

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Lehrbuch der Agrikulturchemie in vierzig Vorlesungen**

zum Gebrauch an Universitäten und höheren landwirthschaftlichen  
Lehranstalten sowie zum Selbststudium

Nebst Anhang: Lehrbuch der Gährungschemie

**Mayer, Adolf**

**1886**

Erster Abschnitt. Der Boden

Erster Abschnitt.

Der Boden.

---





## Vierundzwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Die mineralische Grundlage der Ackererde.

Unsere gesammte bisherige Darstellung hat dazu gedient, uns eine möglichst genaue Vorstellung von den Lebensbedingungen der grünen Pflanzen zu verschaffen. — In dem zweiten Theil unserer Aufgabe, zu dem wir nun übergehen, und welchen wir wohl auch als eine *Theorie des Feldbaues* bezeichnet haben (besser sagen wir vielleicht jetzt *Beiträge zu einer solchen Theorie*), werden wir untersuchen, *wie jene erkannten Lebensbedingungen unter den Verhältnissen, unter welchen der Landwirth seinem Gewerbe obliegt, sich realisiren.*

Wir werden uns bei dieser neuen Aufgabe ganz ausschliesslich auf diejenigen der grünen Gewächse beziehen, welche wir schon in unsern bisherigen Betrachtungen bevorzugten, nämlich auf diejenigen, welche eine Bedeutung für den Feldbau haben, — auf die landwirthschaftlichen Kulturgewächse. Diese sind nun sammt und sonders Landpflanzen und somit Gewächse, die sich an der Grenze zweier Medien, mit den Wurzeln in dem von Wasser befeuchteten *Erdreich*, mit dem grössten Theil des Stamms, den chlorophyllhaltigen Organen, den Blüthen und Früchten in der *Atmosphäre* entwickeln.

Um also die bestehenden Verhältnisse aufzufinden, welche die realen Vegetationsbedingungen der Kulturgewächse darstellen, werden wir naturgemäss jene beiden Medien als Träger dieser Bedingungen zu untersuchen und zuzusehen haben, in welcher Weise sich diese letzteren in den verschiedenen Gegenden, Jahreszeiten etc. bei den verschiedenen Kulturen und Kulturmethoden in jenen Medien gruppiren. Alsdann wird uns von selbst das Verständniss aufgehen über den Sinn der menschlichen Eingriffe in die natürlichen Verhältnisse des Pflanzenwachstums, — in die Bedeutung der Thätigkeit des Ackerbauers.

Wir sind zwar schon in dem vorigen Abschnitt gelegentlich unserer Aufgabe vorangeeilt und haben die Hauptverhältnisse desjenigen Mediums, welches hinsichtlich der Vegetationsbedingungen, die es in sich einschliesst, leicht übersehen werden kann, — der Atmosphäre, schon eingehenderen Betrachtungen unterworfen\*). Wir haben diesen hier nur wenige Worte hinzuzufügen.

Die *Atmosphäre*, in welche die oberirdischen Organe der Landpflanze eintauchen, ist der Sitz einer Reihe von Vegetationsbedingungen. Dieselbe enthält den *Sauerstoff*, der zum Leben aller Pflanzen, die *Kohlensäure*, die zur Productions-thätigkeit der grünen Pflanze unentbehrlich ist; sie enthält ferner äusserst geringe

---

\*) Im ersten, zweiten, vierten und auch im fünften Abschnitt.

Mengen stickstoffhaltiger Pflanzennahrung. Von dem Wassergehalt und der Wärme der über der Pflanze ruhenden Luftschicht ist die so wichtige pflanzliche Transpiration in ihrer Intensität durchaus abhängig, von dieser Wärme ausserdem die Möglichkeit aller einzelnen Vegetationsprocesse und sogar ganz unmittelbar die Existenz des pflanzlichen Organismus. Von der Durchstrahlbarkeit dieser und der noch höher lagernden Luftschicht ist weiter die Licht- und wiederum die Wärmemenge abhängig, die der Pflanze zur Verfügung steht, und so ist die atmosphärische Luft in mannigfacher Weise Trägerin oder Vermittlerin von Vegetationsbedingungen, deren Zufluss und Intensität durch ihre Eigenschaften regulirt wird.

Trotzdem ist diese Luft dasjenige von den die Kulturgewächse umgebenden Medien, auf das sich die Aufmerksamkeit und Thätigkeit des Landwirths nur in ganz vereinzeltten Fällen erstreckt. — Es kann nun nicht etwa bezweifelt werden, dass die Abänderung der Eigenschaften der Atmosphäre und der klimatischen Eigenschaften, die mit ihnen in Zusammenhang stehen, in manchen Fällen eine für den Pflanzenwuchs nützliche Massregel wäre. Es kann mit Sicherheit angenommen werden, dass unter vielen Umständen die Vermehrung der Kohlensäure, des gebundenen Stickstoffs, des Wasserdampfs der atmosphärischen Luft, dass die Veränderung der Wärme, der Bewegung, der Durchstrahlbarkeit derselben für das Gedeihen der Pflanzen vortheilhaft wäre.

Der Grund dafür, dass der Landwirth seine Thätigkeit beinahe ganz ausschliesslich auf die Abänderung der Eigenschaften des Bodens erstreckt, kann also nicht darin liegen, dass die Vegetationsbedingungen der Atmosphäre schon etwa alle in sehr vollkommenem Grade vorhanden wären, so dass es sich nur darum handeln könnte, die des Bodens zu vermehren, dass mit anderen Worten die Vegetationsbedingungen des Bodens unter allen Umständen im *Minimum*\*) vorhanden wären, so dass nur die Vermehrung dieser Vortheil bringen könnte; denn wäre dies der Fall, so würden wir die Grösse unserer Ernten in Wirklichkeit nur von den Eigenschaften des Bodens bedingt sehen, nicht von einer Reihe von Umständen, deren periodisch veränderlichen Theil wir für einen und denselben Ort als Witterung kurzweg bezeichnen.

Wir müssen also den Grund dafür, dass der Landwirth beim Pflanzenbau nicht auf die Eigenschaften der Atmosphäre einzuwirken sucht, ganz wo anders suchen. In der That, wir brauchen uns nicht lange zu bedenken und nur die eigenthümlichen Eigenschaften der Atmosphäre vor unserm Auge Revue passiren lassen, um zu finden, dass jener Grund einfach in der menschlichen Unfähigkeit liegt, auf dieselben in wirksamer Weise einzuwirken.

Diese Eigenschaften lassen sich mit dem einen Worte hinlänglich charakterisiren, dass die Luft Niemandens Eigenthum ist. — Wollte Jemand es unternehmen, die Luft oberhalb seines Grundstücks durch irgend ein Mittel an Kohlensäure zu bereichern, er würde (in Folge der Diffusionsfähigkeit dieses gasförmigen Mediums) auch die Luft oberhalb des Grundstücks seiner Nachbarn und ebenso die höheren Luftschichten, die mit der Pflanzenwelt in gar keiner direkten Berührung stehen,

---

\*) Nach der in der siebzehnten Vorlesung gegebenen Erläuterung.

an demselben Stoffe bereichern. Man würde also mit sehr grossen Mengen keine merklichen Wirkungen erreichen können. — Man kann etwas Derartiges nur ausführen durch Düngung des Ackers mit kohlensäure-entwickelnden Substanzen, also durch Manipulationen, die man *im Boden* vornimmt. Diese physische Beschaffenheit der Luft, die die Aneignung ihrer nützlichen Eigenschaften unmöglich macht, stempelt sie zum wirtschaftlich „freien Gute“.

Die gleiche Schwierigkeit, in Folge der nämlichen Eigenschaften der Luft, würde sich ergeben, wollte man der Luft irgend einen anderen Stoff zuführen, dessen Vermehrung die Vegetation zu steigern im Stande wäre. — Es ist also klar ersichtlich, warum eine „Düngung der Luft“ (wie wir uns ausdrücken können) eine unausführbare Operation, ein wahres Schöpfen in's Fass der Danaiden sein würde. Die Düngung des Bodens würde genau dasselbe sein, wenn die demselben einverleibten Düngestoffe die analoge Eigenschaft hätten, sich z. B. mit grosser Geschwindigkeit nicht bloss auf die Felder der Nachbarn, sondern durch den ganzen festen Erdkörper und bis zum Mittelpunkt der Erde zu verbreiten.

Wollte man es dann weiter unternehmen, die Luft in ihren Temperaturverhältnissen abzuändern, sie zu „heizen“, so würde sich etwas ganz Aehnliches geltend machen. Die Wärme würde sehr schnell verfliegen, und man müsste eine sehr grosse Anzahl von Pfunden Kohlenstoff verbrennen, bis man dadurch auch nur die Mehrproduction eines einzigen Pfundes durch die Pflanzenwelt veranlasst haben würde. — Dergleichen Massregeln sind nur zweckmässig bei der Pflanzenkultur im kleinsten Massstab, wo man es unternimmt, die ganze über den Pflanzen befindliche Atmosphäre nach Aussen hin vollständig abzusperren, — in unsern Treibhäusern. Dort handelt es sich eben nicht um Production grosser Mengen von Pflanzenmasse, sondern um das Fortbringen seltener Gewächse, vielleicht auch um die Erzeugung seltener Stoffe durch dieselben. Draussen auf den Feldern kann an dergleichen natürlich nicht gedacht werden.

So ist denn durch dies Verhalten ersichtlich, dass der Ackerbauer *nicht sämtliche Productionsbedingungen seiner Ernten in der Hand hat*. Diese letzteren sind nicht bloss abhängig von der Bodenbeschaffenheit seiner Grundstücke, auf die er willkürlich einzuwirken vermag, sondern ebenso von einer Reihe anderer Factoren, die er nicht beherrscht, und die für ihn blosse *Zufälligkeiten* sind. Diese anderen Factoren werden, wenigstens der Theil von ihnen, welcher variabler Natur ist, und soweit sie sich auf einen und denselben Ort beziehen, als „Witterung“, insoweit sie sich auf verschiedene Orte beziehen, als „Klima“ bezeichnet, und dieselben sind grossentheils durch jene Eigenschaften der über einem Landstrich liegenden Luftschichten bedingt. — Die Abhängigkeit des landwirthschaftlichen Gewerbes von den Zufälligkeiten der Witterung gibt demselben einen eigenthümlichen wirtschaftlichen Charakter, der bis in die Creditverhältnisse hinein klar zu erkennen ist.

Eine einzige landwirthschaftliche Manipulation ist allerdings bekannt, durch die in wirksamer Weise die Eigenschaften der Atmosphäre willkürlich abgeändert werden, und derselben haben wir schon gelegentlich Erwähnung gethan\*). Es ist

---

\*) Siehe die 23. Vorlesung

dies die Erzeugung von Rauch in Nächten, wo bei stiller Luft die Saaten durch Wärmestrahlung gegen den klaren Himmel zu erfrieren drohen, und diese vereinzelt dastehende Massregel ist jedenfalls nur in einer beschränkten Anzahl von Ländern und für eine beschränkte Anzahl von Gewächsen eine praktisch rentable. Hier ändert man also thatsächlich die Eigenschaften der atmosphärischen Luft in wirksamer Weise ab; dies ist aber in jenen seltenen Fällen nur möglich, weil man es dann mit einer sehr ruhigen Luft zu thun hat, und so die Zerstreuung des Rauchs sich sehr verzögert, während bei nur schwach bewegter Luft die geschilderten Eigenthümlichkeiten zum Vorschein kommen müssten. Es ist ferner zu bedenken, dass es sich bei dieser Massregel um die Rettung einer ganzen Ernte handelt, die sonst vollständig verloren sein würde, nicht um den Zuwachs eines Bruchtheils, und dass endlich die hierzu nothwendigen Opfer nur für eine sehr kurze Zeit gefordert werden.

Hier reiht sich dann noch etwa die sehr kleine Zahl von landwirthschaftlichen Massregeln an, die nicht als eine Abänderung der Eigenschaften der Atmosphäre aufgefasst werden können, wohl aber Veränderungen sogenannter atmosphärischer Vegetationsbedingungen in ihrem Gefolge haben. Hierzu gehört das Ziehen von Dämmen oder Führen von Hecken oder von anderen wandartigen Schutzmitteln gegen rauhe Winde (Bohlenhecken in den holländischen Tabaksplantagen), wie dies in vielen nördlicheren Gegenden in Gebrauch ist. Man kann durch Anlegung derartiger Schutzwehren die Temperatur der Erdoberfläche bei kaltem Wind um mehrere Grade höher halten, als diese blossgelegt zeigen würde, und damit den Pflanzungen gelegentlich einen grossen Vorsprung und jedenfalls einigen Schutz gegen das Erfrieren verleihen.

Dahin würde dann weiter zu rechnen sein die Veränderung der Neigung des Terrains durch Erdarbeiten gegen den mittleren Stand der Sonne, eine Massregel, die bei intensiver Weinkultur wohl vorgenommen wird, und durch welche nicht die Eigenschaften des Bodens, wohl aber die Menge des demselben zufallenden Lichts und der Wärme abgeändert werden. In der erhöhten Temperatur auch der die Pflanze umgebenden Luftschicht ist aber die Zweckmässigkeit dieser Massregel bei der Weinkultur zu suchen.

Es ist schliesslich an dieser Stelle zu erwähnen: Die Veränderung des Klimas durch Abholzen oder Anpflanzen von Wäldern u. s. w., insofern dadurch die mittlere Bewölkung des Himmels und die Regenmenge\*) abgeändert wird. Freilich ist es wegen der Schwierigkeit einer strengen Beweisführung bezweifelt worden, ob dieser Einfluss der Bewaldung auf das Klima thatsächlich besteht\*\*), während jene andere

---

\*) Nach Beobachtungen von Becquerel über die Regenmenge in der Nähe von Wäldern geht hervor, dass dieselbe durch die Anwesenheit dieser in einem Falle von 730 : 585 vermehrt worden ist; vergl. Landw. Jahrbesber. 1867—68, p. 21. Freilich ist damit noch nicht bewiesen, dass eine absolute Vermehrung der Niederschläge durch Bewaldung stattfindet, sondern nur, dass die Niederschläge mit Vorliebe in der Nähe von Wäldern erfolgen.

\*\*) Vergl. Schleiden: Für Baum und Wald, 1870, p. 49. Die weiteren Zusammenstellungen dieser Schrift beweisen übrigens wohl mit vollkommener Sicherheit, dass auch das Klima direct — freilich nicht immer in derselben Richtung — durch Wald resp. Entwaldung beeinflusst wird, dass wir es somit in der Veränderung des Waldbestandes mit einer

Function der Wälder, das gefallene Wasser langsam abfließen zu lassen, und so namentlich die Thäler vor Ueberschwemmungen einerseits, vor sommerlicher Trockniss andererseits zu schützen, an unzähligen Beispielen leicht nachgewiesen werden kann. Diese letztere Beziehung der Bewaldung zum Wasserreichtum einer Gegend gehört aber offenbar nicht hierher, da es sich in ihr um Bodeneigenschaften handelt; dieselbe wird bald am geeigneten Orte Besprechung finden. Jene erstere ist aber einer der hier zu erörternden Fälle, in Folge deren es thatsächlich möglich ist, durch wirthschaftlich ausführbare Operationen auf atmosphärische Fruchtbarkeitsbedingungen einzuwirken. Beide Beziehungen sind jedoch treffliche Beispiele für jenes seltene und lehrreiche Verhalten, wo die auf das Interesse des einzelnen Wirthschaftenden gegründeten Massregeln dem Interesse der Gesamtheit widerstreiten, wmithin die freie Wirthschaft eines Einzelnen bei voller Wahrung seines eigenen Vortheils der Gesamtheit der jetzt und in Zukunft Wirthschaftenden positiven Schaden bringt\*), und eine stattliche Bevormundung der Privatwirthschaft am Platze erscheint, wie sie ja eben für die Erhaltung der Wälder in vielen Staaten besteht.

Alle übrigen Manipulationen des Ackerbaues erstrecken sich auf *Veränderungen der Eigenschaften des Bodens*, oder sie sind Arbeiten an der zu erntenden Pflanze selbst. Die letzteren sind noch selten Gegenstand einer Darstellung vom theoretischen Standpunkte aus gewesen, einfach deshalb, weil von diesem Standpunkte aus zur Zeit wenig über sie gesagt werden kann. Es ist indessen wohl keiner Frage unterworfen, dass die Fortsetzung der pflanzen-physiologischen Studien uns zu wichtigen praktischen Regeln in Bezug auf Beschneidung, Abblattung, Ringelung, Saatzeit, Erntezeit u. s. w. führen wird, und dass es vielleicht schon jetzt angezeigt wäre, sich dem Studium der theoretischen Grundlage aller dieser wichtigen Manipulationen mehr zuzuwenden. Die landwirthschaftlichen Massregeln, die sich auf den Boden beziehen, zerfallen wieder in zwei sehr ungleich grosse Unterabtheilungen, in die der *Stoffzufuhr* oder der *Düngung* und in die der *mechanischen Thätigkeit* oder der *Bodenbearbeitung*. Die erstere ist ein grosses Kapitel, in Bezug auf welches die Agrikulturchemie bis jetzt eigentlich allein Gelegenheit gehabt hat, etwas Praktisches für den Feldbau zu leisten, und das auch uns längere Zeit beschäftigen wird. Die andere Unterabtheilung ist zur Zeit kaum einer die Mühe lohnenden wissenschaftlichen Behandlung zugänglich, da entweder der Sinn der üblichen Bodenbearbeitungsmethoden durchaus selbstverständlich erscheint, oder die Theorie

---

wichtigen, ja sogar der einzigen hervorragend wichtigen Massregel zu thun haben, durch die es möglich ist, atmosphärische Vegetationsbedingungen in wirksamer Weise abzuändern. Vergl. über diesen Gegenstand auch noch eine Anmerkung Eingangs der 27. Vorlesung und Berger: Poggend. Annal. B. 124 p. 528; ferner Ebermayer: Die physik. Einwirk. des Waldes etc. 1873.

\*) Die später zu erörternde Liebig'sche Ersatzlehre schliesst, consequent durchdacht, eine gleiche Behauptung des Widerstreits der Interessen des Einzelnen und der Gesamtheit — der Interessen der jetzt lebenden und der künftigen Generationen für die Methoden der Düngung ein und müsste unfehlbar zu der Empfehlung einer Bevormundung der Düngewirthschaft des Einzelnen durch den Staat führen.

der Pflanzenernährung noch nichts zu deren Erklärung beizutragen vermag. Die Behandlung dieses Gegenstandes mag uns daher erlassen bleiben.

Ehe wir aber den Zweck der künstlichen Veränderung der Bodenbeschaffenheit durch Düngung beim Pflanzenbau zu studiren fähig sein werden, müssen wir selbstredend die sehr complicirten natürlichen Verhältnisse des Bodens, als Sitz einer grossen Reihe von Vegetationsbedingungen, einer aufmerksamen Betrachtung unterwerfen. Und mit diesen Betrachtungen, welche eine grössere Reihe von Vorträgen ausfüllen werden, betreten wir nun ernstlich das *Gebiet der Pflanzenernährung unter realen Verhältnissen*, das *Gebiet der Theorie des Feldbaues*.

Die Kenntniss der Eigenschaften des Bodens oder der Ackerkrume, wie man den zum Pflanzenbau dienenden Theil des Bodens gewöhnlich nennt, setzt die Kenntniss von dessen Entstehung voraus, und mit dem Studium dieser Entstehung gerathen wir natürlich in die Geschichte der physischen Entwicklung unseres Erdballs — in die Wissenschaft der Geologie hinein.

