem Fall von „saurem Humus“ sprechen. Im anderen Fall darf man annehmen, daß die im Humus enthaltenen Humussäuren an Metalle (namentlich an Calcium) gebunden, also in Form von Salzen vorhanden sind, und man nennt derartigen Humus wohl „milden“ Humus. Der letztere wird sich also namentlich aus Pflanzen und in Bodenarten bilden, die an basischen Stoffen und besonders an Kalk reich sind, während die Entstehung des sauren Humus an kalkarme Pflanzen und Böden gebunden ist. Eigentümlich und noch nicht genügend aufgeklärt ist es, daß die humussauren Salze weit leichter der *Verwesung* unterliegen als die freien Humussäuren<sup>1)</sup>, und hierauf dürfte zum Teil die zersetzende Wirkung zurückzuführen sein, die die Zufuhr von Kalk und von kohlen-sauren Salzen auf die sauren Humusstoffe ausübt. Die Humussäuren werden dadurch in humussaure Salze („Humate“) umgewandelt, diese gehen durch langsame Oxydation in kohlen-saure Salze über, die dann wieder fähig sind, mit Humussäuren Humate zu bilden.

Die freien Humussäuren haben nicht nur die Fähigkeit, kohlen-saure Salze unter Austreibung von Kohlendioxyd zu zersetzen, sie wirken, wo

<sup>1)</sup> Zu einem Teil hängt diese Tatsache allerdings damit zusammen, daß die die Verwesung fördernden Organismen in sauren Stoffen ungünstigere Lebensbedingungen vorfinden (s. o.).



sie in großen Massen vorhanden, auch zerlegend auf beständigere Verbindungen ein („Massenwirkung“, s. o.). Chloride, Sulfate, Phosphate, ja die schwer zersetzlichen Silikate werden durch sie unter Bildung von humussäuren Salzen und unter Abscheidung von freier Chlorwasserstoffsäure, Schwefelsäure, Kieselsäure, Phosphorsäure oder saurer phosphorsaurer Salze (S. 47), also von Stoffen zerlegt, die zum Teil die Zersetzung der vorhandenen Gesteine auf das lebhafteste befördern<sup>1)</sup>. An der letzteren beteiligt sich übrigens auch, wenn auch weniger energisch, der milde, freie Humussäuren nicht enthaltende Humus insofern, als er eine stetig fließende Quelle von Kohlensäure darstellt.

Abgesehen von den chemischen Wirkungen, die die Humusstoffe auf die mineralischen Bestandteile des Bodens ausüben, teilen sie diesem wichtige Eigenschaften mit, von denen später ausführlich die Rede sein wird.

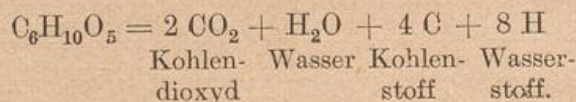
### § 59.

**Die Vermoderung und Verkohlung.** Sind die Bedingungen, z. B. die *Temperaturverhältnisse*, für eine schnelle Verwesung der abgestorbenen Pflanzenreste nicht günstig, wird namentlich durch irgendeinen Umstand der Zutritt des *Luftsauerstoffs* erheblich gehemmt, so findet zwar auch eine Zersetzung der ersteren statt, aber sie verläuft dann weit langsamer, und die Zwischen- und Endprodukte sind von den bei reichlichem Luftzutritt entstehenden verschieden. Eine mangels ausreichenden Luftzutrittes verzögerte und in ihren Erzeugnissen abgeänderte Verwesung pflegt man als „Vermoderung“ zu bezeichnen. Auch bei der Vermoderung verlieren die Pflanzenteile allmählich ihre Struktur, sie werden „desorganisiert“, sie setzen sich in „Möder“ um. Die aus der Vermoderung der organischen Stoffe hervorgehenden festen Körper zeichnen sich vor den Verwesungsprodukten namentlich durch einen geringeren Sauerstoffgehalt aus. Bei mangelndem Luftzutritt oxydieren sich Kohlenstoff und Wasserstoff der organischen Pflanzenteile hauptsächlich auf Kosten des nur in beschränktem Maß vorhandenen Sauerstoffs der letzteren, es werden also auch nur beschränkte Mengen von Kohlendioxyd und Wasser

<sup>1)</sup> Daß Humussäuren selbst aus den schwerzersetzlichen Sulfaten und Chloriden der Alkalien die Säuren abscheiden können, ist durch zahlreiche Beobachtungen festgestellt. So zeigten Untersuchungen der *Moor-Versuchsstation* ausgeführt von Dr. R. Kießling (Landwirtsch. Jahrb. 1883, S. 193), übereinstimmend mit den Arbeiten von Professor H. Eichhorn-Berlin, daß das Aufschließungsvermögen der an freien Humussäuren reichen Hochmoore für schwerlösliche Phosphate (s. S. 47) durch Anwesenheit von Kaliumsulfat und von Kaliumchlorid erheblich verstärkt werde. Die Tatsache ist nur so zu erklären, daß die durch die Humussäuren freigemachte Schwefelsäure und Chlorwasserstoffsäure die Überführung des Tricalciumphosphates in Monocalciumphosphat oder freie Phosphorsäure begünstigt haben.



gebildet, während ein größerer Teil des Kohlenstoffs zurückbleibt oder auch in Form von sauerstofffreien Kohlenstoff-Wasserstoffverbindungen sich verflüchtigt. Zur Veranschaulichung dieses Vorganges kann man wieder von dem hauptsächlichsten Pflanzenbestandteil, der Pflanzenfaser oder Cellulose ( $C_6H_{10}O_5$ ) ausgehen (vgl. S. 107). Würde aller Sauerstoff der Cellulose zur Bildung von Kohlendioxyd und Wasser verbraucht, so ließe diese Umsetzung sich durch die folgende chemische Gleichung ausdrücken:



Verliefe die Umwandlung in dieser Weise, so würde als Endprodukt reiner Kohlenstoff zurückbleiben, der Wasserstoff aber sich verflüchtigen<sup>1)</sup>. Bei dem Vermoderungsprozeß tritt aber fast immer noch ein Kohlenwasserstoff von der Zusammensetzung  $CH_4$  auf: „*Sumpf*gas“, „*Gruben*gas“, in der chemischen Sprache „Methan“ genannt, ein brennbares Gas, das beim Aufrühren stehender, an vermodernden Pflanzenstoffen reicher Gewässer leicht beobachtet werden kann und das den Hauptbestandteil der gefährlichen „schlagenden Wetter“ in den Steinkohlengruben bildet. Man kann also annehmen, daß ein Teil des Kohlenstoffs der vermodernden Pflanzenmasse mit dem Wasserstoff Methan bildet:  $2 C + 8 H = 2 CH_4$ . Es würde also als letztes Produkt der Vermoderung nur Kohlenstoff zurückbleiben. Wenn die Vermoderungsvorgänge in der Natur auch schon deswegen sich nie so glatt vollziehen, wie es diese schematischen Gleichungen andeuten, weil die sich zersetzenden Pflanzenmassen neben Cellulose noch viele andere Stoffe von anderer Zusammensetzung enthalten, so tritt dabei doch stets eine erhebliche prozentische Anreicherung der festen Vermoderungsprodukte an Kohlenstoff auf, und man spricht daher bei weit fortgeschrittenen Vermoderungsprozessen mit Recht von einer „Verkohlung“<sup>2)</sup>.

### § 60.

**Reduktionsprozesse.** Kennzeichnend für den Vermoderungsprozeß sind die Wirkungen, die die vermodernden Pflanzenreste auf sauerstoffhaltige Körper ausüben, mit denen sie in Berührung kommen. In ihrem Bestreben, ihren Kohlenstoff und Wasserstoff zu Kohlendioxyd und

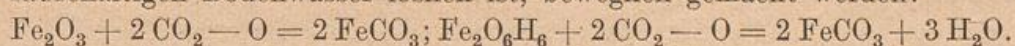
<sup>1)</sup> Bei der Zersetzung organischer Stoffe unter Abschluß des Luftsauerstoffs wird regelmäßig auch freier Wasserstoff entwickelt.

<sup>2)</sup> Der Anthracit, die Steinkohlen und die Braunkohlen sind die bekannten Produkte der „Verkohlung“ von Pflanzenmassen. Infolge des Verkohlungsprozesses ist der Kohlenstoffgehalt bei dem ältesten Gebilde, dem Anthracit, bis auf etwa 94 %, bei den jüngeren Steinkohlen auf 80–90, bei den noch jüngeren Braunkohlen auf etwa 70 % gestiegen.

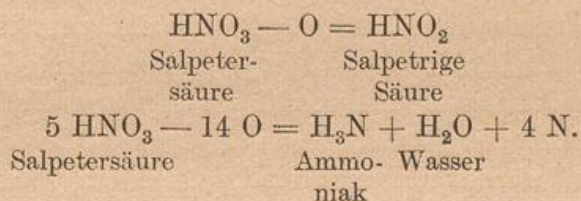


Wasser zu oxydieren, entziehen sie den letzteren Sauerstoff und bewirken so ihre „Reduktion“. Die Entstehung von Sulfiden aus Sulfaten, das Auftreten von Schwefelwasserstoffgas infolge von Reduktionsvorgängen ist bereits früher besprochen worden (§ 24).

*Ferrioxyd* und *Ferrihydroxyd* werden durch vermodernde Pflanzenreste zu *Ferrooxyd* und *Ferhydroxyd* reduziert. Durch das infolge der Kohlenstoffoxydation gleichzeitig auftretende Kohlendioxyd können diese Verbindungen in Ferrokarbonat übergeführt und, da dieses in dem kohlen-säurehaltigen Bodenwasser löslich ist, beweglich gemacht werden:



Die *Salpetersäure der Nitrate* kann bei Anwesenheit vermodernder Stoffe zu salpetriger Säure und zu Ammoniak reduziert werden. Ihre Überführung in Ammoniak ist bisweilen begleitet von einer Abspaltung freien Stickstoffgases. Die folgenden Gleichungen mögen den Vorgang veranschaulichen:



### § 61.

**Moorbildung, Vertorfung. — Torf.** Überall, wo die Bedingungen für ein üppiges Pflanzenwachstum gegeben sind, und anderseits irgendwelche Umstände der schnellen Verwesung der abgestorbenen Pflanzen im Wege stehen, wo z. B. größere, die letzteren umgebende Wassermengen den Zutritt des Luftsauerstoffs verhindern oder doch stören, können sich allmählich so große Mengen ganz oder teilweise vermoderter Pflanzenreste ansammeln, daß sie ausschließlich den Boden bilden, während der Charakter des darunter liegenden Gesteins oder Mineralbodens ganz zurücktritt. Derartige, fast ganz aus den Resten abgestorbener Pflanzengenerationen bestehende Böden bezeichnet man als „*Moor*“.

Die Vorgänge, die die Umwandlung der Pflanzen in einen dem unbewaffneten Auge als völlig amorph erscheinenden Moder oder in ein Gemenge von formlosen und von solchen Pflanzenresten bewirken, welche infolge ihrer größeren Widerstandsfähigkeit (S. 104) ihr ursprüngliches Gefüge noch deutlich erkennen lassen, werden gewöhnlich unter dem Ausdruck „*Vertorfung*“ zusammengefaßt. Das Zersetzungsprodukt selbst bezeichnet man als „*Torf*“<sup>1)</sup>, falls es die Fähigkeit besitzt, beim Austrocknen

<sup>1)</sup> Die von H. Potonié und von C. Weber vertretene Unterscheidung zwischen „*Vermoderungs*“ und „*Vertorfungsvorgang*“ und zwischen den Ge-



ein gutes Brennmaterial zu liefern. Diese beruht — abgesehen von der Brennbarkeit — auf einem hohen Gehalt an stark vermoderter Pflanzenmasse, der eine erhebliche Volumverminderung, also Verdichtung beim Austrocknen zur Folge hat, und auf einem nicht unerheblichen Gehalt an weniger zersetzten pflanzlichen Fasern, die das Zerbröckeln, Zerkrümeln, Auseinanderfallen der getrockneten Masse verhindern<sup>1)</sup>.

Die Vertorfung vollzieht sich unter dem Einfluß des Wassers, das die abgestorbenen Pflanzen durchtränkt und den Zutritt des Luftsauerstoffs absperrt oder doch wesentlich einschränkt. Dadurch wird die Verwesung gehemmt, dagegen der Zersetzungs Vorgang gefördert, den wir früher (§ 59) als Vermoderung und Verkohlung bezeichnet haben. Mit ihm ist eine Dunkelfärbung der Pflanzenteile verbunden, die sich auch dem umgebenden Wasser mitteilt, ferner ein stärkerer oder geringerer Zerfall der pflanzlichen Gewebe. Die vorher in ihrem organischen Zusammenhang vor der auswaschenden Kraft des Wassers geschützten Pflanzenbestandteile verfallen, soweit sie von vornherein leicht löslich sind oder infolge der Zersetzung in leicht lösliche Formen übergeführt werden, der Auslaugung durch die atmosphärischen Niederschläge und das Bodenwasser. Zu diesen Stoffen gehören insbesondere die *Kalium*-verbindungen, an denen alle Torfarten außerordentlich arm sind. Auch ein beträchtlicher Teil der Phosphorverbindungen in den torfbildenden Pflanzen kann verloren gehen, wenn nicht die Anwesenheit eisenhaltigen Wassers die Entstehung schwerlöslicher Phosphorsäuresalze veranlaßt.

Ein charakteristisches Merkmal der fortschreitenden Vertorfung ist der Übergang der geformten Pflanzenteile in eine mehr oder weniger formlose Masse mit wesentlich veränderten Eigenschaften<sup>2)</sup>. Die Torf-

---

bilden „Moder“ und „Torf“ scheint mir durch die angeführten Unterscheidungsmerkmale nicht genügend begründet (F.).

<sup>1)</sup> Obige Erklärung entspricht dem gewöhnlichen Sprachgebrauch. Nach einer Vereinbarung zwischen der Geologischen Landesanstalt und der Moor-Versuchsstation wird in Zukunft bei den Mooraufnahmen der ersteren die Bezeichnung „Moor“ als geologischer, die Bezeichnung „Torf“ als petrographischer Begriff angesehen. Die Moore bestehen aus Torf. Nur solche Bodenbildungen werden nach dieser Übereinkunft als „Moore“ bezeichnet, die mindestens eine 20 cm mächtige, von zufälligen Bestandteilen (z. B. Sand, Kalk, Eisen, Ton) nahezu freie Torfschicht aufweisen. Die Substanz der verschiedenen Torfschichten setzt sich aus den Resten verschiedener Pflanzengesellschaften zusammen, denen als zufällige Bestandteile Ton und Sand, durch Wasser oder Wind von außen zugeführt, beigemengt sein können, und die als Erzeugnis chemischer (oder biologischer) Vorgänge während ihrer Bildung nicht selten einen hohen Gehalt an Eisen- oder Calciumverbindungen aufweisen.

<sup>2)</sup> Als Produkt einer besonders weit fortgeschrittenen Vertorfung ist der *Dopplerit* zu nennen, ein in den verschiedensten Torfarten vorkommendes und diesen nach seinem Gehalt an Stickstoff und Mineralstoffen entsprechendes, aber



substanz besitzt die Fähigkeit, große Flüssigkeitsmengen unter starker Vergrößerung ihres Volumens in sich aufzunehmen und festzuhalten (Quellungsvermögen — s. darüber unten unter „Kolloide“). Diese Fähigkeit geht aber verloren, wenn durch starkes Austrocknen ihr der größte Teil des Wassers entzogen wird. Hierbei schrumpft sie ähnlich wie austrocknender Ton zu bisweilen äußerst harten, holzartigen, vom Wasser kaum noch benetzbaren Stücken zusammen. Je mehr die torfbildenden Pflanzenteile ihre organisierte Form verlieren, um so stärker wird ihr Kontraktionsvermögen. Fast amorph gewordene Torfarten (s. u.) können hierbei unter erheblicher Zunahme ihres spezifischen Gewichtes und ihrer Härte auf  $\frac{1}{10}$  und weniger des ursprünglichen Volums schwinden.

Im Verfolg des Vertorfungsprozesses häufen sich die abgestorbenen Pflanzenmassen zu Schichten an, die nicht selten die Mächtigkeit von 10 m und mehr erreichen.