Der Boden, in dem die Nutzpflanze wurzelt, gehört indessen in den weitaus selteneren Fällen ganz und gar dem Mineralreich an; in der Regel ist ihm von der vegetativen Thätigkeit einer früheren Pflanzengeneration her ein Theil der damals gebildeten organischen Substanz einverleibt worden, und er ist somit theilweise organischer Natur. Wir werden in unserer Darstellung der Entstehung der Ackerkrume diese beiden handgreiflich verschiedenen Momente der *rein mineralischen Bildung* dieses Mediums und der *Veränderung desselben durch die Thätigkeit von Organismen* auseinanderhalten, wenn auch eine Bodenbildung, bei der das letztere Moment ganz ausgeschlossen wäre, zu den grössten Seltenheiten gehört.

Nach dem *Ursprung* der rein mineralischen Bestandtheile der Ackererde brauchen wir nicht zu fragen, denn wir wissen, dass die nämlichen Substanzen die Oberfläche unseres ganzen Planeten bilden. Wir haben uns nur die beiden Fragen vorzulegen: *Wie hat die Ackerkrume jene eigenthümliche mechanische Beschaffenheit angenommen, die wir an ihr bemerken?* und dann: *Wie hat die Ackerkrume die chemische Mischung der einzelnen mineralischen Bestandtheile erlangt, die sie ebenso von den anderen festen Theilen der Erdoberfläche unterscheidet?* Wir haben natürlich nur unter Bezugnahme auf die in der Geologie feststehende Annahme, welche aussagt, dass die oberflächliche Beschaffenheit unseres Planeten früher eine andere gewesen ist, eine Berechtigung, diese Fragen aufzuwerfen.

Wir müssen nun bei der Behandlung des Entstehungsprocesses der Ackerkrume von demselben Punkte ausgehen, von dem auch die Geologie ihren Ausgang zu nehmen pflegt, weil von demselben an die physische Geschichte unseres Erdballs erst eine klare Fassung gewinnt. Dabei können wir die noch immer bestehenden, ja in neuerer Zeit wieder sich schäffenden Controversen der verschiedenen geologischen Hypothesen ziemlich auf sich beruhen lassen. Die *Plutonisten* legen ihrer geologischen Anschauung eine mehr astronomische, d. h. dem Verhalten anderer Weltkörper entnommene Hypothese zu Grunde und machen demgemäss die Annahme, dass sich der Erdball früher in feurig-flüssigem Zustande befunden habe, und dass er in diesen wahrscheinlich durch Verdichtung der Materie gerathen sei; sie nehmen in Folge dessen an, dass die Erde auch jetzt noch im Innern ausserordentlich heiss,

resp. feurig-flüssig \*) sei, und dass dies der Grund sei, dass man in tiefen Bergwerken eine stufenweise Temperaturzunahme mit grosser Regelmässigkeit (?) beobachte.

Dem gegenüber stellen sich die *neueren Neptunisten*, die hier allein erwähnt zu werden brauchen, auf den rein empirischen Standpunkt ihrer *geognostischen* Erfahrung; sie zeigen, dass eine Reihe von geologischen Vorgängen, welche von den Plutonisten aus ihrer Hypothese des feurig-flüssigen Zustandes erklärt und, wie man hinzusetzen muss, häufig in sehr oberflächlicher Weise erklärt wurden, noch heute an der Erdoberfläche bei Ausschluss jener (von den Plutonisten angenommenen) Bedingungen verlaufen, und erachten es für möglich, dass wenigstens alle diejenigen geologischen Erscheinungen, deren sichtbare Reste noch jetzt vor unsern Augen liegen, auf diese einfache Weise erklärt werden können. Die vulkanischen Erscheinungen, die von ihnen als sehr unregelmässig erwiesene Zunahme der Temperatur gegen das Erdinnere werden durch locale chemische Reactionen oder auch wohl gar nicht erklärt.

Es muss dieser Richtung bei all ihren absurden Consequenzen das bedeutende Verdienst zuerkannt werden, namentlich durch aufmerksame chemische Studien unsere Kenntniss von den möglichen „*geologisch chemischen Reactionen*“ ausserordentlich erweitert zu haben und den Plutonismus, der es sich mit seinen Detailerklärungen sehr bequem zu machen pflegte und trotz der unverkennbaren Wahrscheinlichkeit und theoretischen Ueberlegenheit seiner Grundanschauung sich als eine geologisch sehr unfruchtbare Richtung erwiesen hatte, in seine Grenzen zurückgewiesen und zu einem kritischeren Verfahren gezwungen zu haben.

Für die Betrachtungen, zu deren Anstellung wir die Hülfe der Geologie in Anspruch nehmen müssen, berührt uns die bestehende Controverse, die sich bekanntlich wesentlich auf die Entstehung der krystallinischen, der sogenannten plutonischen Gesteine \*\*) bezieht, sehr wenig. Der Process, mit dem wir es hier hauptsächlich zu thun haben, ist ein solcher, der nach der Auffassung beider Richtungen *im*

\*) Es ist hierbei zu erwähnen, dass nach einer neueren Berechnung des englischen Physikers W. Thomson die Annahme eines feurig-flüssigen Erdinnern unverträglich ist mit dem Verhalten, welches der Erdball gegen die Kräfte, die ihn zu verbiegen streben, zeigt. Die feste Erdrinde müsste eine andere Ebbe- und Fluthbewegung besitzen, wenn wenig Meilen unter der Erdoberfläche ein flüssiges Medium begönne, als in Wirklichkeit beobachtet werden konnte. Diese Folgerung ist nun aber keineswegs in Widerstreit mit der plutonischen Hypothese, indem nur die weitere und unter gewissen Umständen ganz plausible Annahme hinzugefügt zu werden braucht, dass das heisse Erdinnere in Folge des colossalen auf ihm lastenden Druckes fest sei, aber nun natürlich bei Hinwegnahme dieses Druckes sofort wieder die flüssige Form annehme. Es berührt also diese wahrscheinlich nöthig werdende Modification der Vorstellung vom Erdinnern keinen der Schlüsse der Plutonisten, die sie auf das flüssige Erdinnere ursprünglich basirt haben.

\*\*) Nach der herrschenden plutonistischen Anschauung sind diese Gesteine, die auch als Urgebirgsarten bezeichnet werden, die Ueberreste des feurig-flüssigen Zustandes der Erdoberfläche und durch Erstarrung der flüssigen Masse in Folge der Ausstrahlung eines Theils der Wärme entstanden. Geben wir einen Augenblick auf die plutonistische Hypothese ein, so können wir uns der Folgerung nicht entziehen, dass bei jenem sehr heissen Zustand des Erdballs das Wasser, das heute unser Weltmeer bildet, ganz oder grösstentheils als hoch-



*Wesentlichen identisch ist.* Es ist dies *die Zerstörung der krystallinischen Massengesteine* durch die Verwitterung im weitesten Sinne des Worts *und deren Uebergang in geschichtete Gesteine und andere Bildungen*, zu denen auch die Ackerkrume gehört. Der Neptunismus nimmt dann nur wieder eine regelmässig erfolgende Rückbildung der geschichteten Gesteine in Massengesteine an, wie sie in einzelnen Fällen ja als erwiesen anzusehen ist\*), eine Art Kreislauf der Gesteine\*\*), während nach den herrschenden plutonischen Anschauungen der Verwitterungsprocess in der jetzigen Erdepoeche allein eine bedeutende Rolle spielt, und die Oberfläche unseres Planeten in einer ganz bestimmten Richtung continuirlich abgeändert wird.

Wir können also, wie gesagt, die zahlreichen noch bestehenden Streitfragen bei Seite liegen lassen und uns in unsern geologischen Betrachtungen darauf beschränken, jenen Umwandlungsprocess der krystallinischen Massengesteine in andere Bildungen, der im Wesentlichen ein Process der Verwitterung ist, und in Bezug auf den die Ansichten der verschiedenen Richtungen nicht auseinander gehen, ins Auge zu fassen. Das Problem, wie jene krystallinischen Gesteine Entstehung genommen

---

erhitzter Wasserdampf in der Atmosphäre schweben und einen colossalen Druck (man kann ihn vielleicht nach der durchschnittlichen Tiefe des Weltmeeres annähernd berechnen) auf die flüssigen Gesteinsmassen ausüben musste. Aus diesem Drucke würde sich aber ergeben, dass hocheerhitztes flüssiges Wasser, vielleicht glühendes Wasser, sich mit jenen Gesteinsmassen mischen musste. Man kann nun der weiteren Folgerung gar nicht entgehen, dass dies Wasser bei der endlich erfolgenden Erstarrung der breiigen mineralischen Massen einen bedeutenden Einfluss ausgeübt haben muss. So würde man bei der consequenten Durchführung der plutonistischen Hypothese der Erdbildung zu einem Erstarrungsprocess der Urgebirgsarten gelangen, der ebensoviele Aehnlichkeit mit der Vorstellung der Neptunisten von diesem Vorgang hat, als mit der gewöhnlichen der Plutonisten. Es erscheint sogar auf der Basis dieser Vorstellung eine Vereinigung der Anschauungen beider Richtungen über die Entstehung mancher Gesteinsarten möglich. Vielleicht ist die gleichzeitige Anwesenheit von einer sehr hohen Temperatur und von flüssigem Wasser bei Entstehung des Granits der Grund dafür, dass die Gestaltung dieses Gesteins in mancher Hinsicht einer wässrigen Ausscheidung weit ähnlicher sieht als einer feurig-flüssigen. Es wären gewiss viele der Widersprüche zu heben, die in der Geologie über feurig-flüssige oder die wässrige Ausscheidung eines Gesteins bestehen, wenn man sich immer wieder vergegenwärtigte, dass die gleichzeitige Anwesenheit beider verflüssigenden Principien bei dem früheren Zustand der Erde möglich, ja sogar wahrscheinlich sei, während unsere Beobachtungen von heute zu Tage in der Natur, wie im Laboratorium unter so niedrigen Pressionen angestellt sind, dass beide Principien sich gegenseitig auszuschliessen scheinen, sich überall als entgegengesetzt gegenüberstehen und sogar die blosse Vorstellung von glühendem flüssigem Wasser den Gedanken der Unmöglichkeit erweckt.

\*) Bischof hat z. B. die Metamorphose von Thonschiefer in Granit wahrscheinlich gemacht.

\*\*) Wenn man die Annahme einer alternirenden Bildung und Rückbildung der beiden Gruppen von Gesteinsarten consequent verfolgt und dazu nach streng neptunistischer Weise die Hebungen, Wärmeentwicklungen im Erdinnern u. s. w. durch chemische Reactionen erklärt und alle diese Processe in unerschöpflicher Folge von Neuem vor sich gehen lässt, so geräth man gar leicht in ernstliche Collisionen mit dem Gesetze der Erhaltung der Kraft, denen man nur durch die ziemlich künstliche weitere Annahme, dass die durch die Pflanzenwelt aufgespeicherten Kräfte in letzter Linie (durch Reductionen u. s. w.) den „Antiwitterungsprocess“ veranlassen, enttrinnen kann.

haben, — ob wir es in denselben noch mit Ueberresten der einst flüssigen Gesteinsmassen oder schon mit secundären Umwandlungsproducten derselben zu thun haben, ob im ersteren Falle dabei hocheerhitztes aber flüssiges Wasser mitgewirkt hat, oder ob wir uns jene Annahme zu machen überhaupt nicht für berechtigt halten, soll uns hier als ausserhalb unserer Aufgabe liegend ganz und gar nicht beschäftigen.

Wenn wir uns nun zur besseren Uebersicht der chemischen Zusammensetzung und der näheren geognostischen Gruppierung der Massengesteine einer gewissen Eintheilung bedienen, so verfolgen wir damit nur jenen einen Zweck und sagen ganz und gar nichts aus über eine etwaige gemeinschaftliche Entstehungsweise solcher Gesteine. Wir werden uns sogar nicht scheuen, wo es passend erscheint, Gebirgsarten unter diesen Massengesteinen mit aufzuführen, bei denen es nach neueren Erfahrungen sehr wahrscheinlich geworden ist, dass secundäre Processe bereits ihre Einflüsse auf dieselben geltend gemacht haben; wir werden dies thun, weil es unmöglich erscheint, nach jenem Grundsatz eine wirklich scharfe Grenze zu ziehen, und weil für unsern Zweck das Charakteristikon der noch wenig veränderten Zusammensetzung als massgebend erscheint. — Genug, wir gehen zu chemischen und mineralogischen Betrachtungen dieser Massengesteine über.

*Kieselsäure* ist der vorwiegende Bestandtheil aller krystallinischen Massengesteine, und es gibt deren keines, das nicht wenigstens nahezu zur Hälfte seiner Masse aus dieser Säure besteht. Der Gehalt an derselben schwankt in den verschiedenen Gesteinen etwa zwischen  $\frac{1}{2}$  und  $\frac{3}{4}$  der ganzen Masse. Ausserdem sind Thonerde 10—20 %, Eisenoxyd oder -oxydul, Manganoxydul, Kalk, Magnesia, Kali und Natron in geringeren und wechselnden Mengen regelmässige Bestandtheile aller dieser Gesteine.

Je nach ihrem relativen Gehalt an diesen einzelnen chemischen Bestandtheilen zerfallen die verschiedenen Massengesteine in zwei natürliche Unterabtheilungen, die zwar nicht ganz scharf gegen einander abgegrenzt sind, doch aber im Allgemeinen sich wesentlich durch gleichartige Merkmale von einander unterscheiden. Die eine Gruppe ist *reich an Kieselsäure*, und die Gesteinsarten, die derselben angehören, können als *saure Silicate* bezeichnet werden. Die andere Gruppe ist verhältnissmässig *arm an Kieselsäure*, und die hierhin gehörigen Gesteinsarten kann man als *basische Silicate* bezeichnen. Die erstere Gruppe enthält *geringe Mengen von Eisen, Kalk, Magnesia*, letztere *grössere Mengen* dieser Stoffe. Jene ist *reich an Alkalien*, diese *alkaliarm*. Beide Gruppen verhalten sich demgemäss bei dem Verwitterungsprocess, der, wie gesagt, als ein wesentliches Moment bei der Bildung der Ackerkrume angesehen werden muss, verschieden.

Die erste Gruppe von saurem Charakter, *Acidite (Cotta)*, die auch wohl als die der *kieselthon-alkalischen Gesteine* \*) bezeichnet worden ist, umfasst folgende bekanntere Gebirgsarten unter sich:

*Granit, Gneiss, Glimmerschiefer, Porphyr, Pechstein und Trachyt.*

Die chemische Zusammensetzung dieser Gruppe schwankt zwischen den angegebenen Zahlen:

\*) Vergl. Girard: Bodenkunde 1868, p. 72.

|                     |                                        |
|---------------------|----------------------------------------|
| Kieselsäure         | 54—79%                                 |
| Thonerde            | 10—23 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Eisenoxyd (-oxydul) | 0,8—7 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Manganoxydul        | 0—0,5 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Kalk                | 0,1—4 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Magnesia            | 0,1—1,5 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>   |
| Kali                | 1,3—8 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Natron              | 0,4—9 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Wasser              | 0,4—1,5 <sup>0</sup> / <sub>10</sub> . |

Die zweite Gruppe von mehr basischem Charakter, *Basite (Cotta)*, die auch wohl als die der *kiesel-eisen-kalkigen Gesteine* bezeichnet worden ist, umfasst folgende bekanntere Gebirgsarten in sich:

*Syenit, Diorit, Diabas, Melaphyr, Dolerit und Basalt.\*)*

Die chemische Zusammensetzung dieser Gruppe schwankt zwischen folgenden Zahlen:

|                     |                                        |
|---------------------|----------------------------------------|
| Kieselsäure         | 42—63 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Thonerde            | 10—21 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Eisenoxyd (-oxydul) | 4—17 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>      |
| Manganoxydul        | 0—0,5 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Kalk                | 1,8—15 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>    |
| Magnesia            | 1,1—11 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>    |
| Kali                | 0,1—8 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Natron              | 0,2—8 <sup>0</sup> / <sub>10</sub>     |
| Wasser              | 0,2—3,3 <sup>0</sup> / <sub>10</sub> . |

Die angegebenen Zahlen werden zur Genüge das vorher über die Zusammensetzung Gesagte bestätigen. Wir können uns indessen mit diesen allgemeinen Angaben über die Bestandtheile der verschiedenen Gesteine auch für unsern Zweck nicht begnügen, da jene Gruppe trotz jener Gemeinsamkeit der Charaktere der in ihnen enthaltenen Gesteine doch noch ziemlich Verschiedenes umschliesst. Wir theilen daher aus jeder Gruppe eine kleine Anzahl von Einzelanalysen mit, die zugleich eine brauchbare Vorstellung geben von den durchschnittlich zu erwartenden Abweichungen.

---

\*) Diese Eintheilung, die weiter keine Theorie in sich schliesst, ist wesentlich identisch mit derjenigen, die Bunsen seiner Zeit auf die damals zulässig erscheinende Annahme gründete, dass alle „plutonischen“ und „vulkanischen“ Gesteine als Gemische zweier der chemischen Zusammensetzung nach äussersten Endglieder angesehen werden könnten, resp. angesehen werden sollten. Diese Endglieder werden dann als normal-trachytische und normal-pyroxenische Gesteine bezeichnet. Obgleich nun die zu Grunde liegende Hypothese der Bildung aller jener Gebirgsarten aus zwei feurig-flüssigen „Mutterlaugen“ des Erdinnern, namentlich wegen sehr ungenügender Uebereinstimmung der Berechnung, fallen gelassen werden musste, so würde doch die Annahme jener beiden Endglieder mit der hier gemachten Unterscheidung ungefähr praktisch coincidiren. Das normal-trachytische Gestein würde zugleich das äusserste Glied unserer ersten Gruppe, das normal-pyroxenische das unserer zweiten Gruppe sein.