Entsprechend den äußerst mannigfaltigen Verhältnissen, unter denen Moor entstehen kann, weisen auch die verschiedenen Moore große Verschiedenheiten in ihrer Beschaffenheit und in ihren Eigenschaften auf. In erster Linie wird die für seine Kultivierung maßgebende Beschaffenheit eines Moores durch die Art der Pflanzen bedingt, die sich an seiner Bildung beteiligt haben, und weiter durch den Zersetzungszustand, in dem sich die abgestorbenen Reste dieser Pflanzen befinden. Letzterer steht einerseits wieder zu der natürlichen Beschaffenheit der moorbildenden Pflanzen (S. 105) und anderseits zu den der Vertorfung mehr oder weniger günstigen äußeren Verhältnissen in nahen Beziehungen. Ob sich aber an irgend-einer Stelle diese oder jene Pflanzenarten besonders üppig entwickeln werden, hängt ganz wesentlich von der Beschaffenheit des Bodens, worin sie wurzeln, und des Wassers ab, das der Vegetation ihre Nährstoffe zuführt, und so kann man mit vielem Recht den Satz aufstellen: *Die Beschaffenheit einer Moorbildung richtet sich nach der Beschaffenheit des Untergrundes, worauf sie aufgewachsen ist, und nach der Beschaffenheit der Zuflüsse, die die moorbildenden Pflanzen von außen her erhalten haben.*

## § 62.

*Einteilung und Benennung der Moore.* Nach den vorstehenden Bemerkungen lassen sich die meisten der mannigfaltigen Moorgebilde in zwei Hauptgruppen ordnen. Die Glieder der einen entstanden unter Verhältnissen, die nur bezüglich ihrer Ernährung besonders anspruchslosen Pflanzen ein üppigeres Wachstum gestatten, die der anderen Gruppe

völlig amorph gewordenes Gebilde. Im frischen Zustande bildet er eine dunkel gefärbte Gallert, die zu einer schwarzen, glänzenden, asphaltähnlichen Masse mit muschligem Bruch austrocknet. Eigentümlicherweise scheinen selbst die in kalkreichen Mooren vorkommenden Dopplerite freie Humussäuren zu enthalten.



angehörigen Moore bildeten sich auf einem Boden, der entweder selbst an Nährstoffen reich war oder von außen her fruchtbares Wasser zugeführt erhielt. Im ersteren Fall beteiligen sich an der Torfzusammensetzung hauptsächlich Torfmoose (Sphagnaceen), heidekrautartige Gewächse (Erica, Calluna u. a.) und gewisse Riedgräser, namentlich „Wollgras“ (Eriophorum), im anderen treten als torfbildend weit zahlreichere Pflanzenarten auf, darunter in hervorragenden Mengen gewisse Süßgräser (Gramineen): das gemeine Dachrohr („Reet“, „Ried“ — *Phragmites communis*), Schilf (*Calamagrostis*), *Poa aquatica* u. a., ferner zahlreiche Sauergräser (Halk-, Scheingräser — Cyperaceen): Riedgras (Segge — *Carex*), Binse (*Scirpus*), ferner Rohrkolben (*Typha*), Simse (*Juncus*), von Moosen nur selten Sphagnaceen (Torfmoose), dagegen Hypneen (Astmoose), von Holzgewächsen besonders Erle (*Alnus*), aber auch Eiche, Esche, Linde, Fichte, Weide u. a.

Nach den an der Torfbildung vornehmlich beteiligten und noch jetzt in ihrer natürlichen Vegetation vorherrschenden Pflanzen bezeichnet man die eine Moorgruppe als *Torfmoos-Wollgras-Heidetorf* oder Sphagneto-Eriphoreto-Callunetum, die andere als *Grastorf* (auch Grünlands- oder Wiesen- oder Rasentorf) oder Hypneto-Cariceto-Graminetum. An die Stelle dieser etwas weitläufigen Benennungen treten zweckmäßig die Bezeichnungen „heidewüchsige“ oder „graswüchsige“ Moore. Als eine Unterabteilung beider Gruppen kann man den *Waldtorf* (Arboretum) ansehen, dessen Substanz neben den Bestandteilen des Moos-Heidetorfes oder des Grastorfes noch erhebliche Mengen von Holz- und Baumblattresten enthält, und zwar von Birken- und Kiefern- (Föhren-) Resten beim Moostorf-Waldtorf, von Erlen, Weiden, Eschen, Eichen, Linden u. a. beim Grastorf-Waldtorf.

Zwischen diesen hinsichtlich ihrer natürlichen Vegetation, ihrer Bodenbeschaffenheit und ihres kulturellen Verhaltens streng geschiedenen Moorgruppen stehen zahlreiche Zwischenstufen, hervorgegangen aus Pflanzengesellschaften, deren einzelne Glieder zum Teil den niederungsmoorbildenden, zum Teil den hochmoorbildenden Gewächsen zuzurechnen sind.

Da die zur Moos-Wollgras-Heidetorf-Gruppe gehörigen Moore auf einem über dem gewöhnlichen Grundwasserspiegel belegenen Boden, und nicht oder nur wenig vom Bodenwasser beeinflusst, entstanden sind, die Unterlage der Grasmoore aber entweder von Wasser bedeckt oder doch häufigen Überschwemmungen ausgesetzt war, so nennt man die Moore der ersten Gruppe auch „Überwassermoore“ (Supraaquatische) oder „Hochmoore“, die der anderen „Unterwassermoore“ (Infraaquatische) oder „Niederungsmoore“<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die Bezeichnung „Hoch“moor wird auch (wahrscheinlich fälschlich) dem Umstande zugeschrieben, daß diese Moore eine gewölbte, in ihrer Mitte sich weit über die Ränder erhebende Oberfläche besitzen, während die Oberfläche der



Die nach ihrem Gehalt an torfbildenden Pflanzen zwischen beiden Gruppen stehenden Moore bezeichnet man als „*Zwischen-*“ oder „*Mittelmoore*“ oder häufiger noch als „*Übergangsmoore*“, weil in der oft vorkommenden Schichtenfolge: Niedermoor — Hochmoor der Zwischenmoor den Übergang von einer Torfart in die andere bildet.

Die Benennung der Moorgruppen: *Hochmoor* und *Niedermoor* ist, wenigstens in Norddeutschland, die allgemein übliche und schließt sich an die holländischen Namen „*hooft veenen*“ und „*laage veenen*“ und an die weitverbreiteten Bezeichnungen „*Höhenboden*“ und „*Niederungsboden*“ an. Sie bringt die für die allermeisten Glieder der einzelnen Gruppen zutreffenden Unterschiede hinsichtlich ihrer Höhenlage zum Wasser zum Ausdruck und gewährt dadurch auch für die praktische Verwertung der Moore einen schätzbaren Anhalt. Solange man sich nicht zu einer Benennung entschließt, die der pflanzlichen Herkunft des Moores Rechnung trägt, beispielsweise von ihrer natürlichen Pflanzendecke ausgeht, glaubt Verfasser an den bei uns eingebürgerten Bezeichnungen festhalten zu sollen, um so mehr, als er in den neuerdings hervorgetretenen Änderungsvorschlägen keinerlei Verbesserungen sieht. Ganz besonders gilt dies für die laut Beschluß der Direktoren der deutschen geologischen Landesanstalten in die geologische Bodenkartierung neuerdings eingeführte Bezeichnung „*Flachmoor*“ an Stelle von „*Niedermoor*“. Jener hauptsächlich in Süddeutschland gebräuchliche Name soll die ebene, bisweilen nach der Mitte hin einsinkende Oberfläche der graswüchsigen Moore im Gegensatz zu der meist konvex gewölbten Oberfläche der heidewüchsigen Moore (s. Anmerkung auf der vorangegangenen Seite) zum Ausdruck bringen, läßt aber bei dem Nichtkundigen nur allzu leicht die Vorstellung eines weniger mächtigen, „*flachanstehenden*“ Moores entstehen. Auch der von C. Weber vorgeschlagene Ersatz des Wortes *Niedermoor* durch „*Niedermoer*“ dürfte etwaige Mißdeutungen ebenso wenig ausschließen wie die alte Bezeichnung.

Für die hinsichtlich ihrer natürlichen Vegetation und ihrer pflanzlichen und chemischen Zusammensetzung zwischen den Hoch- und den Niedermoores stehenden *Übergangsmoore* soll bei der geologischen Landeskartierung in Zukunft die Bezeichnung *Zwischenmoore* verwendet werden.

Niedermoores meist flach (bisweilen auch in der Mitte etwas gesenkt) erscheint. Die Hochmoore werden in Ostpreußen „*Moosbruch*“, in anderen Gegenden „*Moos*“ oder „*Mösse*“ genannt. Die Niedermoores bezeichnet man im nördlichen Deutschland auch als „*Bruch*“ (*Bruchmoor*) und als „*Luch*“. Weniger scharf unterscheidend braucht man für die verschiedenen Moore in West- und Süddeutschland die Bezeichnungen „*Venn*“, „*Filz*“, „*Ried*“, „*Lohden*“, „*Wehr*“ u. a.



## § 63.

Der den größten Teil Norddeutschlands bedeckende Diluvialboden bietet mit seinen zahlreichen, die Wasseransammlung befördernden Einsenkungen die denkbar günstigsten Vorbedingungen für die Moorbildung und ermöglicht zugleich durch die großen Verschiedenheiten in der Bodenzusammensetzung das Auftreten der verschiedensten Moorbodenarten <sup>1)</sup>.

**Die Bildung der Niederungsmoore.** Am ungestörtesten erfolgte die Moorbildung in tieferen oder flacheren Seebecken, die, von den atmosphärischen Niederschlägen und von unter- und seitwärts eintretenden Zuflüssen gespeist, sich längere Zeit mit Wasser gefüllt erhalten konnten. Als schwer durchlässige und dadurch das Aufwachsen des Moores erleichternde Unterlage finden sich auf dem Grunde dieser Mulden häufig alluviale Ablagerungen, die, je nach der Beschaffenheit des begrenzenden Gesteins und der zufließenden Wässer, sandiger, toniger oder kalkiger Natur (Schlick, Wiesenmergel) sind, bisweilen auch aus Limonitbildungen (S. 50) oder aus Kieselgur (S. 30) bestehen und von zahlreichen Resten pflanzlichen und tierischen Ursprungs durchsetzt sind. Über ihnen oder auch unmittelbar dem Diluvium aufgelagert beobachtet man als älteste Torfschicht meist eine als „Mudde“ oder als „*Schlamm*torf“ zu bezeichnende, sehr gleichmäßige, zum überwiegenden Teil aus scheinbar völlig formlosen Pflanzenresten bestehende Ablagerung <sup>2)</sup>, seltener eine eigentümliche, gleichfalls keine erkennbaren pflanzlichen Formen aufweisende Torfbildung, die man ihrer mechanischen Beschaffenheit wegen „*Torfleber*“ oder „*Lebertorf*“ nennt <sup>3)</sup>.

Sobald diese Absätze aus überstehendem Wasser das Becken so weit

<sup>1)</sup> Daß auch der alluviale Boden Gelegenheit zur Entstehung von Mooren geben kann, zeigen die Marschmoore (s. u.).

<sup>2)</sup> Beim Ablassen von Seen bleibt der Schlammtorf nicht selten als einzige Torfbildung von wechselnder Mächtigkeit zurück. Beim Austrocknen kontrahiert er sich unter Bildung zahlreicher Risse außerordentlich stark und wandelt sich dabei in einen sehr harten, Wasser kaum noch aufnehmenden und der Kultivierung erhebliche Schwierigkeiten bietenden Boden um.

Soweit der unterlagernde Mineralboden von dunkel gefärbtem Moorschlamme durchsetzt ist, nennt man ihn in manchen Gegenden „Sohlband“.

<sup>3)</sup> Im nassen Zustande bildet der *Lebertorf* eine gelbliche, gelblich-grüne, hell- oder dunkelgrau gefärbte, elastische, aber trotzdem leicht brechbare Masse. Er besteht aus äußerst fein zerriebenen, von einigen Forschern als Ausscheidungen von Wassertieren angesprochenen Pflanzenteilen mit mineralischen Beimengungen (Quarz, Glimmer). Beim Trocknen verliert er die eigentümliche, an tierische Leber erinnernde Beschaffenheit und schwindet zu einer sehr harten Masse von blättrigem Gefüge zusammen. Im nordwestlichen Deutschland findet sich der Lebertorf in großer Ausdehnung u. a. auf dem Grunde des Dümmer Sees (Wesergebiet) und im Untergrunde der ihn umgebenden Moore; er wird hier als „*Meer*goil“ bezeichnet.



ausgefüllt hatten, daß das Dachrohr (*Phragmites comm.*), Seggen und andere Gräser Fuß fassen konnten, traten diese Pflanzen im Gemisch mit einer größeren oder geringeren Anzahl anderer auf dem Wasser schwimmenden oder vom Ufer hineinwachsenden wasserliebenden Gewächse, wie gelbe und weiße Seerose (*Nymphaea* und *Nuphar*), Laichkraut (*Potamogeton*), Nixkraut (*Najas*) und viele andere, als Moorbildner auf und lieferten in ihren abgestorbenen Resten den an den wohlerhaltenen Rhizomen und Halmteilen auch dem bloßen Auge leicht erkennbaren *Rohr- oder Schilftorf* („*Phragmitestorf*“), den man in manchen Gegenden auch als „*Darg*“ oder „*Darf*“ bezeichnet, und *Seggentorf*, zwei Torfschichten, die man unter dem gemeinsamen Namen *Sumpftorf* zusammenfassen kann.

Die fortschreitende Verlandung des Wasserbeckens schuf weiterhin günstige Bedingungen für das Wachstum von Holzpflanzen, von Waldbäumen. Solange sie von dem verhältnismäßig hohen Gehalt des Moorbodens an Pflanzennährstoffen und besonders an Kalk Nutzen ziehen konnten, waren es namentlich die Erlen, die, im Verein mit Eschen, Fichten, Eichen, Weiden, Faulbaum, Linden und mit zahlreichen anderen auf feuchtem und nassem, beschattetem Boden wachsenden Pflanzen, moorbildend auftraten und den als Kulturboden sehr wertvollen *Bruchwaldtorf*<sup>1)</sup> lieferten.

Ging der Bruchwald durch irgendeine Veranlassung, z. B. durch zunehmende Bodennässe, zugrunde, so gewannen zwischen und über den gefallenen Stämmen wiederum jene wasserliebenden Pflanzen, *Hypnummoose*, *Bitterklee* (*Menyanthes trifoliata*), *Sumpfgräser* u. a., die Oberhand, deren vertorfende Reste den Bruchwaldtorf mit einer Schicht von *Gras- (Rasen-, Wiesen-) Torf* überlagerten.

Sehr viele in Seebecken entstandene Niederungsmoore weisen die soeben dargelegte Schichtenfolge: *Schlamm- oder Rohrtorf*, *Rohr- und Seggentorf*, *Bruchwaldtorf*, *Seggen- und Grastorf* auf. Jedoch bildet diese durchaus nicht die Regel. War die Bodeneinsenkung so flach, daß von vornherein Rohr und Seggen auf ihrem Grunde wachsen konnten, so kann die Schlamm- oder Rohrtorfschicht ganz fehlen, und es lagert dann der Rohr- oder Seggentorf unmittelbar dem mineralischen Untergrunde auf. Auch *Bruchwaldtorf* findet sich nicht in allen Niederungsmooren. Wo z. B. die Wachstumsbedingungen für das Dachrohr besonders günstig waren, wie es auf den stets wassergetränkten Seemarschböden der Fall ist, konnte ein

<sup>1)</sup> Die *Bruchwaldmoore* („*Erlenbrüche*“) pflegen sich durch einen besonders hohen Gehalt an Stickstoff und Kalk, bisweilen auch an Phosphorsäure (*Vivianit*) und durch einen, für die Kultivierung sehr willkommenen vorgeschrittenen Zersetzungszustand auszuzeichnen.



fast ausschließlich aus den Resten dieser hervorragend moorbildenden Pflanze bestehendes Dargmoor sich bilden, dessen Oberfläche zutage liegt oder von einer aus Schein- und echten Gräsern entstandenen Rasentorfschicht bedeckt wird.

Übrigens scheint die Vertorfung von tieferen Bodeneinsenkungen sich oftmals auch in ganz anderer Weise, bisweilen auch von oben nach unten fortschreitend, vollzogen zu haben und noch zu vollziehen. Bei sanft abfallenden Ufern konnte sich deren Boden mit den früher genannten torfbildenden Wassergräsern, ferner mit Kalmus (*Acorus*), Rohrkolben, Wasserlilien u. a. besiedeln, deren abgestorbene Leiber im Verein mit schwimmenden Pflanzen, Seerosen, Krebscheren (*Stratiotes*), Wasserpest (*Elodea*), Froschbiß (*Hydrocharis*), Wassergarbe (*Myriophyllum*, Tannwedel (*Hippuris*), Wasserhahnenfuß (*Ranunculus aquatilis*) u. a. den Boden allmählich aufhöhten und die Wasserfläche immer mehr einengten. Die trockener werdenden Ränder boten auch minder wasserliebenden torfbildenden Gewächsen einen zusagenden Standort, und so erhielt das neu entstehende Moor eine nach unten gewölbte Oberfläche, an deren tiefster Stelle sich vielfach noch blankes Wasser befindet. Oft hat sich in solchen Becken nur die Randzone am Ufer mit kompakter Torfmasse ausgefüllt, während im übrigen eine mehr oder minder mächtige Torfschicht auf dem Wasser schwimmt, die beim Betreten um so stärker in schwingende Bewegung gerät, je mehr man sich der Mitte der Mulde nähert. Durch Überwehung und Überschwemmung mit mineralischen Bodenarten sowie durch die mit einer Vergrößerung des spezifischen Gewichtes verbundene Vertorfung der abgestorbenen Pflanzenmasse kann das Gewicht der schwimmenden Decke so groß werden, daß sie untersinkt. An ihre Stelle tritt eine Neubildung, die dasselbe Schicksal erleidet, und so fort, bis das ganze Wasserbecken mit Moorsubstanz ausgefüllt ist.