*Kiesel-thon-alkalische Gesteine <sup>1)</sup>.*

|              | Granit <sup>2)</sup> |       | Gneiss <sup>3)</sup> |       | Glimmersch. <sup>4)</sup> | Porphyr <sup>5)</sup> | Trachyt <sup>6)</sup> |
|--------------|----------------------|-------|----------------------|-------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
|              | I.                   | II.   | I.                   | II.   |                           |                       |                       |
| Kieselsäure  | 72,6%                | 68,6% | 67,3%                | 74,5% | 79,5%                     | 75,2%                 | 64,2%                 |
| Thonerde     | 15,6%                | 14,4% | 16,1%                | 15,2% | 13,4%                     | 10,9%                 | 17,0%                 |
| Eisenoxydul  | 1,5%                 | 5,0%  | 4,5%                 | 1,9%  | Fe 3,9%                   | 3,2%                  | Fe 6,7%               |
| Manganoxydul | 0,3%                 | —     | —                    | —     | —                         | —                     | —                     |
| Kalk         | 1,3%                 | 3,9%  | 3,9%                 | 1,1%  | 0,7%                      | 0,5%                  | 0,5%                  |
| Magnesia     | 0,3%                 | 0,4%  | 1,5%                 | 0,6%  | 1,0%                      | 0,4%                  | 0,2%                  |
| Kali         | 5,0%                 | 2,8%  | 5,1%                 | 4,6%  | 4,7%                      | 3,1%                  | 4,4%                  |
| Natron       | 2,3%                 | 3,4%  | 3,0%                 | 2,9%  | 0,4%                      | 4,0%                  | 5,1%                  |
| Wasser       | 0,8%                 | 1,1%  | 0,4%                 | —     | 0,8%                      | 0,7%                  | 1,0%                  |

*Kiesel-eisen-kalkige Gesteine.*

|             | Syenit <sup>7)</sup> | Diorit <sup>8)</sup> | Diabas <sup>9)</sup> | Melaphir <sup>10)</sup> | Dolerit <sup>11)</sup> |       | Basalt <sup>12)</sup> |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------|-----------------------|
|             |                      |                      |                      |                         | I.                     | II.   |                       |
| Kieselsäure | 58,1%                | 54,7%                | 50,1%                | 59,2%                   | 51,8%                  | 48,2% | 45,9%                 |
| Thonerde    | 17,7%                | 15,7%                | 16,4%                | 15,1%                   | 14,2%                  | 10,2% | 16,2%                 |
| Eisenoxydul | 8,3%                 | 8,1%                 | 12,8%                | Fe 14,7%                | 16,0%                  | 13,6% | 13,0%                 |
| Kalk        | 5,8%                 | 7,8%                 | 6,7%                 | 4,6%                    | 7,9%                   | 14,6% | 10,3%                 |
| Magnesia    | 2,1%                 | 5,9%                 | 4,4%                 | 1,5%                    | 4,7%                   | 7,4%  | 6,3%                  |
| Kali        | 3,2%                 | 3,8%                 | 1,5%                 | 1,7%                    | 1,5%                   | 3,7%  | 1,2%                  |
| Natron      | 3,0%                 | 2,9%                 | 4,6%                 | 3,0%                    | 3,7%                   | 1,0%  | 3,6%                  |
| Wasser      | 1,3%                 | 1,9%                 | 2,4%                 | 1,6%                    | 0,8%                   | 1,9%  | 2,4%                  |

Diese Analysen mögen ungefähr eine Vorstellung geben von den Abweichungen, welche die einzelnen den beiden Gruppen untergeordneten Gesteine von den Durchschnittsnormen zeigen.

Allein um irgend eine Anschauung davon zu gewinnen, welche Veränderungen die verschiedenen Gebirgsarten bei der Verwitterung, die wir als ein Moment der Bodenbildung bezeichnet haben, erleiden, müssen wir uns einiger Massen mit der näheren Gruppierung der einzelnen aufgefundenen chemischen Bestandtheile jener Gesteine bekannt machen, d. h. neben dem chemischen Charakter der Gebirgsarten auch deren mineralogischen Charakter ins Auge zu fassen suchen.

<sup>1)</sup> Diese Analysen sind grossentheils dem erwähnten Girard'schen Werke entnommen.

<sup>2)</sup> Fundort des Granit I. zu Heidelberg, des Granit II. in Irland.

<sup>3)</sup> Fundort des Gneiss I. Brasilien, des Gneiss II. Sachsen.

<sup>4)</sup> Schweiz.

<sup>5)</sup> Norwegen.

<sup>6)</sup> Siebengebirge.

<sup>7)</sup> Tyrol.

<sup>8)</sup> Harz.

<sup>9)</sup> Christiania.

<sup>10)</sup> Thüringer Wald.

<sup>11)</sup> I. Hessen, II. Baden.

<sup>12)</sup> Linz.

Die erste Gruppe der kiesel-thon-alkalischen Gesteine hat folgende engere mineralogischen Bestandtheile: den Quarz, d. i. die krystallinisch ausgeschiedene unverbundene Kieselsäure, und von Silicaten, soweit sie für die einzelnen Gesteine charakteristisch sind: den Feldspath (Orthoklas, Sanidin, Oligoklas) und den Glimmer. Wir werden sogleich etwas näher auf die Zusammensetzung und die Eigenschaften dieser Mineralien eingehen.

Die andere Gruppe der kiesel-eisen-kalkigen Gesteine hat niemals freie ausgeschiedene Kieselsäure als charakteristischen Gemengtheil, sondern nur je nach der Gesteinsart die Silicate: Feldspath (Oligoklas, Labrador), Augit (Hypersthen) und Hornblende.

Je nachdem nun diese einzelnen Mineralien zusammentreten, bilden sich die verschiedenen Gesteinsspecies. — Allgemeines über die Regeln, nach denen dieser Zusammentritt erfolgt, lässt sich sagen, dass die Gesteine der ersten Gruppe sammt und sonders\*) *Alkali-Feldspath*, d. h. Orthoklas, Sanidin (d. i. ein glasiger Feldspath von der gleichen Zusammensetzung des Orthoklas) oder Oligoklas, dass die Gesteine der zweiten Gruppe sammt und sonders *Hornblende* oder *Augit* in sich enthalten. Dies ist ein ganz ausreichendes Merkzeichen, das auch schon Eigenschaften und Zusammensetzung der Gesteine beider Gruppen ziemlich erklärt.

*Granit* und *Gneiss* bestehen ihren näheren mineralogischen Gemengtheilen nach aus Quarz, Glimmer, Kali-Feldspath (Orthoklas) in verschiedenen Verhältnissen; und eben diese letzteren sind es neben einigen Structurverhältnissen, auf die sich die Unterscheidung der zwei Gesteine gründet. Der Granit ist etwas feldspath-reicher (60—80 %) als der Gneiss (50—70 %), bei welchem letzteren die beiden anderen Gemengtheile mehr hervortreten. Beim *Glimmerschiefer* endlich ist der Feldspath fast ganz und gar verschwunden, und derselbe besitzt als wesentliche Gemengtheile nur noch Quarz und Glimmer.

Der *Porphyr* ist im Wesentlichen ein inniges Gemenge von Orthoklas und Quarz; — Glimmer ist nur noch gelegentlicher Gemengtheil. Der Pechstein ist nur als abweichende Ausscheidungsmodification des Porphyr zu betrachten.

Die Grundmasse des *Trachyts* ist Sanidin mit oder ohne Oligoklas, daneben gelegentlich auch andere mineralogische Bestandtheile. Viele Trachyte, die sogenannten *Quarztrachyte*, besitzen auch noch Quarz als regelmässigen Bestandtheil und kommen dann in ihrer chemischen Zusammensetzung völlig mit dem Granit überein. —

Man kann also in Bezug auf die nähere mineralogische Zusammensetzung der Gesteine der ersten Gruppe sagen, dass sie neben Alkali-Feldspath, welcher Bestandtheil allerdings bei dem Glimmerschiefer beinahe ganz verschwindet, je nach der Gesteinsart Quarz und Glimmer in sehr verschiedenen Mengen enthalten.

Nun zu der specielleren Zusammensetzung der Gesteine jener zweiten Gruppe. — Der *Syenit* besteht im Wesentlichen aus Alkali-Feldspath (Orthoklas, seltener Oligoklas) und Hornblende, die letztere zuweilen nur durch Glimmer ersetzt, im

---

\*) Der Glimmerschiefer, der häufig beinahe frei von Feldspath erscheint, macht hiervon die einzige Ausnahme.

*Diorit* ist der feldspathige Gemengtheil Oligoklas, daneben wieder Hornblende und häufig viele andere minder regelmässige Gemengtheile. Die vier anderen Gesteine derselben Gruppe enthalten als charakteristischen Gemengtheil stets Augit. Der *Diabas* ist ein Gemenge von diesem mit Labrador. Der *Melaphyr* enthält Oligoklas und Augit und zuweilen an Stelle der letzteren Hornblende. *Dolerit* und *Basalt* bestehen wesentlich aus Oligoklas (nicht Labrador, wie man früher glaubte) und Augit; ersterer ungefähr zu gleichen Theilen und in gröberen Stücken, letzterer enthält die Gemengtheile vorherrschend in sehr feinen Krystallen, zugleich auch regelmässig geringe Mengen magnetischen Eisenerzes und andere Einschlüsse. Dolerit besitzt ebenso wie Melaphyr sehr häufig die sogenannte Mandelsteinstructur, hervorgerufen durch versteinte Gasblasen, die, wie man annimmt, die eruptive Natur dieser Gesteine bekunden.

Diese Gesteine enthalten also neben Augit oder Hornblende, die nahe verwandt mit einander sind, einen feldspathartigen Gemengtheil, Orthoklas oder Oligoklas, die jene in Zusammensetzung und Eigenschaften der ersten Gruppe nähern, oder den Labrador, der sie noch mehr zu alkaliarmen, aber kalkreicheren Gesteinsarten macht.

Wir werden den Ueberblick über die Natur aller dieser verschiedenen Gesteine weiter vervollkommen, wenn wir die chemische Zusammensetzung und das Verhalten dieser wenigen charakteristischen Gemengtheile, auf die sich die mineralogische Constitution aller jener wichtigeren Gebirgsarten zurückführen lässt, uns noch einzuprägen suchen. Vor allem haben wir die feldspathartigen Mineralien, auf der einen die Hornblende und die Augite, auf der anderen Seite bezüglich ihrer Zusammensetzung zu prüfen. Wenn man eine grössere Anzahl der *Alkali-Feldspathe* der verschiedensten Fundorte hinsichtlich ihrer Zusammensetzung vergleicht, so kommt man ungefähr zu folgenden Variationen:

|             | Kalifeldspath (Orthoklas, Sanidin). | Natronfeldspath (Oligoklas). |
|-------------|-------------------------------------|------------------------------|
| Kieselsäure | 65,6—67,0 %                         | 62,0—63,9 %                  |
| Thonerde    | 16,5—20,9 %                         | 21,2—23,9 %                  |
| Eisenoxyd   | 0,9— 1,6 %                          | 0— 2,5 %                     |
| Kalk        | 0,1— 1,5 %                          | 1,1— 3,5 %                   |
| Magnesia    | 0,2— 0,9 %                          | 0,6— 0,8 %                   |
| Kali        | 7,9—12,8 %                          | 1,2— 4,3 %                   |
| Natron      | 2,0— 4,6 %                          | 5,9— 9,5 %                   |

Die Zusammensetzung beider Alkali-Feldspathe ist, wie die Vergleichung lehrt, durchweg ganz ähnlich; nur sind die beiden Alkalien ungleichartig vertheilt, weshalb auch die beiden Mineralien als Kali-Feldspath und Natron-Feldspath von einander unterschieden werden. Ausserdem ist der höhere Kieselsäuregehalt für den Kalifeldspath durchaus charakteristisch.

Die andern Mineralien, die neben diesen beiden in der ersten Gruppe der Gebirgsarten vorkommen, sind *Quarz* und *Glimmer*, der erstere mehr oder minder reine Kieselsäure, der andere ein Silicat, das sich durch seinen grossen Kaligehalt (5,6—9,5 %) auszeichnet, in manchen Varietäten auch grosse Mengen von Magnesia enthält, aber so ausserordentlich schwer durch Verwitterung zersetzbar ist, dass seine nähere Zusammensetzung für uns von keinem Interesse ist. Der Glimmer

wird bei der Umformung der Gebirge und bei der Bodenbildung ebenso wie der krystallinische Quarz eine Rolle spielen als mechanischer Gemengtheil, weniger als Sitz chemischer Umsetzungen, ganz im Gegensatz zu den feldspathartigen Mineralien, die ziemlich leicht verwittern und desshalb auch als chemisches Element der Bodenbildung in ihrer Zusammensetzung eine genaue Berücksichtigung verdienen.

Demgemäss erhalten dann die verschiedenen Gesteine der ersten Gruppe eine ausserordentliche Aehnlichkeit unter einander in Bezug auf ihre Zersetzungserscheinungen bei der Verwitterung. Ueberall ist das feldspathartige Gesteinselement Sitz dieser chemischen Umwandlungen, und die Gesteinsarten verhalten sich beinahe nur in sofern verschieden, als der feldspathige Gemengtheil bald mehr bald weniger in den Vordergrund tritt, als derselbe vorwiegend Kali- oder Natron-Feldspath ist. Auf diese Weise wird die Zusammengehörigkeit jener Gesteine der ersten Gruppe noch mehr in die Augen springend als durch Vorführung der Pauschanalyse, wo verwitterbare und unverwitterbare Gesteinselemente mit voller Gleichberechtigung auftreten.

Nicht ganz so einfach gestaltet sich das Resultat der analogen Betrachtung für die andere Gruppe. Wir haben dort neben feldspathartigen Mineralien *Augit* oder *Hornblende* als durchgehend charakteristischen Gemengtheil kennen gelernt. Die Zusammensetzung dieser Mineralien wird uns daher vor allem interessiren. Dieselbe bewegt sich nach einer Reihe von vorliegenden Analysen ungefähr in den angegebenen Grenzen.

|             | Hornblende. | Augit (Hypersthen, Pyroxen). |
|-------------|-------------|------------------------------|
| Kieselsäure | 40,3—43,8 % | 47,4—51,8 %                  |
| Thonerde    | 9,3—16,4 %  | 0,4— 8,1 %                   |
| Eisenoxyd   | —           | 0— 5,8 %                     |
| Eisenoxydul | 15,3—21,8 % | 7,8—21,3 %                   |
| Kalk        | 12,1—13,8 % | 3,1—20,0 %                   |
| Magnesia    | 11,7—13,4 % | 12,8—21,3 %                  |
| Kali        | —           | —                            |
| Natron      | —           | —                            |

Es zeigt sich auf den ersten Blick, dass die Zusammensetzung dieser beiden Mineralien eine grosse Aehnlichkeit unter sich selber bietet, und dass sie von jenen feldspathartigen ausserordentlich verschieden ist. Ja, die chemische Uebereinstimmung beider ist so gross, dass es unter Umständen gelingt, Hornblende durch einfaches Schmelzen und Wiedererkaltenlassen in Augit zu verwandeln (G. Rose). Die Alkalien sehen wir hier bis zum völligen Verschwinden zurücktreten, dagegen finden wir grosse Mengen alkalischer Erden vor, namentlich auch von Magnesia und dann von Eisenoxydul. Der gemeinschaftliche Gehalt der zweiten Gesteinsgruppe an einem dieser beiden Mineralien stempelt sie in der That zu den kiesel-eisen-kalkigen Gesteinen.

Als zweiten wesentlichen Gemengtheil dieser Gesteine treffen wir aber theilweise einen Alkali-Feldspath, z. B. im Syenit und Melaphyr; und diese Gesteine müssen sich auch desshalb ihrem Verhalten bei Verwitterung oder Bodenbildung nach der ersten Gruppe nähern; oder sie enthalten neben Augit oder Hornblende

noch *Kalk-Feldspath* (Labrador) wie der Diabas; und da der Labrador nicht zu den Mineralien gerechnet werden kann, die der Verwitterung absoluten Widerstand entgegensetzen, so müssen wir auch seine Zusammensetzung kurz in's Auge fassen.

|             | Labrador.    |
|-------------|--------------|
| Kieselsäure | 52,2—53,7 ‰, |
| Thonerde    | 26,7—29,2 „  |
| Eisenoxyd   | 1,8— 3,5 „   |
| Kalk        | 8,6—13,1 „   |
| Magnesia    | 0,4— 0,9 „   |
| Kali        | 0,6— 1,5 „   |
| Natron      | 1,4— 5,0 „.  |

Wir haben es also in dem Labrador mit einem Mineral zu thun, das sich den Alkali-Feldspathen einigermaßen in der Zusammensetzung nähert, nur ärmer an Kieselsäure (auf 1 Aequivalent Basen nur halb so viel Kieselsäure als der Orthoklas,  $\frac{2}{3}$  so viel als der Oligoklas), etwas reicher an Thonerde ist und, was für uns von besonderem Interesse ist, an der Stelle von grossen Mengen von Alkalien Kalk besitzt. Der Labrador wird von den Mineralogen den Feldspathen zugezählt, und wir haben von dieser Bezeichnung bereits Gebrauch gemacht.

Der Charakter der Gesteine, die an der Stelle eines andern feldspathigen Gemengtheils diesen kalkreichen Feldspath, den Labrador, enthalten, ergibt sich nun von selbst. Dieselben besitzen zwar in diesem letzteren Bestandtheil eine Quelle für die geringen Mengen von Alkalien, welche auch in diesen Gesteinen regelmässig angetroffen werden; allein sie werden namentlich an Kali durchschnittlich viel ärmer bleiben müssen als der Alkali-Feldspath-haltige Syenit, viel reicher an Kalk sein als dieser und der Melaphyr u. s. f.

Ausnahmen bei einzelnen Gesteinsvarietäten, die dennoch aus geognostischen Gründen den von uns acceptirten Gesteinsarten zugerechnet werden, kommen natürlich bis zu gewissen Grenzen vor, da mannigfache Vertretungen der einzelnen Gemengtheile innerhalb jener Arten nicht ausgeschlossen sind. So gibt es sehr kaliarme Syenite, wenn der vorhandene Feldspath sehr kaliarmer Oligoklas ist, kalireiche Dolerite, wenn noch andere Gesteinselemente\*), die in vielen Fällen noch gar nicht mineralogisch bestimmt werden konnten, und über welche jetzt erst die mineralogischen Dünnschliffe mehr und mehr Auskunft geben, sich einschleichen. Man darf überhaupt nicht glauben, durch diese Betrachtungen strenggültige Regeln für die chemische Zusammensetzung der Gesteine zu erhalten. Die Gesteinsart, auf welchen Begriff wir uns allein beziehen konnten, ist durchaus nicht, namentlich nicht vom chemischen Standpunkt aus, eine so feststehende Grösse, dass man ganz untrügliche Regeln für deren Verhalten bei der Verwitterung, der Bodenbildung und endlich bei Ernährung der Pflanze geben könnte.

Wir haben noch von der Zugänglichkeit der mineralogischen Gemengtheile der Gesteine der zweiten Gruppe für die Verwitterung einige Worte zu sagen, ohne dass

\*) Hier ist namentlich der kalireiche Leucit als gelegentliches Gesteinselement zu erwähnen.



wir freilich hier schon auf den Chemismus jenes Processes einzugehen beabsichtigen. Schon aus dem Umstande, dass wir die Zusammensetzung aller dieser Gemengtheile einer näheren Betrachtung unterworfen haben, konnte man schliessen, dass sich dieselben auch an dem Chemismus der Verwitterung betheiligen, nicht theilweise wie Quarz und Glimmer bloss durch ihre mechanischen Eigenthümlichkeiten dabei in Betracht kommen; denn wir haben ja dem Grundsatz gehuldigt, hier bei Erörterung dieser etwas verwickelten Verhältnisse unser Gedächtniss nicht mit für unsern Zweck ganz unnötigem Ballast zu beschweren.

Die Verwitterung der Gemengtheile geht durchschnittlich viel langsamer von Statten als die der zuletzt behandelten Alkali-Feldspathe. Auch tauchen hier wieder neue Unterschiede auf für die etwas verschieden zusammengesetzten Unter-varianten einer und derselben Mineralspecies, wie zum Beispiel der Augite. Wenn wir die Zersetzbarkeit aller der verschiedenen Gesteinselemente, mit denen wir zu schaffen haben, nebeneinander stellen, so gelangen wir ungefähr zu folgendem Ueberblick. Der Oligoklas ist so ziemlich das leichtest zersetzbare Glied der ganzen Feldspathgruppe, doch ist der Kalifeldspath nicht viel schwerer verwitterbar; der Labrador dagegen zeigt sich meistens sehr widerstandsfähig. Beim Augit sind mindestens zwei Varietäten hinsichtlich ihres Verhaltens den atmosphärischen Einflüssen gegenüber wohl zu unterscheiden. Der gemeine Augit, der im Basalt vorkommt, wenig Kieselsäure, aber viel alkalische Erde und Thonerde enthält, ist leicht zersetzbar, während der blättrige Augit oder Hypersthen, für den das umgekehrte Verhältniss stattfindet, sich weit widerstandsfähiger zeigt; aber auch dieser erleidet unter den atmosphärischen Einflüssen eine raschere Umwandlung als der Labrador, wie bei der Verwitterung der Gesteine, die beide als Gemengtheile enthalten, beobachtet werden kann. Die Hornblende scheint schwerer angreifbar zu sein als der gemeine Augit.