Nicht selten aber sinkt die Moordecke nur so tief ein, daß auf ihrer Oberfläche immer neue Pflanzen sich ansiedeln, deren abgestorbene Reste die Torfschicht so weit verstärken, daß sie betretbar wird und landwirtschaftlich genutzt werden kann. Auf zahlreichen Seen Ostpreußens, insbesondere Masurens, finden sich derartige *schwimmende* Rasenmoore. Auch die sogenannten „Quebben“ des Steinhuder Meeres, schwimmende, weit in die Wasserfläche vorgeschobene Moorzungen, sind dahin zu rechnen.

Hervorragend günstige Bedingungen für die Entstehung umfangreicher Niederungsmoore bietet ferner das Überschwemmungsgebiet natürlicher Wasserläufe, so namentlich weite Flußtäler, deren Gewässer häufig über ihre Ufer treten. Hierbei kommen die schwebenden festen Stoffe des ausufernden Flusses, insbesondere die grobkörnigeren, zum größeren Teil unmittelbar am Flußufer zur Ablagerung als ein natürlicher Wall, der



mit dem das Tal begrenzenden Höhenboden eine langgestreckte Mulde bildet. Hierin konnte sich, besonders wenn die Absätze des Wassers den Boden erst mit einer schwer durchlässigen Schlickschicht bedeckt hatten, auch zuzeiten von Niedrigwasser genügende Feuchtigkeit zur Speisung der gleichen niedermoorbildenden Flora erhalten, die wir bei der Vertorfung von Seetecken kennen gelernt haben. Bei wiederholten, durch die allmähliche Aufhöhung der Flußsohle beförderten Ausuferungen wurden die die Mulde allmählich ausfüllenden Torfbildungen nicht selten mit sandigen, tonigen, kalkigen Stoffen überschüttet, die sie bisweilen gleichmäßig durchsetzen, bisweilen durchschichten, bisweilen mehr oder weniger hoch bedecken.

Es liegt ferner auf der Hand, daß auch auf solchen Böden, die nicht unmittelbar von Flußläufen getränkt werden, die Gelegenheit zur Moorbildung sich findet, sobald durch irgendeinen Umstand der freie Abfluß des Quellwassers oder der atmosphärischen Niederschläge gehemmt wird. So können durch Blitzschlag in Brand gesetzte oder durch pflanzliche oder tierische Schädlinge vernichtete Waldungen durch ihre vermodernden Stamm- und Laubmassen eine Versumpfung großer Gebiete herbeiführen und Veranlassung zur Entstehung ausgedehnter Niedermoor werden.

#### § 64.

*Niedermoor auf Bergen.* Auch auf den Höhen der Gebirge, unmittelbar über dem festen Gestein, konnten niedermoorartige Bildungen entstehen, wenn die Gelegenheit zur Aufspeicherung nährstoff- und namentlich kalkreicheren Wassers gegeben war oder auch nur atmosphärische Feuchtigkeit in den Höhlungen basischer Urgesteine (S. 59) oder sedimentärer Kalkgesteine (S. 67) sich ansammeln konnte. Sie pflegen hier aber nur selten eine größere Mächtigkeit zu erreichen und sind meist mit Brocken und Krümeln des unterlagernden Gesteins durchsetzt.

#### § 65.

**Übergang von Niedermoor in Hochmoor. Übergangsmoor.** Alle bisher geschilderten Torfbildungen sind den Niedermoor zuzurechnen. Sie entstehen unter dem Einfluß eines an Pflanzennährstoffen und namentlich an Calciumverbindungen nicht armen Bodens oder Wassers. Dementsprechend ist ihr Gehalt an Kalk und weiterhin an Stickstoff, nicht selten auch an Phosphorsäure<sup>1)</sup>, wesentlich höher als derjenige der dem-

<sup>1)</sup> Die gar nicht seltenen Anhäufungen von phosphorsäurereichen Verbindungen in den Niedermoor sind für deren Fruchtbarkeitszustand von hohem Wert. Äußerlich erkennt man sie an der weißen, beim Liegen an der Luft in blau übergehenden Farbe des Vivianits oder an der rötlichen Färbung



nächst zu besprechenden Moorbildungen. Sie enthalten (s. S. 108) nicht freie Humussäuren, sondern neben anderen Bestandteilen Humate. Die Zersetzung der torfbildenden Pflanzenteile ist deswegen meist weiter vorgeschritten, oder sie tritt doch bei genügender Durchlüftung weit schneller ein als bei den Übergangs- und den Hochmooren, eine Eigenschaft, die für ihre Kultivierung von Bedeutung ist.

---

Änderten sich während des Wachstums eines Moores die Bedingungen, unter denen die hochmoor- oder niederungsmoorbildenden Pflanzen gedeihen, so änderte sich mit der Art der moorbildenden Pflanzen auch der Charakter des Moores. Sobald die Oberfläche eines aufwachsenden Niederungsmoores dem Einfluß der Faktoren entzogen wird, die das Wachstum von niederungsmoorbildenden Pflanzen begünstigen, sobald sie z. B. sich so hoch über den mineralischen Untergrund erhoben hat, daß dessen Nährstoffreichtum oder nährstoffreiche Zuflüsse von außen her für die jüngste Pflanzendecke nicht mehr zur Geltung kommen, andererseits aber noch genug Feuchtigkeit vorhanden ist, um hochmoorbildenden Pflanzen das Wachstum zu ermöglichen, so verdrängen diese die bisher gedeihenden Pflanzenarten, und es kann sich dann über dem Niederungsmoor ein Hochmoor aufbauen.

Ein gleiches kann erfolgen, wenn die stauende Nässe eines auch in seinen oberen Schichten versumpften Niederungsmoores anspruchsvollere Pflanzen nicht mehr aufkommen läßt.

Ein wichtiges Beispiel für den Übergang von Niederungs- in Hochmoor sind die

*Marschmoore*. Diese eigentümlichen Moorbildungen haben sich auf einem an allen Pflanzennährstoffen reichen Boden, den alluvialen Ablagerungen des Seeschlicks (S. 72), den norddeutschen „Marschen“ aufgebaut. Eine für die Marschen charakteristische Pflanze ist das Dachrohr (Reet, Ried) *Phragmites communis*. Rohrfelder bedeckten vor der Entstehung jener Moore weite Flächen der Marsch und hinterließen beim Absterben der Pflanzen einen fast ausschließlich aus *Phragmites*resten bestehenden Rohr- oder „Darg“torf zurück. Als dieser soweit aufgewachsen war, daß die Pflanzendecke nicht mehr von dem fruchtbaren Untergrund oder von seitlich zuströmendem reichem Wasser Nutzen zog,

---

der Moorsubstanz an den Grabenböschungen und der vom Maulwurf aufgeworfenen Moorerde. Ihre Entstehung beruht auf der Schwerlöslichkeit der Eisenphosphorsäureverbindungen. Die bei der Zersetzung der moorbildenden Pflanzen löslich werdende Phosphorsäure wird durch das Eisen eisenhaltiger Quellen in Eisenphosphat übergeführt und so gleichsam festgelegt.



und anderseits die wasserstrotzende Dargmoorschicht sich nicht oder doch nur sehr langsam in pflanzenernährenden Humus umwandelte, starben die anspruchsvollen Rohrpflanzen ab, und an ihre Stelle traten die bescheidenen Torfmoose. Das Grasmoor ging in ein bis 10 m Höhe erreichendes moos- und schließlich heidewüchsiges Hochmoor über. Zu den Marschmooren gehört u. a. das in neuerer Zeit mit großem Erfolg besiedelte Kedinger Hochmoor im Mündungsgebiet der Elbe.

Natürlich vollzieht sich ein solcher Übergang nicht mit einem Schlage. Nur allmählich werden die Wachstumsbedingungen für die niederungsmoorbildenden Pflanzen schlechter, für die hochmoorbildenden günstiger. Zwischen beiden Pflanzengesellschaften beginnt ein Kampf, der endlich mit dem Sieg der hochmoorbildenden endet. Das Produkt des Ringens ist eine Moorbildung, die zum Teil niederungsmoorbildenden, zum Teil hochmoorbildenden Pflanzen ihre Entstehung verdankt. (*Übergangsmoor* oder *Zwischenmoor*.)