Hierdurch sind nun die Hauptfelsarten der sog. Urgebirge für unsern Zweck hinlänglich charakterisirt. — Wir haben indessen noch einige Zusätze zu machen, auf die wir später wieder Bezug nehmen werden. Es ist bei der bisherigen Betrachtung, bei welcher wir überhaupt auf Pflanzennährmittel noch keine specielle Rücksicht genommen haben, der Phosphorsäure und Schwefelsäure noch gar nicht Erwähnung gethan worden, und beide werden doch regelmässig in einer jeden fruchtbaren Ackererde angetroffen; und auch in diese sind sie durchgehends nicht durch menschliche Kunstgriffe hineingebracht worden, denn das freudige Gedeihen der wildwachsenden Pflanzen, die doch auch nothwendig phosphor- und schwefelhaltig sind, beweist zur Genüge, dass auch in den von Menschenhand unberührten Trümmern der Gesteinswelt, die wir mit dem Namen Ackerkrume belegen, stets schwefel- und phosphorhaltiges Material angetroffen wird; und wenn auch jene Trümmer nicht immer direct durch Verwitterung jener Massengesteine ihre Entstehung nehmen, so ist dies doch, wie wir bald sehen werden, häufig und mittelbar immer der Fall. Wir haben also ein Recht, auch in jenen Gesteinsarten nach den genannten Stoffen auszuschauen. Für den Phosphor lässt sich nun angeben, dass er überall in jenen Massengesteinen in geringen Mengen vorhanden und nur von den Geognosten fast regelmässig übersehen worden ist. Alle Gesteine, die man in

dieser Richtung mit scharfen Reagentien untersucht hat, zeigten eine wenn auch geringe, doch dem Gehalte des Bodens an diesem Stoffe nahezu entsprechende Menge von Phosphorsäure.

In folgenden meistens sächsischen Gesteinen wurde, nachdem einmal die Agrikulturchemiker ihre Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gelenkt hatten, gefunden:\*)

|                                |           |               |
|--------------------------------|-----------|---------------|
| Im Granulit (Penig)            | 0,63 %    | Phosphorsäure |
| „ Granit (Hollsdorff)          | 0,58 „    | „             |
| „ Granitsand (Burgstädt)       | 0,68 „    | „             |
| „ do. tiefere Schichte         | 0,42 „    | „             |
| „ Gneiss (Gerbisdorff)         | 0,78 „    | „             |
| „ Gneissand (Penig)            | Spuren    | „             |
| „ Feldspath (Rochsburg)        | 1,70 „    | „             |
| „ Basalt (Landberg)            | 1,11 „    | „             |
| „ Melaphyr (Plauensch. Grund)  | 0,30 „    | „             |
| „ Syenit (v. ebenda)           | 0,18 „    | „             |
| „ Gneiss (Tharand)             | 0,25 „    | „             |
| „ Felsit (v. ebenda)           | 0,21 „    | „             |
| „ Thonsteinporphyr (v. ebenda) | 0,43 „    | „             |
| „ Dolerit**) (vom Kaiserstuhl) | 0,03 „    | „             |
| „ Trachyt (von ebenda)         | 0,4—0,7 „ | „             |

Der Gehalt aller dieser Gesteine an Phosphorsäure\*\*\*) ist sehr beträchtlich wenn man bedenkt, dass in fruchtbaren Ackererden oft von derselben kaum mehr als 0,1 % angetroffen wird, und erklärt zur vollen Genüge den Ursprung dieses werthvollen Pflanzennährstoffs. Die Phosphorsäure scheint in diesen krystallinischen Gesteinen meistens an Kalk gebunden und zwar als Apatit, der z. B. in Melaphyren häufig erkannt worden ist, aufzutreten, wie namentlich die Dünnschliffe mehr und mehr erkennen lassen, während in den geschichteten Gesteinen ihre mineralogische Form vielfach eine andere ist.

Für den Schwefel scheint etwas ganz Aehnliches zu gelten; auch er wurde bei den meisten Mineralanalysen der Massengesteine völlig übersehen und nun, da man nach ihm sucht, werden überall schwefelsaure Salze aufgefunden. Struve hat gezeigt, dass man aus einer ganzen Reihe von böhmischen (dahin gehörigen) Gesteinen †) durch kohlensäurehaltiges Wasser unter hohem Druck schwefelsaures Kali oder auch schwefelsaures Natron ausziehen kann. Es ist ausserdem auf die in den krystallinischen Gesteinen vorkommenden schwefelhaltigen Erzgänge hinzuweisen, namentlich auf den Schwefelkies (Schwefeleisen). An der Luft ist für diese Stoffe Gelegenheit

\*) Beinahe alle diese Angaben sind von A. Stöckhard gemacht worden. Vergl. Landw. Versuchsst. 1859, p. 178 und 1861, p. 105.

\*\*) Diese letzteren Angaben von J. Nessler und E. Muth: Jahresber. f. Agrikulturch. 1870—72, p. 18.

\*\*\*) Vergl. auch Gasparin: Ann. d. Landw. Monatsbl. 1870, p. 80.

†) Untersucht wurden drei Phonolithe, mehrere Basalte, Porphyr von Teplitz, Gneiss von Billin und Granit von Karlsbad. Ebenso hat auch A. Mitscherlich Schwefelsäure im Granit gefunden.

gegeben zur Oxydation und Bildung von schwefelsauren Salzen, die sich dann leicht durch Quellen, Grundwasser auf weitere Strecken verbreiten können.

Alle übrigen feuerfesten Pflanzennährstoffe sind, wie die Analysen der krystallinischen Gesteine lehren, in denselben in erheblichen Mengen vorhanden und wie hinzugesetzt werden kann, fast durchweg in grösseren Mengen, als deren Anwesenheit in der Ackererde, sind sie nur in der passenden chemischen Form vorhanden, erfahrungsgemäss nothwendig erscheint. Dies gilt am meisten für das Eisen, das gilt auch durchweg für das Kali und auch in der Regel für Kalk und Magnesia. Die letzteren beiden sinken in manchen Gesteinsarten der ersteren Gruppe, wie namentlich im Trachyt, Porphyr, Glimmerschiefer oft bis zu sehr geringen Mengen, kleinen Bruchtheilen von Procenten herab, Mengen, die wenigstens in Bezug auf den Kalk, der im Boden nicht allein die Rolle eines directen Nährstoffs versieht, sondern noch manche anderen Functionen, von denen wir später zu reden haben werden \*), daselbst vollzieht, als ungenügend für manche Kulturen angesehen werden müssen. Wenn dagegen an Kali auf Böden, welche die Elemente jener krystallinischen Gesteine noch wesentlich intact enthalten, durch eigenthümliche Symptome ein Mangel beim Pflanzenwachsthum sich manifestirt, so ist dies fast ausnahmslos nur in der ungeeigneten chemischen Form (Unlöslichkeit) des genannten Bestandtheils zu suchen, da ein jeder der besprochenen Felsarten bedeutende Mengen von Kali enthält\*\*), die das Vielfache sind von dem, was viele äusserst fruchtbare Böden einzuschliessen pflegen.

## Fünfundzwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Die Verwitterung. — Die Verschwemmung.

Wir haben in der letzten Vorlesung einen genügenden Ueberblick gewonnen über die Zusammensetzung der krystallinischen Massengesteine. Ein solcher ist von Wichtigkeit, weil diese Gesteine unmittelbar oder mittelbar das Material abgeben zu dem feuerfesten Theil einer jeden Ackererde.

Die festen Gesteine selbst sind nun aber in der Regel, und wohl nur mit Ausnahme einiger schon der Natur ihrer Entstehung nach fein gepulverten vulkanischen Gesteine, in ihrer unveränderten Form unbewohnbar für alle höheren Pflanzen, schon bloss ihres mechanischen Zusammenhalts wegen, der jeder Wurzel den Eintritt wehrt. Nur die genügsame Flechte, deren Haftorgane durch saure Ausscheidungen für eine ärmliche Nahrung zu sorgen scheinen, bewohnt den unwirthlichen nackten Fels, dessen monotone Färbung durch bunte Zonen jeglicher Farbe belebend.

Zur Bildung eines auch nur erträglichen Bodens aus diesem widerstandsfähigen Materiale ist daher mindestens das Hinzutreten eines neuen Moments erforderlich,

\*) Vergl. namentlich die 38. Vorlesung.

\*\*) Dies gilt selbst für die kaliärmeren Basalte und Grünsteine; vergl. die mitgetheilten Analysen p. 13.

das der *Verwitterung*, welche die oberflächliche Felschicht erst in grobe und dann immer in feinere und feinere Stücke schlägt. Das gleiche Moment muss auch der Bildung der Flötzgebirgsarten aus jenen Massengesteinen, von deren Dasein wir bis jetzt allein unterrichtet sind, vorhergehen. Nur tritt in diesem Falle noch ein zweites Moment hinzu; und deshalb wollen wir jenen ersten Fall der Bildung von sogenannten „ursprünglichen“ Böden, d. h. noch nicht von der Stätte ihrer Entstehung hinweggeschwemmten Böden aus jenen krystallinischen Gesteinen als einfacheren zuerst ins Auge fassen.

Wir betrachten also den Fall, dass eine zu Tage tretende Felsart der beiden behandelten Gruppen allen atmosphärischen Einflüssen der Verwitterung ausgesetzt sei, aber der ganze Process an einem Orte vor sich gehe, wo keine erhebliche Gelegenheit zur örtlichen Trennung der entstandenen Verwitterungsproducte geboten und höchstens den durchsickernden Wässern und den in diesen löslichen Stoffen freier Abzug gestattet sei. Erst von diesem einfacheren Falle werden wir dann zu dem complicirteren übergehen, der eine Hinwegschwemmbarkeit der Verwitterungsproducte voraussetzt. In Bezug auf die dahin gehörigen Erscheinungen weichen, wie schon hervorgehoben wurde, die Anschauungen der verschiedenen geologischen Richtungen durchaus nicht von einander ab.

Die atmosphärischen Einflüsse, welche eine Verwitterung der festen blossgelegten krystallinischen Gesteinskruste der Erdoberfläche bewirken, sind zweierlei Natur, *chemisch* und *physikalisch wirkende*. Die letzteren sind in der Art ihrer Wirkung sehr allgemein bekannt, und es brauchen über dieselbe an dieser Stelle nur einige Worte gesagt zu werden.

*Der abwechselnden Hitze und Kälte*, dem oft sehr plötzlichen Wechsel der Temperatur, welchem alle an der Erdoberfläche befindliche Körper ausgesetzt sind, wird wegen der damit verbundenen ungleichmässigen Volumänderung der sehr ungleichmässig erwärmten und überdies nicht homogenen Gesteinsmassen ein erheblicher Einfluss auf die Lockerung des Gefüges derselben zugeschrieben. In der That sind die krystallinischen Massengesteine, wie wir sie in der letzten Vorlesung näher ins Auge gefasst haben, sammt und sonders ihrer Structur nach Gemenge zweier oder mehrerer Mineralspecies, welche sich im Allgemeinen und namentlich in verschiedenen Richtungen in verschieden hohem Grade ausdehnen, wenn man sie einer gleichartigen Temperaturveränderung aussetzt. — Indessen sehen wir viele unserer krystallinischen Gesteine diesem Einfluss einen sehr bedeutenden Widerstand entgegenzusetzen, und dieses Moment der mechanischen Verwitterung ist zweifelsohne vielfach überschätzt worden. Ich brauche nur an die altägyptischen Bauwerke zu erinnern, deren Oberfläche schon Jahrtausende den genannten Einflüssen vollständig getrotzt hat, z. B. an den leicht zugänglichen Granit-Obelisk, den Napoleon I. auf der „Place de la concorde“ in Paris aufgestellt hat. Es ist sogar mit Bestimmtheit hervorzuheben, dass ein Theil jener krystallinischen Felsarten trotz jener Theorie der ungleichartigen Ausdehnung den Wärmedifferenzen vollkommen zu trotzen versteht, und vorderhand muss dieses Verwitterungsmoment als ein in den meisten Fällen problematisches angesehen werden.

Eine mechanische Zerstörung soll ferner eingeleitet werden durch das *beim*

*Gefrieren sich sehr erheblich ausdehnende Wasser*, welches in die Gesteinsritzen eindringend diese erweitert und so zur Zerkleinerung der Felsmassen erheblich beiträgt. Es ist unmöglich, diesen Einfluss zu leugnen, denn unsere tägliche Erfahrung lehrt, dass dem Wasser beim Gefrieren diese Wirkung zukommt, und dass dasselbe sogar offene Flaschen auf solche Weise zu zersprengen vermag. Allein es ist daran zu erinnern, dass vorher Spalten und Risse im Felsen vorhanden sein müssen, damit das gefrierende Wasser diese Wirkung geltend machen kann, dass ferner auf grossen Strecken der Erdoberfläche der Frost eine unbekannte Erscheinung ist und nicht als Verwitterungsmoment herangezogen werden kann. Jedenfalls ist eine eigentliche Pulverisirung auf diesem Wege nicht denkbar, es seien denn schon chemische Wirkungen vorausgegangen, und selbst dann nicht.

Als drittes rein chemisches Verwitterungsmoment wäre noch etwa *die Kraft des fallenden Regenwassers* zu nennen. „Der fallende Tropfen höhlt den Stein aus.“ Dieser Erfahrungssatz dient als Sprichwort, um uns eine Vorstellung der Macht der Zeit zu geben, in der auch sehr kleine Kräfte zur erheblichen Wirkung gelangen können. Aber gerade dieser Gebrauch des vorstehenden Satzes beweist uns, dass wir es mit einer in kurzen Zeiten sehr geringfügigen Kraft zu thun haben.

Aus dieser ganzen Darstellung erhellt, dass bei der beginnenden Verwitterung, wenigstens wenn keine Ortsveränderung des zertrümmerten Materials erfolgt, *mechanische Kräfte* keine sehr grosse Rolle spielen, denn andere Kräfte dieser Art stehen unter den angenommenen Umständen keine mehr zu Gebote. Erst wenn es sich später um die Weiterschleppung des theilweise zerkleinerten Gesteins nach tiefergelegenen Stellen der Erdoberfläche handelt, werden wir auch diese physikalischen Kräfte in Wirksamkeit und emsig zur weiteren Pulverisirung jenes beitragen sehen. Doch diesen Fall hatten wir anfangs der Einfachheit wegen ausgeschlossen.

Die *chemischen Kräfte* indessen sehen wir gleich von Anfang an eine grosse Rolle in dem Verwitterungsprocesse spielen, und, wenn wir es nun unternehmen, deren Wirksamkeit unserm Verständnisse zugänglich zu machen, so müssen wir einerseits die chemischen Mittel, welche die Atmosphäre zur Vornahme von Zersetzungen besitzt, andererseits das diesen Eingriffen unterworfenen Material, die verwitterbaren Gesteinselemente, näher ins Auge fassen und die Reactionen studiren, die sich zwischen beiden Contrahenten dieses Verwitterungsprocesses abwickeln.

Der Atmosphäre stehen folgende chemischen Kräfte zu Gebote: Der *Sauerstoff der Luft*, der gewöhnliche wie der „active“, das Ozon, welcher manche Bestandtheile des Gesteins, die verhältnissmässig sauerstoffarm sind, — ich erinnere an das vielfach in den vorgeführten Analysen figurirende Eisenoxydul — zu verändern strebt, ferner die *Kohlensäure der Luft*, die *Meteorwässer* als solche und die *in diesen Wässern aufgelöste Kohlensäure* und der in denselben enthaltene *Sauerstoff*. Auf diese Stoffe und deren Zusammenwirken muss sich die chemische Verwitterung, so lange die organische Welt an derselben keinen Theil nimmt, zurückführen lassen.

*Der Sauerstoff der Luft* wird unmittelbar oder in Wasser gelöst nur auf Mineralien wirken können, die wie Hornblende und Augit grosse Mengen Eisenoxydul in sich enthalten, während seine Wirkung auf die andern wichtigeren Gesteins-

elemente, die Feldspathe, die nichts Oxydirbares in sich enthalten, gleich Null sein wird. Dort aber wird er wohl den Anlass zu einem völligen Zerfallen des Minerals zu einem durch Eisenoxyd braun gefärbten, feinen Pulver geben und so das Mineral in einem für weitere Verwitterungsmomente weit zugänglicheren Zustande hinterlassen. So wird Melaphyr und Basalt beim Verwittern häufig braun durch Ausscheidung von Eisenoxyd. — Eine ähnliche Rolle wie die eisenoxydhaltigen Mineralien spielt auch wohl der gelegentlich in den krystallinischen Gesteinen vorkommende Schwefelkies, der sich bei Anwesenheit von Feuchtigkeit und Sauerstoff in Eisenoxydsulfid verwandelt.

Das *reine Wasser* an sich ist nach der durch Experimente wohlbegründeten\*) Ansicht der Mineralogen schon ein Körper, dem wir zersetzende Wirkungen in Bezug auf die Mineralien, welche die krystallinischen Gesteine constituiren, zuzuschreiben haben. Versuche lehren thatsächlich, dass das reine Wasser an sich schon auf die Alkali-Feldspathe: Kali-Feldspath und Oligoklas einwirkt und dieselben einerseits in Kaolin, der im Wesentlichen kiesel-saure Thonerde ist, andererseits in lösliches kiesel-saures Kali oder Natron verwandelt, oder wenigstens diesen Process einleitet, ja, selbst gasförmiges Wasser wird aus der umgebenden Luft durch die meisten Gesteine aufgesogen und chemisch gebunden. Jedenfalls wird aber diese Wirkung durch die Kohlensäure der Luft und des Regenwassers unterstützt, offenbar weil diese zur Lösung des kiesel-sauren Alkalis unter theilweiser Bildung von kohlensaurem Alkali beiträgt. Der Process kann draussen in der Natur nur erhebliche Dimensionen annehmen, wenn das gelöste Alkali durch die Wässer fortgeführt wird\*\*)†). Findet die Zersetzung durch wirkliche Säuerlinge, stark kohlensäurehaltige Wässer, statt, so wird rasch viel kohlensaures Alkali aus dem zerfallenden Feldspath fortgenommen, während abgeschiedene Kieselsäure der Hauptsache nach ungelöst zurückbleibt. Unter den Basen tritt ausser Natron bei der Verwitterung hauptsächlich

---

\*) Vergl. darüber Bischoff, Lehrb. d. Geologie II., p. 978. Haushofer: Journ. f. pr. Chem. Bd. 103, p. 121, und Daubrée: Compt. rend. T. 64, p. 339. Durch Bresser und durch Emmerling ist selbst die Löslichkeit von Glas in Wasser gezeigt und quantitativ festgestellt worden. Details in dieser Richtung finden sich bei Detmer: Naturwissenschaftl. Grundlagen der Bodenkunde, p. 96 u. f.

\*\*) Es wird vielleicht hier die Frage aufgeworfen werden, wie es kommt, dass die krystallinisch-massigen Gesteine einer Veränderung durch die atmosphärischen Einflüsse erliegen, da sie doch unter diesen selben Bedingungen ursprünglich entstanden sein müssen. Bei Acception der plutonischen Hypothese ist es leicht, auf diese Frage eine stichhaltige Antwort zu geben, indem man auf die Verschiedenheit der Affinitäten bei verschiedenen Temperaturen hinweist und namentlich zeigt, wie die Kieselsäure in der Glühhitze alle andern Säuren, am leichtesten aber die Kohlensäure aus ihren Verbindungen auszutreiben vermag, während die Kohlensäure umgekehrt bei niedriger Temperatur und Gegenwart von Wasser die Silicate langsam zersetzt. — Dem Neptunismus bereitet diese Fragestellung eher einige Schwierigkeiten, und die Beantwortung, soweit sie gegeben wird, fällt zusammen mit jenem der Verwitterung entgegengesetzten von ihm angenommenen Rückbildungsprocess, dessen Grundlagen hier zu erläutern uns zu weit führen würde.

†) Der grosse Natrongehalt vieler Säuerlinge zeigt am besten die zersetzende Fähigkeit des mit Kohlensäure geschwängerten Wassers auf die Silicate; vgl. hierüber Bischoff a. a. O.

noch Kalk aus, selbst wenn er nur in geringen Mengen im ursprünglichen Feldspath vorkommt. An Eisenoxyd tritt eher eine Vermehrung ein, da Eisenoxydsilicat grosse Unlöslichkeit besitzt.

Bewegtes Wasser, wie wir es meistens in der Natur vorfinden, wirkt bei dem ganzen Verwitterungsprocesse viel energischer als stillstehendes, und um so stärker, je mehr die Gesteinstheile in Folge dieser Bewegung an einander gerieben werden.

In den Quellen, die aus denjenigen von uns unterschiedenen Gesteinsgruppen, für die das Vorhandensein eines Alkali-Feldspaths charakteristisch ist, aus den Graniten (Gneissen), Porphyren etc. entspringen, ist die eben besprochene Wirkung leicht zu constatiren. Diese Quellen reagiren stets wegen ihres Gehalts von (nur an die schwache Kohlensäure oder Kieselsäure gebundenen) Alkalien schwach alkalisch, sie sind sogenannte weiche Wässer, die sich gut zum Waschen eignen, und haben die Eigenthümlichkeit, sich mit humosen Stoffen\*) (langsam vermodernden Pflanzenresten), also z. B. beim Durchsickern durch torfigen Boden oder eine dunkelgefärbte Ackererde braun zu färben, was auf der Bildung von später näher zu besprechenden löslichen humussauren Alkali-Verbindungen beruht.

In einer hievon abweichenden Weise wirken die Meteorwässer auf die Mineralien ein, in denen die Alkalien mehr und mehr in den Hintergrund, die alkalischen Erden in den Vordergrund treten, also auf Labrador, Augit und Hornblende und die aus ihnen bestehenden Gesteine.

Hier gibt es kein an sich in Wasser lösliches Spaltungsproduct hinwegzuführen, und desshalb ist die Wirkung des reinen Wassers auf diese Gesteinselemente verschwindend. Hier tritt die Kohlensäure nicht bloss als ein Beförderer des Zerlegungsprocesses dieser Silicate, sondern als der hauptsächliche Veranlasser derselben auf. Das mit Kohlensäure geschwängerte Wasser bewirkt eine Zerlegung in der Weise, dass kohlensaure alkalische Erden entstehen, die z. Th. in weiteren Mengen Kohlensäure gelöst das sich zersetzende Mineral verlassen, z. Th. aber auch zurückbleiben und so die Kieselsäure verhindern, ebenfalls mit in Lösung zu gehen. Diese Zersetzung betrifft aber, wie Analysen halb verwitterter Augite lehren, weit mehr das Kalk-, wie das Magnesia-Silicat, welches letztere im festen Zustande kaum von kohlensäurehaltigem Wasser angegriffen wird.

Der Verwitterungsprocess solcher überwiegend alkalische Erden enthaltender Silicate geht also in dieser Beziehung in ganz anderer Weise vor sich als bei den alkalireichen Feldspathen. Die abfliessenden Wässer sind wenig oder nicht alkalisch reagirend, enthalten im Wesentlichen keine kieselsauren Alkalien, sind sogenannte harte Wässer, da sie in Berührung mit Seife deren Wirkung durch Niederschlagen von fettsauren alkalischen Erden vernichten, und färben sich, durch humusreiche Bodenschichten filtrirt, nicht braun, da die humussauren alkalischen Erden fast unlöslich sind. Die härtesten Wasser freilich entspringen den (sedimentären) Kalkgebirgen. — Der zurückbleibende thonige Rest ist von mehr complicirter Zusammensetzung als in jenem ersteren Falle, da auch im Falle von sehr vollständiger Zersetzung Magnesia-Silicat und, wenn es sich um Augit oder Hornblende handelt, Eisenoxydhydrat der kieselsauren Thonerde beigemischt bleibt.

\*) Genauere Definition derselben weiter unten.

In dieser Weise verläuft also der Verwitterungsprocess bei Mineralien\*) wie Labrador, Augit und Hornblende; nur mit dem Unterschied, dass letztere beiden schon durch den Sauerstoff angegriffen und in ihrem Zusammenhang erschüttert werden, indem Eisenoxydul, das an Kieselsäure gebunden gedacht werden muss, aus diesem Zusammenhang gerissen und in Eisenoxydhydrat übergeführt wird, während der eisenoxydulfreie Labrador lediglich den Einflüssen des mit Kohlensäure geschwängerten Wassers unterliegt. Auf diesen Gesichtspunkt kann freilich nur theilweise die verschiedene Widerstandsfähigkeit dieser Mineralien den Agentien der chemischen Verwitterung gegenüber zurückgeführt werden. Natürlich kommt dann bei der Verwitterbarkeit der einzelnen Gesteine auch deren Feinkörnigkeit, Porosität u. s. w. in Betracht.

Es folgt nun selbstverständlich weiter, dass der hier beschriebene Verwitterungsmodus die Gesteine der zweiten von uns unterschiedenen Gesteinsgruppe betrifft. Harte Wässer von den eben erörterten Eigenschaften werden in den Quellen, die diesen Gebirgsarten, besonders den Diabasen entspringen, zu suchen sein, während u. A. der Syenit, seiner Zusammensetzung entsprechend, sich weniger entschieden auf diese Seite schlägt.

Ueberhaupt darf man auch bei Betrachtung dieser Verhältnisse nicht vergessen, dass in der Natur sich keine ganz scharfe Grenze ziehen liess zwischen den kieselthon-alkalischen Gesteinen und kiesel-eisen-kalkigen Gesteinen, dass die ersteren stets alkalische Erden, wenn auch in zurücktretender Menge, dass die letzteren Alkalien oft in bedeutenden Mengen enthalten, und so ist das eben Gesagte auch stets nur relativ richtig.

Im Uebrigen sind die Angaben der Mineralogen über den näheren Chemismus der Verwitterung noch so ungenügend\*\*) die experimentelle Bearbeitung fehlt noch an so vielen Orten, und überhaupt ist die einschlagende Litteratur so schwierig zu übersehen, dass ich es nicht für geboten halten kann, für unsern Zweck weiter auf diesen Gegenstand einzugehen. Zu erwähnen ist nur noch, dass eine mässig erhöhte Temperatur, wie bei vielen andern chemischen Processen, so auch bei der chemischen Verwitterung eine grosse Rolle spielt, also dass in heissen Klimaten dieselbe mit grösserer Schnelligkeit vor sich geht\*\*\*).

Mit Hülfe der nun bekannten Thatsachen sind wir aber im Stande, uns eine ziemlich zutreffende Anschauung zu bilden von der Wirksamkeit der verschiedenen

---

\*) Vergl. über die Verwitterungsfähigkeit verschiedener Gebirgsarten Fraas: Grundzüge des landw. Pflanzenbaues 1857, p. 6. — Umfassende Verwitterungsversuche namentlich mit kohlensäurehaltigem Wasser und Lösungen von Ammoniaksalzen sind von Dietrich (vergl. Journ. f. pr. Chemie, Bd. 74, p. 129) angestellt worden; ebenso an Ackererden von Knop und dessen Schülern (siehe Kreisl. d. Stoffe II. p. 189). Speciell über die Verwitterung von Hornblende vergl. Rogers bei Bischoff a. a. O. I. p. 210.

\*\*) Eine neue Arbeit von Lemberg: Ueber Silicatumwandlungen (Dorpat 1877) gibt ungewöhnlich viel neue chemische Details und ist des eingehenden Studiums der Agrikulturchemiker sehr würdig.

\*\*\*). Vergl. hierüber die Angaben von Reisenden, z. B. v. Bibra (Reise in Südamerika 1854, p. 118 u. 136) für die Umgegend von Rio de Janeiro.



Verwitterungsmomente. Den mechanischen Kräften, welche zur Zertrümmerung einer an die Atmosphäre grenzenden Felsschicht beitragen, konnten wir *an sich* keine grosse Bedeutsamkeit zuerkennen. Im Verein jedoch mit den nun erörterten chemischen Zerstörungskräften werden sie etwas viel Erheblicheres leisten können. Da die Massengesteine fast sammt und sonders aus einem Gemische sehr verschieden-gearteter Gesteinselemente bestehen, und diese verschiedenen, die Gesteine constituirenden Mineralien in sehr verschiedenem Grade der Verwitterung zugänglich sind, manche sogar derselben beinahe absoluten Widerstand leisten, so bietet, wenn durch die chemischen Kräfte der Atmosphäre einzelne Gemengtheile zu Staub zertrümmert sind, ein so durchhöhltes Gestein nun auch den mechanischen Kräften grössere Angriffsflächen dar. In dieser Hinsicht muss denn namentlich der vorhin schon berührten Kraft des beim Gefrieren sich ausdehnenden Wassers in den gemässigten und kalten Klimaten eine Rolle zugeschrieben werden.

So sehen wir, je nach der ausserordentlich verschiedenen Widerstandsfähigkeit der einzelnen Gesteine, über die sich Allgemeines kaum aussagen lässt, in früherer oder späterer Zeit eine Verwitterungsschicht sich bilden, und schon durch diese Verhältnisse allein wird sich eine Art von Nährboden für manche Gewächse, wenn auch noch nicht sofort eine fruchtbare Ackererde bilden, es sei denn, dass secundäre Umstände hinzutreten, welche die kaum gebildete Schicht sofort nach ihrer Entstehung wieder hinwegnehmen.

Dieterich hat die geschilderten Verhältnisse empirisch bei verschiedenen Gesteinsarten zu ermitteln gesucht, indem er gleiche Mengen grösserer Gesteinsbrocken in Kästen 2 Jahre lang den natürlichen Verwitterungsmomenten aussetzte und die Veränderung in der Form von gebildeter Feinerde und Gesteinsstückchen constatirte. Er fand hierbei\*)

|                               | Feinerde.                         | Kleine Steine.                  |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| wenn er Sandsteine verwendete | 2,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> , | 8 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> , |
| „ Buntsandsteine „            | 2,5 „                             | 49 „                            |
| „ Muschelkalk „               | 0,8 „                             | 9 „                             |
| „ Basalt „                    | 0,6 „                             | 1 „ .                           |

Die Verwitterungsschicht wird aber je nach dem Gestein, aus dem sie entstand, auch sehr verschiedene Eigenschaften haben. War Granit das verwitternde Muttergestein, so hat sich die chemische Veränderung fast ausschliesslich auf das feldspathartige Gesteinselement bezogen; Glimmer und Quarz sind nahezu chemisch intact geblieben und nur durch das auswitternde Verbindungsmaterial aus ihrem Zusammenhang gerissen worden und finden sich als unveränderte Gesteinsfragmente in der Verwitterungsschicht. — Der zersetzte Feldspath aber, aus dessen Elementen im Wesentlichen die Feinerde der so gebildeten Schicht besteht, wird je nach seiner mehr oder weniger weit gegangenen Zersetzung sich dem reinen Kaolin mehr oder weniger nähern, nur Spuren von Alkalien, oder dieselben noch in reichlicher Menge enthalten; er wird ferner je nach der Betheiligung von viel oder wenig Kohlensäure bei dieser Verwitterung, mehr oder weniger feine Kieselsäure enthalten, welche andere

\*) Citirt in Detmer's Bodenkunde 1876 p. 90.

Basen, die in der Umgegend verhanden sind, festzuhalten geeignet ist. Die Erfahrung lehrt, dass selbst dem äusseren Anschein nach schon völlig in eine weisse thonische Masse übergegangener Feldspath noch häufig sehr viel Alkalien in sich enthält. Bemerkenswerth ist das sehr verschiedene Verhalten von Natron und Kali bei diesem Auswaschungsprocesse, da durch dasselbe die Fruchtbarkeit einer durch eine solche Verwitterung entstehenden Bodenschicht bedingt erscheint. Wie der Natron-Feldspath viel leichter verwitterbar ist wie der Kali-Feldspath, so wird nachweisbar ein krystallinisches Gestein, das Kali und Natron nebeneinander enthält, viel schneller an Natron beraubt wie an Kali\*) \*\*). Da letzteres ein in erheblichen Mengen erforderliches Pflanzennahrungsmittel ist, ersteres aber jedenfalls für alle practischen Betrachtungen als solches ganz und gar vernachlässigt werden kann, so ist dies sehr verschiedene Verhalten beider sonst so ähnlichen Metalloxyde von grosser Wichtigkeit. Wir werden auf dies verschiedene Verhalten beider Alkalien bei Erläuterung der Eigenschaften der fertig gebildeten Ackererde noch ausführlich zurückkommen.

In ähnlicher Weise, nur mit den schon ausführlich hervorgehobenen Unterschieden, wird der gleiche Bildungsprocess einer Verwitterungsschicht auch bei anderen Gesteinen vor sich gehend gedacht werden müssen. Die schwer angreifbaren Gemengtheile bilden die groben Einschlüsse einer Feinerde, welche letztere ausschliesslich aus den chemisch umgewandelten und dabei ihres Zusammenhangs beraubten Gesteinselementen besteht. Diese eingebetteten, noch unangegriffenen Gesteinselemente sind nun je nach der Gebirgsart, aus welcher die Verwitterungsschicht gebildet wurde, sehr verschiedener Natur. Sie können ebensogut wie Quarz und Glimmer auch Labrador, Hornblende, ja sogar Kali-Feldspath sein, wenn diese mit leichter zersetzbaren Mineralien zusammen eine Felsart gebildet hatten, und je nach der Beschaffenheit dieses der Feinerde eingebetteten Gruses wird die Bodenschicht noch einer weiteren Verwitterung ausgesetzt sein, oder die Umwandlung wird für die einmal vorhandene Schicht als nahezu beendet angesehen werden können. Es kann gesagt werden, dass die Mehrzahl auch der schon lange von Pflanzen bestandenen und in Kultur stehenden Böden noch derartige unverwitterte, aber verwitterbare Elemente in sich enthält und gerade aus diesem Gesichtspunkte ist so die allbekannte Erfahrung zu erklären, dass häufig nur ein so kleiner Theil des analytisch nachgewiesenen Bodenreichthums für den Pflanzenbau verfügbar erscheint.

Wir können aus dieser ganzen Darstellung zur Genüge ersehen, dass schon die

---

\*) Dies beweisen z. B. sehr deutlich die vergleichenden Analysen verwitterter und unverwitterter Phonolithe von v. Rath (citirt von Knop), Bischoff: Lehrbuch. 2. Aufl. Bd. 3, p. 370. Vergl. auch E. Wolff: Die wichtigeren Gesteine Württembergs etc. III. pag. 14; ferner Breitenlohner: Fühlings Zeitung 1876 p. 202; endlich Lemberg: Ueber Silicatumwandlung. Dorpat 1877, p. 2 u. 78.

\*\*) Auf diese Weise kann dann auch bei Acceptirung der plutonischen Hypothese der Reichthum des Meeres an Natronsalz erklärt werden, indem die „Urgesteine“ bei Verwitterung und Auslaugung vorzugsweise Natron verloren und so Veranlassung zu kalireicheren secundären Bildungen (vergl. z. B. die Analysen der thonigen Sedimentgesteine auf p. 41), namentlich einer relativ kalireichen Ackererde gegeben hätten.

bisher behandelten Zerstörungsmomente für eine gewisse Bodenbildung genügen. Hunderte von Beispielen lehren, dass die auf die beschriebene Weise sich bildende Verwitterungsschicht für das Gedeihen einer wenn auch kleineren Reihe von Gewächsen genügt. Wir sehen diejenigen unserer Gebirge, welche ganz und gar aus den bisher betrachteten Gesteinsarten bestehen, über und über bewaldet, mit Ausnahme der Stellen, wo, wie an steilen Felswänden, der Regen und die Sturzbäche die dünne Verwitterungsschicht immer wieder von Neuem losspülen, wo keine Anhäufung der Verwitterungsmasse möglich ist; und wenn auch zugegeben werden muss, dass die ursprüngliche rein mineralische Verwitterungsschicht wegen ihrer Stickstoffarmuth und des Mangels an verwesenden organischen Substanzen für die meisten Gewächse anfangs ein wenig zuträglicher Nährboden ist, auf dem eine üppige Entfaltung derselben nicht möglich erscheint, so ist doch leicht zu ersehen, wie wir später weiter auszuführen haben werden, dass ein solcher Boden bloss durch den Umstand, einmal von den Pflanzen occupirt zu sein, an Fruchtbarkeit mehr und mehr zunehmen muss, da die sich anhäufenden Reste abgestorbener Pflanzen gerade jenen Stickstoffreichthum und die andern erwähnten Vortheile herbeiführen. Für die anspruchsvolleren Pflanzen muss dann immer eine Besitzergreifung des Terrains durch andere, weniger begehrlche gedacht werden, die durch ihre Leichen den Boden zubereiteten für ihre vornehmen Nachfolger.

Nun ist aber in Wirklichkeit die Sachlage nicht ganz so, wie wir sie uns eben gedacht haben. Die Oberfläche der Erde ist grossentheils nicht so beschaffen, dass immer das eintreten könnte, was wir uns bisher vorgestellt haben. Bedeutende Erhebungen über die grossen Ebenen und das Weltmeer sind an den verschiedensten Punkten unseres Planeten vorhanden, und diese Erhebungen, in Bezug auf deren Entstehungsweise sich wieder die Anschauung der verschiedenen geologischen Richtungen schroff entgegenstellen, sind jedenfalls in ähnlicher Weise durch die vergangenen Erdepochen hindurch schon dagewesen und haben in diesen genau dasselbe zur Modification der Bodenbildung und neuen Gesteinsbildungen auf Kosten des verwitterten Materials jener krystallinischen Gebirgsarten beigetragen, was wir nun für die Zustände der Gegenwart ins Auge zu fassen beabsichtigen. Dieser Zustand der ausserordentlichen Terrainverschiedenheiten, wie wir ihn an vielen Stellen unserer Erdoberfläche, in den sogenannten gebirgigen Gegenden, beobachten, wirkt nun einerseits in der Weise auf die Bildung der Verwitterungsschichten ein, dass losgelöste Trümmermassen an abhängigen Orten Gelegenheit haben zum Hinabstürzen, und wenn dies geschieht, so eine Ursache zu ihrer weiteren mechanischen Zerkleinerung gegeben ist, dass ferner solche herabgestürzten Trümmermassen ganz besonders durch ihre Gestalt hinlänglich gekennzeichnete Stellen der Erdoberfläche, nämlich die steilen Gebirgswänden nahegelegenen Terrainfalten und Einschnitte ausfüllen müssen, wie wir dies ja häufig zu beobachten Gelegenheit haben.