Wächst z. B. ein Bruchwaldmoor (S. 117) so weit empor, daß die Nährstoffquelle nicht mehr die Oberfläche erreicht, das nährstoffreiche Wasser nicht mehr kapillar bis in die Wurzelschicht aufsteigen kann, so treten an die Stelle der Erlen, Eschen, Eichen usw. die anspruchslosere Kiefer (Föhre) und Birke. Ihre verwesenden Reste bilden den *Übergangswaldtorf*. Auch die übrigen in den Erlenbrüchen üppig gedeihenden Pflanzen, darunter die Hypnummoose, werden unter solchen Verhältnissen allmählich verdrängt durch Gewächse, welche für den Hochmoortorf besonders charakteristisch sind; das scheidige *Wollgras* (*Eriophorum vaginatum*), dessen wohlerhaltene, langfaserige Reste <sup>1)</sup> in den tieferen und höheren Schichten der Hochmoore nesterweise auftretende Lagen („Splittlagen“) von bisweilen nicht unerheblicher Mächtigkeit bilden, und ferner die *Torfmoose* (*Sphagnum*). Sehr häufig tritt hierzu noch eine Sumpfpflanze: die Sumpfbeise, *Scheuchzeria palustris*, die eine unter vielen Hochmooren liegende, gelb bis gelbbraun gefärbte, blättrig gelagerte Torfbildung, den *Scheuchzeriatorf*, liefert. Er tritt in sehr zahlreichen Fällen als letztes Übergangsglied zum eigentlichen Hochmoortorf auf.

## § 66.

**Der Aufbau der Hochmoore.** Soweit die in besonders großem Umfang im nordwestlichen und im nordöstlichen Deutschland vorkommenden Hochmoore eingehender erforscht sind, zeigen sie im Gegensatz zu den Niederungsmoorbildungen und entsprechend der weit geringeren an ihrer

<sup>1)</sup> Wegen ihrer zähen, dem Torfspaten hinderlichen Beschaffenheit in manchen Gegenden als „Kuhfleisch“ bezeichnet und in neuerer Zeit mehrfach zur Herstellung von Geweben verwandt.



Entstehung beteiligten Anzahl von Pflanzen (s. o.) einen sehr gleichmäßigen Aufbau.

*Die natürliche Vegetation der Hochmoore.* Solange ihr Wachstum noch andauert, besteht ihre Pflanzendecke vornehmlich aus Torfmoosen (Sphagnum), durchmischt mit Rasensimsen (Scirpus caespitosus), scheidigem Wollgras (Eriophorum vaginatum), Sonnentau (Drosera rotundifolia). Vereinzelt finden sich gewisse, trockneren Boden liebende Gewächse: Gemeine Heide (Calluna vulgaris), Moor- oder Glockenheide (Erica tetralix), Rosmarinheide (Andromeda polifolia), Gagelstrauch (Myrica Gale), Krähenbeere (Empetrum nigrum), Porst (Ledum palustre), Moosbeere (Vaccinium Oxycoccos); von Holzpflanzen verkrüppelte Exemplare von Kiefern und Birken. Läßt der Wasserreichtum der Oberflächenschicht aus irgendeiner Veranlassung nach <sup>1)</sup>, so sterben die Torfmoose ab, und die letztgenannten Pflanzen, darunter vor allem die Heidekräuter, gewinnen die Oberhand. In verhältnismäßig kurzer Zeit bedeckt sich die Oberfläche mit eigentümlichen heidebewachsenen Hügelchen („Heidebülten“ <sup>2)</sup>), zwischen denen mit Moorschlamm ausgefüllte und von zahlreichen Algen, von Wollgras und Simsen bevölkerte Vertiefungen („Schlenken“) liegen.

Mit der reichlichen Ansiedelung dieser Pflanzen ist das Wachstum des Hochmoors im wesentlichen abgeschlossen.

*Der Hochmoortorf.* Wie die Torfmoose in der Flora eines mit Wasser gesättigten Hochmoors die erste Stelle einnehmen, so sind sie auch als die vornehmsten Bildner des Hochmoortorfes anzusehen. Sie gehören hinsichtlich ihres Bedarfs an mineralischen Nährstoffen zu den anspruchslosesten Pflanzen, können daher auch auf Böden, die arm an zugänglicher Pflanzennahrung sind, sich gut entwickeln. Sie bedürfen zwar zu üppiger Entwicklung außerordentlich großer Wassermengen, sind aber vermöge

<sup>1)</sup> Nach dieser Richtung wirkt besonders die künstliche Entwässerung des Moores zu Kulturzwecken oder auch die Anlage von Torfstichen.

<sup>2)</sup> Die Entstehung der „Bülten“ ist noch nicht völlig geklärt. Auch das Torfmoos bildet auf den noch im Wachsen befindlichen Hochmooren flache Hügelchen, die man früher auf ein ungleichmäßiges Wachstum der verschiedenen an der Vegetation beteiligten Sphagnumarten zurückzuführen suchte. Nach dem Botaniker der Moor-Versuchsstation, Prof. C. A. Weber, dürften sie Heidekrautsträuchern ihre Entstehung verdanken, die in trocknen Zeiten aufwachsen und an denen in den nachfolgenden nassen Jahren die nun vorwiegenden Torfmoose „emporklimmen“. Tritt eine Abtrocknung der Moorfläche ein, so bieten diese „Moosbülten“ den Heidepflanzen die günstigsten Wachstumsbedingungen, sie verwandeln sich in Heidebülten, die nicht selten zu recht beträchtlicher Höhe ( $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$  m) aufwachsen und bei der Kultivierung solcher Flächen durch besondere Vorrichtungen („Bültensägen“, „Bültenspflüge“ beseitigt) werden müssen.



ihres eigentümlichen anatomischen Baues befähigt, aus Boden und Atmosphäre große Wassermassen aufzunehmen, festzuhalten und zur Speisung immer neuer Moosgenerationen zu verwenden. Infolge ihres schnellen Wachstums lassen sie nur wenig Pflanzen neben sich aufkommen, so vornehmlich die Wollgräser, die Rasensimse, den Sonnentau und einige andere. Auf feuchtem Waldegrund vordringend, bringen sie dessen Holzbestand binnen kurzem zu Fall. („Das Torfmoos frißt den Wald.“) Selbst die für die natürliche Vegetation der Hochmoore so charakteristischen Heidepflanzen (s. o.) werden, solange die Bedingungen für die Entwicklung der Sphagnaceen besonders günstig sind (große zur Verfügung stehende Mengen nährstoffarmen Wassers), von diesen leicht völlig unterdrückt. An der Hochmoorbildung sind besonders folgende Sphagnumarten beteiligt: *Sphagnum medium*, *Sph. fuscum*, *Sph. recurvum*, *Sph. obtusum*, *Sph. cuspidatum*, *Sph. rubellum*, *Sph. imbricatum*, *Sph. capillifolium*, *Sph. subsecundum*. In den oberen Schichten unserer Hochmoore lassen sich die wohl erhaltenen Reste dieser zierlichen Pflanzen auch mit bloßem Auge noch deutlich erkennen. Trotz der zarten, weichen Beschaffenheit ihrer Substanz unterliegen die abgestorbenen Torfmoose sehr schwer der Zersetzung. Eine eigentliche Vertorfung ist in den jüngeren Hochmoorbildungen kaum eingetreten, und ihr *Moos, „torf“* unterscheidet sich äußerlich vom *Torfmoos* fast nur dadurch, daß unter dem Druck der darüber lagernden Massen die Moosstengel und Blättchen sich zu filzartig verwebten blätterigen Schichten verdichtet haben, und daß das Blattgrün der lebenden Moose sich in einen gelb- oder rötlichbraunen Farbstoff umgesetzt hat. Der Widerstand, den die Torfmoose ihrer Vertorfung entgegenzusetzen, dürfte in erster Linie auf ihren anatomischen Bau zurückzuführen sein, der sie befähigt, so große Wassermengen aufzunehmen, daß selbst die am ersten der Einwirkung des Luftsauerstoffs ausgesetzten oberen Pflanzenteile möglichst wenig mit Luftsauerstoff in Berührung kommen. Erhöht wird ihre Widerstandsfähigkeit vielleicht auch durch die in ihren Zwischenräumen sich ansammelnde Kohlensäure und durch den Mangel an alkalisch reagierenden Substanzen, namentlich an Kalk, der die Entstehung freier Humussäuren zur Folge hat, sowie durch ihren Gehalt an schwer zersetzlichen Harzen und an Gerbsäure, Stoffen, die der Vermoderung entgegenwirken (S. 105).

Wird die Oberfläche des Moores so trocken, daß Torfmoose nicht mehr gedeihen können, und treten nun heidekrautartige Gewächse an ihre Stelle, so bieten die vom Wasser befreiten Moosreste dem Eindringen des Luftsauerstoffs nicht mehr genügenden Widerstand, und unter dessen Einfluß findet dann eine Humifizierung der obersten Moostorfschicht statt. Sie geht in eine schwarze, beim Austrocknen krümelig werdende, dem bloßen Auge kaum noch geformte Teile aufweisende „*Verwitterungs-*



*schicht*<sup>1)</sup> über, die sich scharf von dem darunterliegenden, nicht verwitterten Moostorf abgrenzt und sich allmählich mit einer von ihr äußerlich nicht zu unterscheidenden, aber Wurzel- und Stengelteilen der Heidepflanzen enthaltenden Heideerdeschicht bedeckt.