Aber dieses Verhalten allein würde die Sachlage, wie wir sie bisher betrachtet haben, noch nicht wesentlich abzuändern im Stande sein. Es wäre allerdings durch das Zerschellen beim Herabfallen für manche Stellen der Erde ein neues Moment zur mechanischen Zertrümmerung der einmal losgelösten Gesteinsmassen gegeben, und die Verwitterungsschichten würden sich ausserdem nicht immer genau am Orte

ihrer Entstehung befinden, nicht überall genau ihrem Muttergesteine aufgelagert sein. Im Grossen und Ganzen wäre doch die Sache dieselbe. In unsern abfliessenden Wässern würden sich nur die bei der Verwitterung in Lösung übergegangenen Substanzen befinden und dieselben, so wie die Meere, in die sie das gelöste Material verschleppen würden, könnten keine anderen Ablagerungen bewirken als solche, die sich durch Wechselwirkung verschiedenearteter Verwitterungswässer oder dieser auf andere Gesteinsarten, oder endlich in Folge der Verdunstung aus ihnen ausscheiden würden.

Dieser Hinweis genügt, um darauf aufmerksam zu machen, in welch' anderer Weise noch die Terrainverschiedenheit thatsächlich auf der Erdoberfläche auf den Gang der geologischen Umformungsprocesse einwirkt. Derselbe zeigt deutlich, dass es die *mechanische Kraft des fallenden und fliessenden Wassers* ist, die durch jene Terrainverschiedenheit zur Geltung kommt, und in der ein sehr mächtiges Umformungsmoment erkannt werden muss. Als Zertrümmerungsmittel von sehr ausgezeichneter Wirksamkeit müssen neben dem tropfbar flüssigen Wasser auch die Gletscher betrachtet werden, die in früheren geologischen Perioden noch von weit ausgedehnter Bedeutung waren als jetzt; — ich erinnere an die durch Gletscher verschleppten, weit zerstreuten Findlingsblöcke, an den diluvialen Kies Hollands, der sich z. Th. selbst auf norwegische Gesteine zurückführen lässt. \*) Die Arbeiten, die dabei geleistet werden, lassen sich natürlich auf dieselben Gesichtspunkte zurückführen wie bei denen des flüssigen Wassers.

Das durch meteorologische Vorgänge regelmässig aus dem Wassergas der Atmosphäre verdichtete tropfbar flüssige Wasser\*\*) fällt ebenso auf Gebirge wie auf die Ebenen des festen Landes und wie in das Weltmeer selbst nieder. Die ganze Menge von Wasser, die von der festen Erdoberfläche nicht durch Verdunstung wieder direct oder unter Beihülfe der Pflanzenwelt an die Atmosphäre abgegeben wird, eilt je nach der Neigung des Terrains mit grösserer oder geringerer Hast dem tiefegelegenen Weltmeer zu, um von dort aus zu verdunsten und sich von Neuem zum Wiederantritt des gleichen Wegs anzuschicken. Die Kräfte, die diesen continuirlichen Kreislauf unterhalten und so die Ursache sind zu allen den mechanischen Leistungen, die das fallende Wasser hervorzubringen im Stande ist, haben wir schon früher einmal hinsichtlich ihres Ursprunges\*\*\*) geprüft. Es ist auch hier wieder die Bestrahlung durch die Sonne, welcher wir die ins Spiel kommenden Arbeiten zu verdanken haben, und die so indirect an dem Zerstörungswerk der festen Erdkruste Theil nimmt.

Die Meteorwässer fallen mit einer gewissen Wucht auf die höher gelegenen Gebirge auf, spülen dort an den steilen Abhängen†) die Verwitterungsschicht mit

\*) Vergl. in dieser Beziehung Staring: De bodem van Nederland.

\*\*) Ueber die Bildung von Verwitterungsschichten in regenlosen Ländern (Manilla) vergl. Bibra: Reise in Südamerika 1854 II. p. 211.

\*\*\*) Siehe die fünfte Vorlesung.

†) Ueber die Gewalt des fallenden Wassers gibt die Wirksamkeit grosser Wasserfälle auf die Gesteinsunterlage den besten Aufschluss. Diese wirken gleich einer Säge einschneidend auf ihre Unterlage, und in Folge dessen soll z. B. der Niagarafall in 40 Jahren je 1 Fuss zurück rücken.

sich fort, sammeln sich in anfangs kleinen, aber durch Vereinigung immer grösser werdenden Rinnsalen an, stürzen als wilde Bäche die Schluchten hinab, eine Unzahl mineralischer Trümmer grösserer und kleinerer Art mit sich fortreissend. Grosse Schuttmassen sammeln sich in den Gebirgstälern an, um gelegentlich wieder weiter geschleppt zu werden. Die wilden Gebirgsbäche vereinigen sich später zu grösseren Flüssen und Strömen, welche auf einem minder abschüssigen Terrain mit einer minder grossen Geschwindigkeit dahineilen, aber immer noch Trümmern auf dem Grunde mit sich fortführen und eine sehr grosse Menge des Verwitterungsmaterials in Suspension enthalten, um schliesslich alle diese Massen dem Meere einzuverleiben.

Aber nicht bloss die grossartige Verschleppung der losgelösten Gesteinsfragmente auf so weite Strecken hin haben wir dem fallenden Wasser zuzuschreiben, sondern in ganz ausserordentlich grossem Massstab auch die mechanische Zerkleinerung des mit fortgerissenen Trümmersmaterials durch Reibung der Bruchstücke an einander\*). Man braucht nur die runden sogenannten „Kiesel“ zu betrachten, wie wir sie in unsern Flüssen finden, um von dieser mechanischen Zerkleinerung eine Vorstellung zu gewinnen. Selbst die härtesten Gesteinsfragmente wie der Bergkrystall sehen wir schon in den Gegenden des Oberrheins zu kugelrunden „Rheinkieseln“ abgeschliffen. Wenn man bedenkt, wie viel Procent des Gewichts eines ganz beliebig geformten Bruchstücks in Gestalt von staubförmigem Material abgeschliffen werden musste, um zu diesen durchweg rundlichen Formen zu gelangen, so wird man ein ungefähres Bild haben von der Pulverisirungskraft des dahinfließenden Wassers.

Auf solche Weise werden dann alle Orte, wohin das fließende Wasser gelangt, also das ganze Ueberschwemmungsgebiet der so vielfach in geologischen Zeiten ihr Bett ändernden Flüsse und Bäche und der Grund des Weltmeeres mit den weggeschwemmten Trümmern überführt, und aus diesem Gesichtspunkte muss die Entstehung aller geschichteten Steine, muss die ganze Bildung von Boden, der nicht auf seinem Muttergestein aufliegt, erklärt werden.

Allein der wichtigste Gesichtspunkt, der für diesen ganzen Vorgang festgehalten werden muss, ist die *verschiedene Aufschlammbarkeit der einzelnen Trümmerteile, der einzelnen mechanischen und chemischen Verwitterungsproducte*. Aus diesem allein erklärt sich die ausserordentliche Mannigfaltigkeit der Zusammensetzung und Eigenschaften der Flötzgebirge sowohl wie des angeschwemmten Bodens.

Ob irgend ein Körper, der wie alle Mineralien specifisch schwerer ist als das Wasser, von diesem dennoch gehoben und mit sich fortgeführt werden kann, dies wird wesentlich abhängig sein *von dem specifischen Gewicht dieses Körpers, vom Verhältniss von dessen Oberfläche zu dessen Inhalt und von der Schnelligkeit der Bewegung des Wassers*. Aehnliche Verhältnisse werden auch für das Rutschen von Körpern am Grund eines bewegten Wassers massgebend sein, nur dass hiezu

---

\*) In manchen Flüssen, die mit grosser Geschwindigkeit aus einem felsigen Terrain kommen, kann man, wie im Rhein zu Basel, beim Untertauchen ein deutliches Klirren des aneinander sich reibenden Kieses vernehmen. Die Reibung hat wieder, wie Daubrée gezeigt hat, einen Einfluss auf die chemische Zersetzung der betreffenden Mineralien; vergl. Compt. rend. T. 44. p. 997 u. T. 64. p. 339.

im Allgemeinen geringere lebendige Kräfte des bewegten Wassers genügend sind. — Dies behauptete Verhalten ist durch Versuche leicht anschaulich zu machen, ist aber auch theoretisch leicht verständlich, wenn wir uns überlegen, von welchen Kräften es allein abhängen kann, ob ein Körper, der ein höheres specifisches Gewicht besitzt als Wasser, in diesem am Untersinken gehindert wird. Offenbar muss, damit der erlangte Effect resultirt, die Differenz zwischen der Schwerkraft des suspendirten Körpers und des von ihm verdrängten Wassers eine kleinere Kraft repräsentiren als die Reibung, die er in der Richtung des Falls am Wasser erleiden müsste. Erstere Differenz ist nun allein abhängig vom Gewicht des Körpers, die Reibung von der Geschwindigkeit des bewegten Wassers und von der Grösse der Reibungsfläche. Diese letztere ist aber nur bedingt von der absoluten Grösse oder Kleinheit des aufgeschwemmten Körpers, und ein kleiner Körper hat bekanntlich bezogen auf die Einheit des Inhalts oder des Gewichts eine viel grössere Oberfläche als ein Körper von grösserem Volum. (Ausserdem besteht natürlich eine solche Abhängigkeit von der Gestalt der suspendirten Körperchen, worauf wir als einen untergeordneten Gesichtspunkt nicht näher einzugehen brauchen.) So kommt man zu dem für die Bildung von mineralischen Ablagerungen aus bewegten Wässern sehr wichtigen Satz, dass *die Aufschlammbarkeit eines Körpers um so vollkommener sei, je bewegter das verwendete Wasser, je kleiner seine Bruchstücke und je specifisch leichter derselbe ist.*\*)

Das specifische Gewicht der einzelnen Gesteinselemente, mit denen wir es bei der Verschwemmung des Verwitterungsmaterials zu thun haben, ist daher von einigem Interesse für uns. Das specifische Gewicht dieser Mineralien ist im Durchschnitt mehrerer Bestimmungen\*\*):

Mineralien der Massengesteine. Mineralien secundären Ursprungs.

|            |           |                     |             |
|------------|-----------|---------------------|-------------|
| Quarz      | = 2,66    | Kalkspath           | = 2,7       |
| Orthoklas  | = 2,55    | Dolomit             | = 2,8—2,9   |
| Oligoklas  | = 2,65    | Thon bei 100° getr. | = 2,5       |
| Labrador   | = 2,7     | Kaolin              | = 2,2       |
| Glimmer    | = 2,8—3,1 | Gyps                | = 2,26—2,4. |
| Augit      | = 2,9—3,5 |                     |             |
| Hornblende | = 2,9—3,4 |                     |             |

Es ist aus vorstehender kleinen Zusammenstellung\*\*\*) deutlich zu ersehen, dass die hauptsächlichsten Gemengtheile der Urgebirgsarten keine allzu verschiedenen specifischen Gewichte haben. Quarz und die verschiedenen Feldspathe, einschliesslich des Kalkfeldspaths, des Labradors wiegen fast einerlei. Etwas schwerer ist der Glimmer, noch etwas schwerer Augit und Hornblende.

\*) Vergl. auch Schöne: Ueber Schlämmanalyse etc. 1867. p. 1.

\*\*) Die mitgetheilten Zahlen sind entweder Durchschnittszahlen der Girard'schen „Bodenkunde“ oder Naumann's Mineralogie entnommen.

\*\*\* Mit derselben befinden sich directe Bestimmungen specifischer Gewichte von Ackererden in genügendem Einklang. Man giebt z. B. (vergl. Mulder: Chem. der Ackerkrume B. III. p. 363) folgende Zahlen an: Quarzboden = 2,75. Thonboden = 2,60. Kalkboden = 2,85. Gartenerde = 2,35. Humose Erde = 1,25.

Nun ist aber die chemische Veränderung bei der Verwitterung zu berücksichtigen. Für das Endproduct der Feldspathverwitterung, den Kaolin, wird zwar ein erheblich niedrigeres specifisches Gewicht angegeben als für das ursprüngliche Mineral; allein wenn man die entstandene thonige Masse scharf trocknet, so fallen die Unterschiede nicht so gar erheblich aus. Immerhin kann man sagen, dass das Verwitterungsproduct der feldspathartigen und anderer verwitterungsfähigen Silicate ein geringeres specifisches Gewicht hat als das Verwitterungssubstrat.

Ein gewisser, wenn auch nicht sehr bedeutender Unterschied der specifischen Schwere ist also für die einzelnen Gemengtheile der Verwitterungsschichten der Massengesteine vorhanden. Allein hierdurch würde noch keine sehr erhebliche Verschiedenheit in der Aufschlammbarkeit jener einzelnen Gemengtheile bewirkt werden; und es ist von ganz wesentlicher Bedeutsamkeit für diese Verschiedenheit, dass die *Grösse* der Theilchen der einzelnen mineralogischen Elemente der Verwitterungsmassen nothwendig eine sehr verschiedene sein muss. —

Ein Theil dieser Elemente sind die unveränderten, der chemischen Verwitterung nicht zugänglichen krystallinischen Bestandtheile der ursprünglichen Gesteine. Diese haben, während sie der ruhig sich bildenden Verwitterungsschicht angehörten, kaum irgend eine Zerkleinerung erfahren und sind in ihrer ursprünglichen Grösse noch in dieselbe eingebettet. Wenn die ganze Schicht von einem heftig bewegten Wasser losgelöst und mit fortgerissen wird, so können diese gröberen Stücke nur nach und nach durch die Kraft des bewegten Wassers langsam abgeschliffen, nicht eigentlich zertrümmert werden, und es wird je nachdem immer ein gröberer oder feinerer Grus oder Sand übrig bleiben, der als solcher mit fortgeführt wird.

Ganz anders ist es mit den chemisch veränderten Theilen der Verwitterungsmasse. Bei diesen hat eine so feine Pulverisirung durch die chemischen Kräfte stattgefunden, wie sie durch mechanische Mittel kaum zu erreichen ist; denn wenn sich eine solche chemische Umwandlung an einem festen Körper vollzieht und das Umwandlungsproduct ist amorpher Natur, wie in dem uns vorliegenden Falle der Silicatverwitterung fast ausnahmslos, so ist die gleichzeitige feinste Zertheilung des sich verändernden Körpers eine der nothwendigen Folgen des chemischen Processes. Wir haben es also in den bei der Verwitterung der Feldspathe, der Augite etc. entstehenden thonigen Massen mit Theilchen von äusserster Feinheit zu thun; und diese Eigenschaft ist es, welche die Aufschlammbarkeit der chemischen Verwitterungsmasse so ausserordentlich über die der blossen mechanischen Trümmer setzt. Ausserdem kommen für das Schwebenbleiben der feinsten Theile auch noch andere Momente als die bis dahin betonten in Betracht, nämlich noch die Capillaranziehungen zwischen jenen und der umgebenden Flüssigkeit. Dass solche Dinge hier von Belang sind, beweist die einfache Thatsache, dass man durch Thon getrübe Wässer rasch durch Zusatz von gewissen Salzen klären kann\*).

---

\*) Vergl. Schlösing: Compt. rend. 1870. Juin 20. W. Ramsay: Naturf. 1876 p. 340; W. Durham. ebenda. 78 p. 112. Weiter meine Abhandlung in Wollny's Forschungen a. d. G. d. Agrikulturchem. Bd. II. p. 251. Der Gegenstand findet seines praktischen Interesses wegen noch weiter unten bei Behandlung der Durchlässigkeit (Vorlesung 31) eine Besprechung.

Mit Kenntniss dieser wenigen, leicht verständlichen Thatsachen lässt sich nun die Wirkungsweise des bewegten Wassers bei der Wegschwemmung der Verwitterungsschichten und bei der wieder vorsichgehenden Ablagerung dieser Schichten ohne weitere Mühe herleiten. Die mit einer grossen Macht hinweggerissenen, in ihrer Aufschlammbarkeit so sehr verschiedenen mineralischen Massen werden in ihrer ganzen bunten Mannigfaltigkeit so lange von einem Wildbach getragen werden, bis die Steilheit des Terrains nachlässt, und das Wasser die Raschheit seines Laufes zu mässigen gezwungen ist. — Hier werden dann die grössten Gesteinstrümmen, noch ganz unverwitterte Felsstücke, oft von sehr bedeutender Ausdehnung abgelagert werden, und es entstehen an ganz bestimmt zu bezeichnenden Orten, da wo eine steile Bergwand plötzlich in eine flachgeneigte Thalsohle übergeht, Trümmerhaufen, sogenannte „Schuttkegel“. Man wird sich in diesen Gesteinshaufen, deren Fragmente meistens noch keine erhebliche Abrundung erfahren haben, vergeblich nach grösseren Mengen eigentlichen Kiesel, von Sand oder gar von chemischen Verwitterungsproducten umsehen. Alles dies wird von dem rasch fliessenden Bach noch weite Strecken mit fortgenommen, um an ruhigeren Orten abgelagert zu werden.

Je mehr aber nun die Bäche sich im Thale oder in der kaum geneigten Ebene zu ruhiger fliessenden Flüssen vereinigen, um so mehr bleiben auch die grösseren Gesteinsfragmente auf dem Grund der Gewässer liegen und werden nur noch langsam fortgeschoben und nehmen dort die besprochene runde Gestalt an. In wirklicher Aufschlammung bleiben aber ausser jenen thonigen Massen, als die wir ganz allgemein die unlöslichen Producte einer chemischen Verwitterung der Massengesteine bezeichnen können, nur die unterwegs auf mechanische Weise mehr und mehr zertrümmerten Gesteinsreste, die aber noch ihre ursprüngliche mineralogische Form bewahrt haben. Solche feineren Massen\*), die auch noch in ruhiger fliessendem Wasser in Aufschlammung erhalten werden, in stehendem aber sofort niederfallen, werden mit dem Namen „Sand“ in dessen weitester Bedeutung belegt, und dieselben bestehen vorzugsweise aus Quarztrümmern, aus den Resten jener quarzhaltigen Gebirgsarten, wie Granit, Gneiss, Glimmerschiefer und Porphyr, aber auch gelegentlich aus andern Mineralien, die gleichfalls der Verwitterung mehr oder minder schwer zugänglich sind, wie Glimmerblättchen, die dem Quarzsand sehr häufig und namentlich, wo er aus Gneiss und Glimmerschiefer sich gebildet hat, beigemengt sind, wie Labradorstückchen, selbst zertrümmertem Feldspath und vielen andern Mineralien, wenn diese der chemischen Verwitterung sich entzogen haben. Der Sand der norddeutschen Ebene ist an vielen Orten ein wahrer Feldspathsand, und ebenso gibt es ganz eigentlichen Labradorsand. Der Kiesel sand wiegt indessen vor, nicht bloss wegen seiner relativen Unverwitterbarkeit, sondern auch, weil er bei der mechanischen Zertrümmerung als das härteste unter den gewöhnlichen Mineralien am wenigsten zur Staubfeinheit zermalmt wird.

Gegen die Mündungen der Flüsse hin, wo die Wässer sich mehr und mehr

\*) Vergl. über den Gehalt von verschiedenen Flüssen an aufgeschlammten Bestandtheilen v. Seilern: Pflanzenernährungslehre etc. 1865, p. 54; Bischoff: Lehrb. d. Geol. 2. Aufl. II. p. 497 u. f.



beruhigen, werden nun auch grosse Mengen von Sand fallen gelassen, und nur die chemischen Verwitterungsproducte, die thonigen Theilchen, die nicht sowohl wegen ihres specifischen Gewichtes, als vielmehr wegen ihrer ungemein feinen Vertheilung einer sehr bedeutenden Aufschlammbarkeit sich erfreuen, werden mit einiger Vollständigkeit in das Meer gelangen, während die noch übrigen gröberen Trümmer zur Versandung der Flussmündung, zur sogenannten Deltabildung, Veranlassung geben, wie sie auch schon im oberen Flussgebiete durch Verkiesung und Versandung des einmal ausgehöhlten Bettes die Stromschlingenbildung und den häufigen Wechsel des Strombetts bewirken.

Zum Niederschlagen der eigentlich chemischen Verwitterungsproducte ist eine ausserordentliche Ruhe der Gewässer erforderlich. — Die Verhältnisse, die das Meer an den Küsten zeigt, die Ablagerungen und Anschwemmungen, die es daselbst bewirkt, erleichtern ausserordentlich das Studium der Bedingungen des Niederfalls dieser feinsten Partikelchen im Vergleich mit dem Sande. Ich möchte an die Umstände der Kleybodenbildung und andererseits der Dünenbildung an der Küste der Nordsee erinnern. — Wie wird z. B. dort das Meer zur Bildung der sogenannten Marschen, jenes thonigen Bodens von ausserordentlicher Fruchtbarkeit gebracht? — Die Sache ist ziemlich einfach. Man wählt vor Wind und Wellenschlag geschützte Stellen aus, wo das Meer schon an sich Neigung zeigt, neuen Boden abzusetzen\*) und begünstigt nun die Bildung von Niederschlägen durch alle möglichen Hindernisse, welche man dem bei der Ebbe abziehenden Wasser in den Weg legt. Die Hauptrolle bei diesen Hindernissen spielen senkrecht ins Meer hinauslaufende Fangdämme, je einige hundert Meter von einander, sodann kleine, häufig erneuerte Gräben, deren Hauptrichtung senkrecht ist zur Richtung des abfliessenden Wassers, also im allgemeinen parallel mit der Küste, die durch Anschwemmung vergrössert werden soll. Dadurch ist das abfliessende Wasser gezwungen, viele Umwege zu machen und in Folge dessen seinen Fall zu vermindern, seinen Lauf zu verlangsamen, und so ist Gelegenheit gegeben zu einem reichlichen Absatze von feinem Schlamme\*\*), welcher letztere eben dadurch auch besser abtrocknet und dann nicht so leicht neuerdings der Aufschlammung unterliegt. Erst wenn der Boden eine Höhe erreicht hat, wie es für die nöthige Entwässerung erwünscht erscheint, schreitet man zur eigentlichen Eindeichung\*\*\*).

Dicht neben dem Orte, wo wir den eben geschilderten Process, welchen die Menschen dem Meere abgesehen und ihn zu ihrem Nutzen nachgemacht haben, vor sich gehen sehen, findet nun unter gewissen Umständen aus demselben Meere eine ganz andere Bildung statt. Ueberall an der Küste, wo der Wellenschlag des Meeres ungehinderten Zutritt hat, wie z. B. an dem Badestrande eines Seebads, ist nichts von einem thonigen Schlamm zu sehen, sondern nur ein feiner, durch die gegen-

---

\*) Dies ist namentlich der Fall an Küsten, die der herrschenden Windrichtung abgewendet sind. Die Gründe hierfür sind ausführlich entwickelt bei Reinders: Handboek voor den Nederl. Landbow. 1877. p. 60 u. f.

\*\*) Vgl. über die Bedingungen solcher Ablagerungen Wicke: Journ. f. Landw. 1863, p. 102.

\*\*\*) Als natürliches Hilfsmittel wirken bei dieser Landanschlammung mit die Pflanzen, die sich auf dem neugebildeten Boden ansiedeln, vor allem das Kweldergras *Glyceria maritima*, indem sie eines der allerbesten Hindernisse für das abströmende Wasser darbieten.

seitige Reibung ausserordentlich rundpolirter Sand, den die Wogen bei ihrem Zurückfliessen hinterlassen. Die auch in diesen Wasserwogen suspendirten feineren thonigen Theilchen werden unter diesen Umständen natürlich aufgeschlämmt erhalten und gelangen nicht zum Niederfallen; und so findet denn an all' diesen frei bespülten Küstenstellen, wenn überhaupt die Verhältnisse Ablagerungen günstig sind, Bildung von Sandbänken unter der Oberfläche des Meeres, von Dünen an den über den Meeresspiegel erhabenen Küsten selbst statt, wenn der Wind und die sehr merkwürdigen Vegetationsverhältnisse des Strandhafers zur weiteren Gruppierung der angespülten Sandmassen mitwirken. Unter allen Umständen entsteht so ein reiner Sandboden von ausgezeichnete Unfruchtbarkeit aus demselben Meere, das vielleicht eine halbe Stunde davon jene fetten Kleyböden bildet.

Es ist in der That nichts im Stande, uns ein klareres Bild zu verschaffen über den Charakter der Ablagerung aus bewegtem und ruhigem Wasser als der Anblick dieser Dünen mit ihrer spärlichen Vegetation von Strandhafer und nebenan der eingepolderten Ländereien mit ihren gedeihlichen Oelsaaten, üppigen Weizen- und Flachs-feldern\*), als der Anblick der weiten unbebauten Heideflächen des sandigen Geestlandes, das man nur mit den raffinirtesten Mitteln der Landwirthschaft dienstbar machen kann, und dann der fetten Marschländereien mit ihren üppigen Viehweiden an der Nordseeküste Deutschlands und Hollands — Unterschiede, die ganz allein aus jenem einen Gesichtspunkte hergeleitet werden können.

Aber auch im Binnenlande bemerkt man Aehnliches, wenn auch weniger deutlich ausgesprochen. Für die Ablagerung der Flüsse gilt natürlich dieselbe Gesetzmässigkeit, nur dass diese in der Regel noch grössere Mengen eigentlicher Schuttmassen mit sich führen und selten zu einem Grade der Ruhe gelangen können, dass solche rein thonige Ablagerungen zu erwarten sind. Am Niederrhein z. B., wo der Strom durch seine eigene Deltabildungen dem bequemen Abflusse seines Wassers mannigfache Hindernisse in den Weg legt, wo der Fall ein sehr geringer geworden ist, sind, wie an vielen anderen Strömen von langem Lauf die Bedingungen gegeben zu thönigen Ablagerungen. Denn sobald der Strom, wie es mit grosser Regelmässigkeit in den Wintermonaten zu geschehen pflegt, anschwillt, ergiesst er sich langsam über das umgebende Flachland und kehrt noch langsamer bei fallendem Wasser in seine Ufer zurück. Er hinterlässt hierbei einen thonigen Absatz, gleich geeignet zum Anlegen üppiger Weiden als zur Ziegelbrennerei; und so hoch wird diese natürliche Bodenverbesserung geschätzt, dass man die der Ueberschwemmung ausgesetzten, ausserhalb der Deiche gelegenen Ländereien wohl 50 % höher bezahlt als das Ackerland, welches von Deichen geschützt künstlich durch Düngung mit Pflanzennährstoffen versehen werden muss\*\*).

\*) Angaben über die Fruchtbarkeit der Oldenburg'schen Marschen von Plate (vergl. Preuss. Annal. d. Landw. Monatsh. 1869. X. XI. p. 123); über den Kaligehalt, Phosphorsäuregehalt solcher Ländereien vergl. van Bemmelen: Landw. Versuchsst. 1866, p. 259 und an vielen andern Orten.

\*\*) Der in früheren Auflagen als Beispiel hinzugezogene Löss ist seit den unwälzenden Vermuthungen von Richthofen's über die Natur dieser Bildung ein etwas zweifelhaftes Belegmittel geworden.

Wir treffen dann, von demselben Rheinwasser gebildet, weiter oberhalb, wo der Strom noch steilere Ufer, einen stärkeren Fall besitzt, und zu plötzlichen Ueberschemmungen mehr geneigt ist, übersandete und mit Kies überstreute Ueberschwemmungsgebiete, ja, wenn wir die Producte der Thätigkeit einer etwas älteren geologischen Zeit hinzurechnen, wahre Sanddünen, die sich z. B. auf dem rechtseitigen Ufer (zwischen Karlsruhe und Darmstadt) etwa in der Mitte zwischen dem jetzigen Rheinbette und dem Gebirge hinziehen, auf denen verkrüppelte Kiefern ein spärliches Dasein fristen. Auch hier haben wir es mit Ablagerungen aus einem und demselben Wasser zu thun, aber unter sehr verschiedenen Ablagerungsbedingungen.

Genau dasselbe finden wir auch an andern Orten. Man betrachte die oberitalienischen Flüsse, welche von den entwaldeten Bergen in der Regenzeit mit ungeheurer Raschheit herniederstürzen, wahre Felsblöcke mit sich fortführend und in die blühenden Thäler sich ein weites Bett wühlend, welche dagegen in der heissen Jahreszeit zu einem Bächlein zusammenschrumpfen, zu einem Nichts, das in dem Trümmerhaufen des ungeheuren Flussbettes kaum aufgefunden werden kann. Hier sind die Bedingungen nicht gegeben zu einem ruhigen, gleichmässigen Abfließen des gefallenen Wassers; dieses stürzt in kurzer Zeit mit Gewalt herab und kann nur Boden zerstören, keinen neuen aufbauen, es wirft Schuttmassen in die lachenden Thäler und schleppt das feinere Verwitterungsmaterial ins Meer. —

Man vergleiche mit diesen Verwüstungen die Thätigkeit des Nils, da wo er sich über ein breites Delta in unmerklichem Falle in das Meer ergießt. Auch hier periodische Ueberschwemmungen; allein solche von langsamem Kommen, langsamem Gehen und langer Dauer. Das Wasser hat sich schon früher in ruhigem Lauf von allen mechanischen Verwitterungsproducten befreit und lässt nun auf das überschwemmte Aegypten die thonigen Theile niederfallen, und diese physischen Verhältnisse sind es ja bekanntlich, die unter anderm das Ueberschwemmungsgebiet des Nils zu einem der ältesten Kulturländer gemacht haben.

Wir haben so durch genügende Beispiele die Fähigkeit des Wassers erkannt, ein ihm übergebenes Verwitterungsmaterial in eleganter Weise in einzelne Glieder mechanisch zu sondern, und somit haben wir uns eines der wichtigsten neu hinzutretenden Momente der Umformung der Gebirgsarten und der Bodenbildung anschaulich gemacht. Mit Berücksichtigung dieses wesentlichen Momentes wird uns dann die Entstehung der sogenannten neptunischen oder Flötz-Gebirge und ebenso des angeschwemmten Bodens, der von unserem Standpunkte aus nicht von diesen Bildungen getrennt werden darf, rasch verständlich werden. Wir werden so Unterschiede der neugebildeten Gesteins- und Boden-Arten begreiflich finden, die aus jenen zuerst allein berücksichtigten Umbildungsmomenten des Verwitterungsprocesses uns rein unverständlich hätten bleiben müssen.

---

## Sechszwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Flötzgebirge und verschwemmte Böden. — Bodenklassifikation. — Die mechanische Bodenanalyse.

Wir sind nun im Besitz der Kenntnisse, die uns befähigen, die Hauptursachen der Umbildung der krystallinischen Massengesteine in andere Gesteine von sehr abgeänderten Eigenschaften zu verstehen und damit zugleich die Ursachen der mineralischen Zusammensetzung einer weiteren grossen Klasse von Bodenarten.

Das von dem hochgelegenen Festlande nach dem Meere hin continuirlich abfliessende Wasser, dessen treibende Kraft auf die Sonnenwärme in letzter Instanz zurückgeführt werden muss, ist nicht bloss die Ursache der weiteren mechanischen Zertrümmerung vieler gröberen Bruchstücke der durch die vorausgegangene Verwitterung losgelösten Felsmassen, dasselbe spielt vielmehr eine weit hervorragendere Rolle für die aus diesem Materiale entstehenden Neubildungen durch die grossen Wassermassen eigenthümliche Fähigkeit, *einzelne Glieder der Verwitterungsmasse* nach ihren specifischen Gewichten, mehr aber noch nach der Feinheit der einzelnen Theilchen, *von einander abzusondern*.

Wir können nach dem Bisherigen drei solcher Glieder der Verwitterungsmasse, welche sich hinsichtlich ihrer Aufschlammbarkeit ausserordentlich verschieden verhalten, und nach denen bei eintretender Verschwemmung die Sonderung eintreten wird, unterscheiden. — Einmal die gröberen, noch gar nicht in ihre einzelnen Gemengtheile zerfallenen Gesteinstrümmer, die *Schutt- und Kiesmassen*. Diese gelangen jedoch begreiflicher Weise durch die Flüsse nur in seltenen Fällen ins Weltmeer und haben in demselben nicht gar zu häufig zur neuen Gesteinsbildung beigetragen. Der Boden, der direct aus solchen Geröllablagerungen hervorgeht, wird sich durch sein eigenthümliches Gefüge, durch seine Grobporigkeit und völligen Mangel an Feinerde auszeichnen — Eigenschaften, die wir später an sich schon für den Pflanzenwuchs als physikalisch ungünstige erkennen werden. Erst in dem Masse, als die in ihm enthaltenen Gesteinstrümmer der chemischen Verwitterung unterliegen, wird ein brauchbarer Boden aus einem so beschaffenen hervorgehen können. Dies dauert aber in allen Fällen sehr lange Zeit, und es ist noch besonders dabei zu berücksichtigen, dass solche wohl erhaltenen Gesteinstrümmer der Wahrscheinlichkeit nach gerade aus den wenigst verwitterbaren Fragmenten, entweder sehr beständigen Gesteinen wie Gneiss, Glimmerschiefer, oder Gesteinselementen wie Quarzbrocken und dergleichen, die überhaupt sehr unangreifbar sind für die Atmosphärien, bestehen werden, dass ferner selbst die etwa durch die chemische Verwitterung gebildete Feinerde zwischen den Gesteinsritzen rasch durch jeden Regenguss hinweg-

gespült werden muss, und dass endlich, wenn sich auch eine oberflächliche Verwitterungsschicht gebildet haben sollte, doch ein stark „drainirter“ Untergrund mit all' seinen später zu erörternden schädlichen Eigenschaften übrig bleibt. Kurz, man wird so begreifen, dass die Ueberführung eines Feldes mit grobem Gesteinsschutt, wie ihn Sturzbäche mit sich führen, demselben unter allen Umständen auf Jahrzehnte hinaus, vielleicht auf immer seine Fruchtbarkeit rauben muss.

Als zweites mechanisch leicht absonderbares Glied der rohen Verwitterungsmasse muss das fein zertrümmerte und in einzelne mineralogische Gemengtheile getrennte, aber noch nicht chemisch veränderte Material, der *Sand*, unterschieden werden. Derselbe kann, wie schon ausgeführt wurde, aus sehr verschiedenen Mineralspecies bestehen; allein der Quarz nimmt hier, wegen seiner grossen Verbreitung und beinahe absoluten Unangreifbarkeit, eine sehr hervorragende Stelle ein, so dass wir unter Sand in erster Linie immer Quarzsand zu verstehen haben. Der Sand gelangt nun wegen seiner schon viel bedeutenderen Aufschlammbarkeit, und weil er auch auf dem Grund der Flüsse leicht mit fortgeschoben und gerollt werden kann, ziemlich vollständig in das Weltmeer. Dasselbst wird er entweder an geeigneten Orten angeschwemmt resp. angeweht, und dient so z. B. zur Dünenbildung, also zu einer Art von directen Bodenbildung. Oder aber derselbe wird irgendwo in der Tiefe des Weltmeers versenkt und dient dort, wenn ein geeignetes Bindemittel zum Aneinanderkitten der einzelnen Sandkörner vorhanden ist, zur neuen Gesteinsbildung, zur Bildung der *Sandsteine*. Das Bindemittel der Sandsteine, durch welche sich dieselben vom losen Flugsande unterscheiden, kann sehr verschiedener Natur und kieselig, kalkig oder thonig sein, und ist der Erhärtungsprocess dieser in gelöster Form eingedrungenen Substanzen noch sehr wenig aufgeklärt. Jedenfalls hat man sich aber diesen Vorgang als einen der Erhärtung unserer Cemente sehr ähnlichen Process zu denken, d. h. auf der Bildung sehr complicirter Silicate von wenig constanter Zusammensetzung beruhend.

Solche Sandsteine finden wir in der That in sehr grosser Mächtigkeit als Ablagerungsgebilde aller möglichen geologischen Epochen von den ältesten Zeiten an, wo die silurischen Schichten abgesetzt wurden, bis in der Jetztzeit sehr naheliegende Gruppen, als sicheres Zeugniß dafür, dass durch all' diese grossen Zeiträume ein und derselbe Zerstörungsprocess in gleicher Weise vor sich gegangen ist, dass in allen diesen Perioden die Verschwemmung und Absonderung der unverwitterbaren Gesteinselemente und endlich deren Ablagerung in analoger Weise stattgefunden hat.

Es ist hierbei kaum daran zu erinnern nöthig, dass der Grund dafür, dass wir jene Meeresbildung, wie die Sandsteine und die nachher zu besprechenden anderen Flötzgebirgsarten heute überall als Gebirgsstöcke mitten im Festlande antreffen, einfach in den mannigfachen Gestaltungsveränderungen, die unsere Erdoberfläche durch geologische Zeiträume hindurch erlitten hat, zu suchen ist. Als Ursache freilich dieser Gestaltungsveränderungen, die sich kurzweg als Hebungen und Senkungen ausgedehnter Länderstriche bezeichnen lassen, werden von den beiden sich gegenüberstehenden geologischen Richtungen sehr verschiedene Dinge angegeben. Die herrschende plutonistische Richtung erklärt einfach die Hebung aus Reactionen des heissen Erdinnern auf die oberflächliche kalte Kruste und glaubt, dass diese er-

starrte Kruste beim Anpassen an den immer kühler werdenden und sich fort und fort zusammenziehenden Kern wie ein zu weit gewordenes Kleid auf einem abgemagerten Körper *Falten werfe* und so die vielfachen Verbiegungen und Terrainverschiebungen hervorrufe, welche wir zur Erklärung der Hebung der geschichteten Gesteine nothwendig annehmen müssen. Nach dieser Auffassung, der wir hier die neptunistische entgegensetzen unterlassen, mag man sich die Sache vor sich gehend denken, da es uns hier nur darum zu thun ist, die *Thatsache* jener vielfachen Veränderungen der Erdoberfläche, in Folge deren die Meere fortwährend ihre Bassins der Lage und Gestalt nach verändert haben, im Auge zu behalten.