Bei der schwierigen Vertorfbarkeit der Torfmoose bedarf es jedenfalls sehr großer Zeiträume, bis sie sich in eine amorphe, nach ihrem äußeren Ansehen dem Grastorf ähnelnde Masse umwandeln. Daß eine solche Umwandlung schließlich stattfindet, beweisen die tieferen Schichten der älteren Hochmoore, z. B. im nordwestlichen Deutschland. Als älteste Hochmoorbildung findet sich hier, oft über Scheuchzeria- (s. o.) oder Eriophorumtorfschichten abgelagert, ein braun bis schwarz gefärbter, dem bloßen Auge amorph erscheinender Torf, der nur noch vereinzelte Heidestengel und nicht selten nesterförmig auftretende Lager von Wollgrasresten erkennen läßt. Neuere Untersuchungen haben im Gegensatz zu früheren Anschauungen<sup>2)</sup> ergeben, daß auch dieser Torf im wesentlichen Torfmoosen derselben Art seine Entstehung verdankt, aus denen der überlagernde *jüngere Moostorf* sich zusammensetzt, daß er also gleichfalls als Moostorf, und zwar als *älterer Moostorf* bezeichnet werden muß. Er unterscheidet sich weniger durch seinen Gehalt an mineralischen Bestandteilen als hinsichtlich seiner äußeren Eigenschaften sehr erheblich von dem jüngeren Moostorf. Während der letztere, wegen seiner helleren Farbe wohl als „weißer“ Torf (schwedisch: „hvitmossar“) bezeichnet, im trockenen Zustand einen elastischen, porösen Stoff von sehr geringem spezifischen Gewicht darstellt, der Wasser in großen Mengen aufsaugt und festhält<sup>3)</sup>, bildet der ältere („braune“ oder „schwarze“) Moostorf nach dem Austrocknen eine dichte, schwere, als Brenntorf geschätzte Masse, die vom Wasser kaum noch benetzt wird. Sie besitzt im Gegensatz zum Moostorf jüngerer Bildung ein bedeutendes Kontraktionsvermögen. 1000 l älteren Moostorfs verkleinern nach Untersuchungen der Moor-Versuchs-

<sup>1)</sup> Auf Grund der Angaben des Göttinger Botanikers G r i e s e b a c h hielt man früher die Heidepflanzen für die wesentlichsten Bildner dieser Schicht und nannte sie demgemäß „Heideerde“. Nach C. A. W e b e r entsteht sie jedoch auch auf Moostorfflächen, auf denen der Heidewuchs völlig zerstört ist.

<sup>2)</sup> Gegen die Annahme G r i e s e b a c h s, wonach die tieferen Schichten der nordwestdeutschen Hochmoore vornehmlich aus den vertorfenden Resten von Heidekräutern bestehen sollen und daher als „Heidetorf“ zu bezeichnen seien, haben sich in neuerer Zeit gewichtige Bedenken erhoben. Sie sind von F r ü h, T o l f und besonders scharf von C. A. W e b e r zum Ausdruck gebracht worden. Er unterscheidet zwischen Moostorf jüngerer und älterer Bildung.

<sup>3)</sup> Wegen dieser Eigenschaften wird der jüngere, noch nicht verwitterte Moostorf zur Herstellung eines ausgezeichneten Einstreumaterials für Viehställe verwendet („Torfstreu“). Es besitzt in hohem Maße die Fähigkeit, den tierischen Dünger vor Verlusten an wertvollen Stickstoffverbindungen zu schützen (ihn zu „konservieren“). — Siehe M. F l e i s c h e r, Die Torfstreu (Literaturverzeichnis).



station (Fleischer, Die Torfstreu; s. Literaturnachweis) beim Austrocknen ihr Volum auf etwa 175 l, 1000 l jüngeren Moostorfs nur auf etwa 500 l, und ein bestimmtes Gewicht des letzteren nimmt im lufttrocknen Zustande einen 4—5 mal größeren Raum ein als ein gleiches Gewicht des ersteren.

Älterer Moostorf findet sich nicht in allen Hochmooren und besonders in den östlichen Landesteilen (Pommern, West- und Ostpreußen) scheint er häufig zu fehlen, so daß der jüngere Moostorf unmittelbar auf dem Mineralboden oder auf einer Schicht von Übergangsmoor lagert.

Die zahlreichen Poren des jüngeren Moostorfes begünstigen die Ansammlung großer Mengen von Gasen, wie sie beim Vertorfungsprozeß entstehen (Kohlendioxyd, Kohlenwasserstoffe, Schwefelwasserstoff), die, leichter als Wasser, das spezifische Gewicht des Moostorfs so weit erniedrigen können, daß er von seiner Unterlage sich ablöst, schwimmt und bei steigendem Wasser sich mit diesem hebt<sup>1)</sup>.

Wo in den tieferen Schichten des Hochmoors älterer Moostorf sich vorfindet, pflegt er von der überlagernden neueren Moostorfbildung durch eine Schicht von wechselnder, aber einige Dezimeter wohl nicht übersteigender Mächtigkeit getrennt zu sein, die neben sehr wenig Torfmoosen vorwiegend die Reste von Wollgras, Heide, bisweilen auch von Nadelhölzern, also von Pflanzen aufweist, die mit einem weit geringeren Maß von Feuchtigkeit auskommen als die Torfmoose<sup>2)</sup>. Sie dürfte das Erzeugnis einer lange andauernden Trockenperiode sein, während deren die früher die Flora beherrschenden, gegen Feuchtigkeitsmangel sehr empfindlichen Torfmoose den genannten Gewächsen Platz machten<sup>3)</sup>. Als an die Stelle der trockenen Zeiträume lange anhaltende feuchte Perioden traten<sup>4)</sup>, wurden sie bald wieder von den üppig aufwachsenden Torfmoosen überwuchert, denen die jüngere Moostorfbildung ihre Entstehung verdankt.

Der Einfluß, den das Vorhandensein großer Mengen nährstoffarmen Wassers auf die Entwicklung der Sphagnummoose ausübt, ist wahr-

<sup>1)</sup> Ein ausgezeichnetes Beispiel für ein derartiges schwimmendes Hochmoor bietet das „*Schwimmende Land*“ von Waakhausen, ein Teil des im Flußgebiet der Hamme (Weser) belegenen Teufelsmoores, eine bis 1½ m mächtige, mit Büschen und Bäumen bestandene Moorschicht, die mit dem Hochwasser steigt und fällt, und von der bei heftigen Winden nicht selten große Stücke sich ablösen und fortgetrieben werden, wenn es nicht gelingt, durch rechtzeitig in Tätigkeit gesetzte Winden sie in die frühere Stelle zurückzuholen.

<sup>2)</sup> C. A. Weber bezeichnet diese Schicht als „Grenztorf“.

<sup>3)</sup> Auch innerhalb des älteren und des jüngeren Moostorfs finden sich stellenweise als Zeugen kürzerer Trockenperioden dünne, aus Wollgras, Heide und Holzpflanzen hervorgegangene Torfschichten (sogen. „Bultlagen“).

<sup>4)</sup> Griesbach bringt das Aufwachsen des jüngeren Moostorfs mit einer durch zahlreiche Beobachtungen wahrscheinlich gemachten zeitweiligen Senkung der norddeutschen Küstenstriche in ursächlichen Zusammenhang.



scheinlich die Ursache einer Erscheinung, die alle geschlossenen Hochmoorkomplexe aufweisen: der oft stark *gewölbten Form* ihrer Oberfläche<sup>1)</sup>. Während die auffallenden Niederschläge an den Rändern des über seine Unterlage emporwachsenden Hochmoors leichter Abfluß finden, befördern sie das Wachstum der Moose im Innern derartig, daß dieses bald über die Randzone emporsteigt. Die uhrglasartige Oberflächen-gestaltung läßt sich (nach Weber) sowohl bei der jüngeren Moostorf-bildung als bei dem älteren Moostorf und dem Grenztorf erkennen.

Scheinen auch die meisten Hochmoore über Niedermoorbildungen aufgewachsen zu sein, so ist doch die Auflagerung eines Hochmoors unmittelbar auf mineralischem Untergrunde durchaus nicht ausgeschlossen. Die über Niedermoor sich ansiedelnden Torfmoose ziehen sich seitlich weit über die ursprünglichen Grenzen des Moores hinaus, wenn sie in der Umgebung die geeigneten Bedingungen zu üppigem Wachstum (Ansamm-lung von nährstoffarmem Wasser) vorfinden. Sie überdecken den an-grenzenden Heideboden, unter Umständen auch fruchtbarere Boden-arten<sup>2)</sup>, kleine Hügel, Wälder, mit Moospolstern, und führen so eine bis-zeiten sehr beträchtliche peripherische Ausdehnung des Hochmoors herbei.

Auch Moorbildungen, die den Charakter des „Übergangsmoores“ tragen, brauchen nicht notwendig aus Niedermoores hervorgegangen zu sein. Unter Umständen, die das Wachstum von niedermoorbildenden Pflanzen zulassen, ohne das von hochmoorbildenden auszuschließen, können sehr wohl unmittelbar über dem mineralischen Untergrund „Übergangsmoor“<sup>3)</sup> entstehen.

Unmittelbar auf mineralischem Untergrund lagernden Zwischen- und Hochmoortorf weisen auch manche Gebirgsmoor auf.

### § 67.

*Gebirgshochmoore und Zwischenmoore.* Auch auf den Gipfelplateaus und an den Abhängen von Gebirgen entstehen Moore von ganz ähnlicher Beschaffenheit, wie die soeben beschriebenen der Ebene, falls hier nur die Gelegenheit zu zeitweiligen Wasseransammlungen gegeben ist und ein schwer verwitterbares, an Pflanzennährstoffen, namentlich an Kalk nicht

<sup>1)</sup> Nach Sendtner läßt der nur etwa 125 ha umfassende Murner-Filz („Filz“ hier gleich Hochmoor) bei Wasserburg (Bayern) eine Wölbung von mehr als 7 m Höhe erkennen.

<sup>2)</sup> Auf versumpften Böden treten die vielleicht in reichem Maße vorhandenen wertvollen Bodenbestandteile nicht als Nährstoffe in Wirksamkeit, s. o. Andernfalls würden die Torfmoose bald durch anspruchsvollere moorbildende Pflanzen verdrängt werden.

<sup>3)</sup> In diesem Fall, wo es sich nicht um den „Übergang von einer Moorart in die andere handelt, würde allerdings eine andere Bezeichnung, z. B. „Mischmoor“ oder auch „Zwischenmoor“, mehr am Platze sein.



reichen Boden lieferndes Gestein (z. B. Granit, Gneis, Glimmerschiefer u. a.) die Unterlage bildet. (So u. a. auf dem Brocken, Riesengebirge, Erzgebirge, Schwarzwald.) Für die landwirtschaftliche Benutzung kommen diese Moore nur selten in Frage, dagegen sind sie wegen ihres hohen Wasseraufsaugungsvermögens<sup>1)</sup> für die Erhaltung der Vegetation an den Gebirgsabhängen insofern nicht ohne Bedeutung, als sie das auffallende Regenwasser, das von den nackten Gipfeln mit großer Gewalt in die Tiefe stürzen und den bereits gebildeten Verwitterungsboden nebst den darin wurzelnden Pflanzen mit sich reißen würde, aufsaugen<sup>2)</sup>).

## § 68.

Die geringen Ansprüche, welche die hochmoorbildenden Pflanzen an den Nährstoffgehalt von Boden und Wasser stellen, kommen in der *Zusammensetzung des Hochmoortorfes* deutlich zum Ausdruck. Er ist von Natur durchweg sehr arm an *mineralischen Bestandteilen*. Sein Gesamtaschengehalt kann bis auf zwei und weniger Prozent der Torftrockensubstanz herabgehen. Der durchschnittliche *Kalkgehalt* des trocken gedachten Hochmoortorfes überschreitet nicht 0,2% (während der durchschnittliche Gehalt der Niedermoorbildungen etwa auf 3% anzusetzen ist). Damit hängt es zusammen, daß seine *Humussäuren* — im Gegensatz zum Niedermoor — zum großen Teil in freiem Zustande vorhanden sind und behufs der Kultivierung dieser Moorbildungen durch Zufuhr von Kalk oder Mergel „abgestumpft“ (in Calciumhumat übergeführt) werden müssen<sup>3)</sup>. Hierdurch wird zugleich die für den Kulturboden anzustrebende Umwandlung der schwer zersetzlichen Pflanzenteile in „milden“ Humus in auffälligem Maße gefördert<sup>4)</sup>.

Auch der *Stickstoffgehalt* des Hochmoortorfes bleibt weit hinter dem

<sup>1)</sup> Untersuchungen der Moor-Versuchsstation haben ergeben, daß die Wassermenge, die ein Hochmoor aufsaugt, dem Raume nach 80–85% des Hochmoors ausmacht. Denkt man sich aus einem 4 m mächtigen Moor die moorbildenden festen Pflanzenreste herausgenommen, so würde das zurückbleibende Wasser eine 3,20–3,40 m hohe Schicht bilden.

<sup>2)</sup> Allerdings nur zu Zeiten, wo sie selbst nicht mit Wasser gesättigt sind, also nach länger anhaltender trockener und heißer Witterung. Die Ansicht, wonach die Bergmoore in regenlosen Zeiten zur Tränkung der Gebirgswaldungen dienten, indem sie das bei starken Niederschlägen aufgenommene Wasser langsam absickern ließen, hat man auf Grund der Beobachtung aufgeben müssen, daß ein Wasserabfluß aus wassergesättigtem Moor in trockener Zeit nicht stattfindet.

<sup>3)</sup> Auf der anderen Seite wirkt die Anwesenheit freier Säuren insofern günstig, als sie den Hochmoorboden befähigt, die natürlich vorkommenden, schwerlöslichen Phosphate „aufzuschließen“ (S. 46). Die vom Handel verhältnismäßig billig gelieferten Rohphosphate (Phosphorite, Koprolithe) äußern daher auf den Hochmoorböden eine Wirkung, die ihnen auf anderen Bodenarten nicht zukommt.

<sup>4)</sup> Solange der Hochmoorboden seine natürliche saure Beschaffenheit besitzt, ist er für die meisten Kulturpflanzen unzugänglich. Sie dringen mit ihren



der Niedermoorbildungen zurück. Während bei den letzteren ein Stickstoffgehalt der Torftrockensubstanz von 3 % nichts seltenes ist, bewegt sich der Stickstoffgehalt des Hochmoortorfes etwa um 1 %. Auch steht der Mangel an basischen Stoffen in dem letzteren einer Überführung des Torfstickstoffs in die wirksamste Form, die im Salpeter, entgegen (S. 53).

Für die *landwirtschaftliche Kultur* ist bisher im wesentlichen nur die jüngere Moostorfbildung in Frage gekommen. Bei einer auf ihre Eigenschaften genügende Rücksicht nehmenden Behandlung stellt sie, besonders wegen ihres Verhaltens zum Wasser, ein für zahlreiche Acker- und Wiesen- gewächse sehr geeignetes Kulturmedium dar. Dagegen bietet der ältere Moostorf, besonders durch sein erhebliches Kontraktionsvermögen und seine Neigung zum Austrocknen und Rissigwerden der landwirtschaftlichen Nutzung einige Schwierigkeiten.

### § 69.

**Übergang von Hochmoor in Niedermoor.** Nach den früheren Erörterungen über die Entstehung der Hochmoor- und Niedermoorbildung wird man voraussetzen dürfen, daß der Übergang von einer Moorbodenart in die andere allermeist in der Weise sich vollzieht, daß ein Niedermoor sich allmählich zu einer Hochmoorbildung auswächst. Doch kommen auch Beispiele vor, in denen das umgekehrte stattgefunden hat. Wird z. B. ein aufwachsendes Hochmoor infolge einer Senkung des Gebietes oder durch Wegräumung natürlicher Schutzwälle mit nährstoffreichem Wasser überflutet, so kann an Stelle der Torfmoose eine niedermoorbildende Flora treten und über dem Hochmoortorf zunächst eine Schicht von Übergangstorf und weiterhin eine Niedermoorbildung entstehen. Letztere geht dann wieder in ein Hochmoor über, sobald infolge der Oberflächenerhöhung die moorbildenden Pflanzen dem Einfluß des fruchtbaren Wassers sich entziehen.

Über ein sehr lehrreiches Beispiel für den Übergang vom Hochmoor in Niedermoor und von Niedermoor in Hochmoor berichtet M. Fleischer nach Beobachtungen von Prof. J. R. Lorenz (Zeitschrift Flora, 46. Jahrg., 1858, Nr. 14—23) in den Mitt. des. Ver. z. Förd. d. Moorkultur, Jahrg. 1909, Heft 9.

Wurzeln nur so weit in die Tiefe, als der Säureüberschuß an basische Stoffe gebunden ist. Um den landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ein größeres Wurzelgebiet zu erschließen, hat man nach dem Vorgang der Moor-Versuchsstation neuerdings angefangen, mittels eines Untergrund-Düngepfluges auch die Untergrundschichten der Hochmooräcker zu kalken, was sich ganz besonders für Gras- anlagen bewährt.