Der Sandstein hat nun je nach der Beschaffenheit seines Bindemittels und je nach den gelegentlichen Beimengungen, die er bei unvollkommener Sonderung von anderen Verwitterungsproducten in sich aufgenommen hat, eine sehr verschiedene Zusammensetzung und braucht, wie folgende Analysen lehren, durchaus nicht wesentlich aus reiner Kieselsäure zu bestehen.

|                    | Buntsdt. *)<br>(Neuenbürg) | Buntsdt. **)<br>(Eichsfeld) | Grünsdt.<br>(Westphalen) | Liassdt.<br>(Franken) | Molassesdt.<br>(Oberbayern) |
|--------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Kieselsäure        | 84—92 %                    | 98,5 %                      | 60,3 %                   | 75,0 %                | 74,8 %                      |
| Thonerde           | 4—8 „                      | 0,8 „                       | 4,9 „                    | —                     | 1,5 „                       |
| Eisenoxyd (oxydul) | 1,5—4 „                    | 0,5 „                       | 7,1 „                    | 7,7 „                 | 1,9 „                       |
| Kalk               | 0,9 „                      | —                           | 14,0 „                   | 5,0 „                 | 11,5 „                      |
| Magnesia           | 0,2 „                      | 0,24 „                      | 1,3 „                    | 1,5 „                 | —                           |
| Kali               | 2—3 „***)                  | —                           | 1,1 „                    | —                     | —                           |
| Natron             | 0,1—0,5 „                  | —                           | —                        | —                     | —                           |

Man bekommt durch diese Analysen einen ungefähren Ueberblick über die vorkommenden Variationen der Zusammensetzung der verschiedenen Sandsteine. Man darf übrigens auch hier wieder nicht glauben, dass von denjenigen Bestandtheilen, die in den Gesteins-Analysen gewöhnlich übersehen sind, wie z. B. Kali, Phosphorsäure, nun auch nicht einmal Spuren vorhanden seien. Es gilt hierfür, was ich schon früher für das Vorkommen der Phosphorsäure in den Massengesteinen hervorgehoben habe: wenn man ernstlich sucht, so findet man auch in allen Fällen diese Stoffe in geringen aber für den landwirthschaftlichen Gesichtspunkt durchaus nicht zu vernachlässigenden Mengen. So wurde in dem angeführten westphälischen Sandstein sogar 0,8 % Phosphorsäure aufgefunden, eine für eine Ackererde sehr bedeutende Menge. Der Phosphorsäuregehalt der meisten Sandsteine ist indessen sehr gering. E. Wolff fand im Buntsandstein von Neuenbürg nur 0,025 % davon.†) Von Schwefelsäure war eine noch viel kleinere Menge vorhanden.

Was die direct aus Sandablagerungen gebildeten Böden betrifft, so werden dieselben in vielen Fällen wie die eigentlichen Geröllböden sehr arm sein an chemi-

\*) E. v. Wolff: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1868—9. p. 12.

\*\*) Vergl. für diesen und die folgenden Girard: Bodenkunde 1868, p. 117.

\*\*\*) Der Kaligehalt der Sandsteine ist oft bedeutend, doch pflegt dasselbe grossentheils in unverwitterten Orthoklasten in für Säuren schwer zersetzbarer Form vorhanden zu sein.

†) Vergl. a. a. O. p. 2.

schen Verwitterungsproducten, um so ärmer, aus je bewegterem Wasser sie abgelagert wurden. Bestehen dieselben nur wesentlich aus Quarz mit einigen Glimmerblättchen und enthalten sie keine verwitterbaren Gesteinselemente in sich wie Feldspath- und Labrador-Körner, so werden sie dem Geröllboden an Unfruchtbarkeit nahekommen. Dies ist indessen der seltenere Fall. Senft fand in der Regel 2—25 % anderer Mineraltrümmer, z. B. im Sand aus der Provinz Brandenburg 17 % Orthoklas und 2 % Hornblende, aus der Lausitz 25 % Orthoklas und etwas Glimmer, aus der Lüneburger Heide fast 4 % Basaltkörner, aus Mecklenburg 10 % Orthoklas und 2 % Basaltkörner u. s. f.\*). Von Seiten der Versuchsstation zu Wageningen sind zahlreiche Analysen holländischer Diluvialsandböden und Seesandböden ausgeführt worden, von denen einige neben einer Analyse von Fallou hier ihren Platz finden mögen:

|                   | Heide<br>(bei Wageningen) | Heide<br>(Drente) | Seesand<br>(Friesland) | Heide<br>(Norddeutschland) |
|-------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|----------------------------|
| Kieselsäure       | 0,05 %                    | —                 | 0,9 %                  | —                          |
| Thonerde          | 0,42 "                    | —                 | } 0,6 "                | —                          |
| Eisenoxyd         | 0,62 "                    | 0,05 %            |                        | —                          |
| Kalk              | Spuren                    | 0,03 "            | 0,1 "                  | 0,04 %                     |
| Magnesia          | —                         | 0,01 "            | 0,3 "                  | 0,02 "                     |
| Kali              | 0,01 "                    | 0,01 "            | 0,08 "                 | 0,04 "                     |
| Natron            | 0,01 "                    | —                 | 0,02 "                 | —                          |
| Phosphorsäure     | 0,04 "                    | 0,02 "            | 0,06 "                 | 0,04 „                     |
| Schwefelsäure     | 0,02 "                    | Spuren            | 0,06 "                 | 0,02 „                     |
| Kohlensaurer Kalk | 0 "                       | 0 "               | 3,75 "                 | 0 " .                      |

löslich in Säure

Der Seesandboden ist unter diesen Böden bei Weitem der reichste, während die anderen hinsichtlich ihrer Armuth eine traurige Uebereinstimmung aufzeigen. Aber selbst jener ist entschieden arm gegenüber einem dicht neben ihm gebildeten Kleybóden, wovon eine Analyse sogleich mitgetheilt werden wird.

Dann ist schon hier darauf hinzuweisen, dass sich der Sandboden in seinen physikalischen Eigenschaften ausserordentlich von dem Kies- und Geröll-Boden unterscheidet und desshalb durch geeignete Behandlung in allen Fällen Etwas aus ihm gemacht werden kann, wie? werden wir dann später sehen. In der That finden wir blühende Länderstriche, deren Boden an sich aus einem sehr armen Sand besteht, und die durch die Kultur nach und nach fruchtbar geworden sind.

Als drittes Glied jener aus den krystallinischen Massengesteinen sich bildenden Verwitterungsmasse haben wir dann die *chemischen Zersetzungsproducte* von äusserst feiner Zertheilung zu besprechen. Wir haben dieselben als thonige Masse bezeichnet, und diese Bezeichnung ist trotz der Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung dieser Verwitterungsproducte insofern richtig, als kieselsaure Thonerde stets ein wesentlicher und der weitaus vorherrschende Bestandtheil derselben ist, wenn auch je nach dem Muttergestein, dem sie entstammen, noch alkalische Erden, Eisen-

\*) Landw. Jahresber 1867/68. p. 8.

oxyd, Alkalien u. s. w. an ihrer Zusammensetzung sich betheiligen. Wenn wir dieses Verhaltens eingedenk bleiben, so können wir immerhin von jenen Producten der chemischen Verwitterung als von einer thonigen Masse reden, wir werden dann auch immer an ihre ausserordentliche Aufschlammbarkeit unwillkürlich erinnert werden.

Wir haben schon in unseren Betrachtungen der letzten Vorlesung die sehr verschiedenen mechanischen Bedingungen der Ablagerung dieser Klasse von Verwitterungsproducten von den der ihnen zunächst stehenden, des feinen Sandes, kennen gelernt, und so werden wir auch hier eine gesonderte Gesteinsbildung von Seiten dieser thonigen Verwitterungsmassen zu erwarten haben. — Damit ist freilich nicht gesagt, dass nicht auch Zwischenglieder möglich wären. Unter gewissen Bedingungen, die namentlich dann werden realisirt werden können, wenn sehr bewegte Wassermassen, die Sand und Thon in Aufschlammung erhalten, plötzlich zur vollkommenen Ruhe gelangen, wird eine gemischte Ablagerung beider Stoffe möglich sein. Auch das plötzliche Einströmen von Süßwasser in Salzwasser nimmt den mitangeschlammten Thontheilchen plötzlich zum grössten Theile ihre Aufschlammbarkeit.

Die thonigen Theile dienen nun entweder zur directen Bodenbildung, wie zu der des Kleybodens in den Marschen, dessen Entstehungsweise uns in der vergangenen Vorlesung ein lehrreiches Beispiel gewesen ist, oder — und dies ist jedenfalls der gewöhnliche Modus — es werden aus ihnen Ablagerungen auf dem Meeresgrund gebildet, die zu Gesteinen erhärten, auf ähnliche, noch ebenso wenig völlig aufgeklärte Weise wie die Sandablagerungen zu Sandsteinen. Vielleicht, dass auch schon der durch Jahrtausende auf dem Meeresgrund auf sie ausgeübte Druck genügt, um die Erhärtung der Gesteine zu bewirken. Gesteine, die ihre Entstehung wesentlich auf diese thonigen Elemente zurückleiten, heissen dann *Thone*, *Schieferthone*, *Thonschiefer* etc.; sie kommen ebenso wie Sandsteine durch die ganze Reihenfolge von geologischen Epochen hindurch vor, von der ältesten bis zur neuesten Zeit und ihre Erhebung aus dem Meeresgrund muss selbstredend auf die nämlichen Niveauveränderungen der Erdoberfläche wie dort zurückgeführt werden. Die Zusammensetzung solcher Thonablagerungen ist natürlich je nach dem Ursprung der verwitterten Theilchen, je nach deren Vermischung mit andern chemisch unveränderten Gesteinselementen u. s. w. sehr verschieden. Ferner muss man bedenken, dass man es schon in den Verwitterungsproducten, die ein und derselbe Fluss mit sich führt, in der Regel mit solchen zu thun hat, die aus sehr verschieden gearteten Gebirgen stammen, und dass nun gar im Meere die thonigen Substanzen des verschiedensten Ursprungs in den allermeisten Fällen sich mit einander vermischen müssen. Wir werden also in diesen Meeresbildungen z. B. keinen reinen Kaolin erwarten dürfen, sondern stets Thone, die erhebliche Mengen von Eisen und alkalischen Erden in sich einschliessen.

Doch es sei auch hier wieder die Zusammensetzung einiger solcher thonigen Meeresbildungen mitgetheilt.



|               | Thonschiefer  |        |                  |              | Schieferthon  |           |
|---------------|---------------|--------|------------------|--------------|---------------|-----------|
|               | (Graubünden*) | (Harz) | (Fichtelgebirge) | (Bentheim**) | (Saarbrücken) | (England) |
| Organ. Stoffe | —             | —      | —                | 32,3 %       | —             | —         |
| Kieselsäure   | 75 %          | 61,7 % | 54,2 %           | 38,2 „       | 72,9 %        | 61,9 %    |
| Thonerde      | 10,7 „        | 19,8 „ | 24,1 „           | 18,2 „       | 16,7 „        | 21,7 „    |
| Eisenoxyd     | 5,7 „         | 10,1 „ | 11,4 „           | 5,6 „ Fe     | 5,6 „ Fe      | 4,7 „     |
| Kalk          | 0,4 „         | 0,8 „  | 0,2 „            | 1,2 „        | —             | 0,1 „     |
| Magnesia      | 0,6 „         | 3,0 „  | 3,6 „            | Spuren       | 0,9 „         | 0,6 „     |
| Kali          | 2,5 „         | 2,0 „  | 2,1 „            | 1,7 „        | 1,4 „         | 3,2 „     |
| Natron        | 3,4 „         | 1,3 „  | 0,8 „            | 0,5 „        | 0,8 „         | 0,3 „     |
| Phosphorsäure | 0,06 „        | —      | —                | 0,5 „        | —             | —         |
| Schwefelsäure | 0,11 „        | —      | —                | Spuren       | —             | —         |

Daneben einige Analysen von wenigen Böden, seitens der Versuchsstation zu Wageningen, wobei aber wieder nur, wie dies bei Bodenanalysen zu geschehen pflegt, die säurelöslichen Bestandtheile Berücksichtigung gefunden haben.

|               | Seekley<br>(Friesland) | Rheinkley<br>(bei Wageningen) | Rheinkley<br>(bei Leiden) |
|---------------|------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Kieselsäure   | 1,2 %                  | 0,3 %                         | 0,16 %                    |
| Thonerde      | } 2,8 „                | 1,7 „                         | 1,09 „                    |
| Eisenoxyd     |                        | 3,4 „                         | 3,44 „                    |
| Kalk          | 0,5 „                  | 1,0 „                         | 0,51 „                    |
| Magnesia      | 0,7 „                  | 0,7 „                         | 0,34 „                    |
| Kali          | 0,24 „                 | 0,13 „                        | 0,13 „                    |
| Natron        | 0,5 „                  | —                             | 0,02 „                    |
| Phosphorsäure | 0,10 „                 | 0,24 „                        | 0,13 „                    |
| Schwefelsäure | 0,52 „                 | 0,04 „                        | 0,16 „                    |
| Kohlens. Kalk | 9,8 „                  | 0,5 „                         | —                         |

Für die Zusammensetzung der Thone ist ganz allgemein gültig, dass die einzelnen chemischen Bestandtheile der Gesteine mit ziemlicher Gleichmässigkeit in denselben verbreitet sind. Im Kaligehalt nähern sie sich abweichend von den meisten Sanden wieder den Massengesteinen, und dies ist schon aus der besprochenen Neubildung zusammengesetzter Silicate, die vor sich geht, sobald neben Kieselsäure und Thonerde, Eisen oder alkalische Erden vorhanden sind, oder wenn die Verwitterung der Alkali-Feldspathe unvollständig verläuft, verständlich. Phosphorsäure, die auch hier bei der Analyse gewöhnlich übersehen ist, wird, wenn man nach ihr sucht, auch ausnahmslos gefunden. In einem Thonschiefer (von Tharand) hat Stöckhardt\*\*) selbst 0,76 % Phosphorsäure gefunden, was für eine Ackererde eine sehr erhebliche Menge wäre. Für die Phosphorsäure scheint bei der Verschwemmung der Verwitterungsproducte, aus denen dieselbe wegen der Schwerlöslichkeit ihrer Verbindungen

\*) v. Planta: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1870–72, p. 15.

\*\*) Analyse der Versuchsstation Wageningen. Die übrigen Zahlen sind Girard's Bodenkunde 1868, p. 112 entnommen.

\*\*\*) Landw. Versuchsst. 1861, p. 105.

nicht leicht durch atmosphärische Wässer ausgezogen wird, das Verhalten der Art zu sein, dass eine ziemlich gleichmässige Ablagerung derselben in allen neuentstehenden Gesteinen besteht. — Was die gleichfalls vielfach ausser Acht gelassene Anwesenheit von Schwefelsäure betrifft, so genügt, für alle Meeresbildungen zu bemerken, dass sie sich aus einem an schwefelsauren Salzen ziemlich reichen Medium abgesetzt haben und schon in Folge dessen auch wenigstens geringe Mengen derselben enthalten müssen. Ferner ist noch darauf aufmerksam zu machen und z. Th. ist dies schon aus den angeführten Analysen ersichtlich, dass Thonböden und Sandböden einerseits grössere Extreme des Gehalts an Pflanzennährstoffen darstellen, als Thonsteinböden und Sandsteinböden andererseits. Die Sandsteine haben eben ihre Bindemittel, wodurch die unlöslichen Mineralien, die auch an Säuren wenig abgeben, an einandergelagert sind. Die Thonsteine müssen erst wieder verwittern, bis sie mit den angeschwemmten Lehm Böden an Verfügbarkeit ihrer Bestandtheile sich vergleichen lassen.

Mit den bis jetzt betrachteten Ablagerungen sind jedoch die Gruppen, unter die sich die Neubildungen aus dem Verwitterungsmateriale der Massengesteine bringen lassen, keineswegs erschöpft. Wir finden unter den Flötzgebirgen neben den Sandsteinen und Thonen (die gröberen Gesteinstrümmer spielen, wie gesagt, unter den Meeresbildungen keine hervorragende Rolle) noch eine dritte Gruppe von ausserordentlicher Ausdehnung, deren Entstehung sich aus den bisherigen Gesichtspunkten kaum verstehen lässt, die *Kalksteine*.

In jeder der vielen auf einander folgenden geologischen Epochen finden wir unter den geschichteten Gesteinen mächtige Lager von kohlensaurem Kalk, und mächtige Gebirgsstöcke bestehen fast ganz und gar aus dieser chemischen Verbindung. Die versteinerten Muscheln und viele andere petreficirten Thiere finden sich ganz vorzugsweise in diesen Schichten. Die Kreide z. B. wird ihrer ganzen Masse nach gebildet durch die wesentlich aus kohlensaurem Kalk bestehenden Schalen untergegangener kleiner Seethiere.

Wenn nun die Frage entsteht nach der Bildungsweise dieser ausgedehnten Schichten, deren Material als solches sich nicht unter den Verwitterungsproducten jener krystallinischen Urgesteine, von denen wir alle übrigen Bildungen abzuleiten unternommen haben, befand, so ist daran zu erinnern, dass ein Theil jener krystallinischen Gesteine, nämlich die Gruppe der kiesel-eisen-kalkigen Gesteine, sich durch einen grossen Kalkreichtum auszeichnet. Dieser Kalkreichtum war zurückzuführen auf die Mineralspecies, Labrador, Augit, Hornblende, die jene Gesteine im Wesentlichen aufbauen. Ich erinnere ferner daran, dass die Verwitterung dieser Gesteinsarten unter Austritt der grössten Menge der alkalischen Erden vor sich geht, welche in kohlen-saure Salze übergeführt und in der mehrfachen Menge freier Kohlensäure gelöst, das verwitternde Muttergestein verlassen. In dieser gelösten Form gelangen die alkalischen Erden in Quellen, Bäche, Flüsse und, so weit sie nicht durch irgend welche chemische Action, z. B. in Folge einer Begegnung mit kiesel-saurem Alkali, niedergeschlagen werden, in das Weltmeer, immer noch gelöst in dem mit freier Kohlensäure beladenen Wasser, oder auch durch Wechselersetzung in Gyps und ähnlich lösliche Salze verwandelt, worauf wir hier keine Rücksicht nehmen wollen. Wenn in dem Weltmeer früherer geologischen Epochen in Bezug auf die Verhält-

nisse zwischen Kalkgehalt und dem Gehalt an freier Kohlensäure nicht ganz andere und umgekehrte Verhältnisse bestanden haben wie heut zu Tage, so kann der kohlensaure Kalk nicht einfach durch Verlust der freien, die Lösung bedingenden Kohlensäure niedergeschlagen worden sein, denn man hat berechnet, dass jetzt in unsern Meeren weit mehr Kohlensäure vorhanden ist, als zur Lösung des darin enthaltenen kohlensauen Kalks erforderlich wäre, obgleich wir auch jetzt noch Ursache haben, daselbst die Entstehung neuer Kalkablagerungen zu vermuthen. Allein wir kennen eine andere Thatsache, die auch unter diesen Verhältnissen die Ausscheidung von Kalkablagerungen trotz des Vorhandenseins überschüssiger Kohlensäure möglich macht, — eine Thatsache, die ohne alle Widerrede zur Erklärung der Entstehung der Kalkgebirge mit herangezogen werden muss. Die Schalen der Muscheln und Schnecken bestehen, wie eben erwähnt wurde und ganz allgemein bekannt ist, wesentlich aus kohlensaurem Kalk. An den Meeresküsten werden dieselben zur Darstellung von gebranntem Kalk benutzt, gerade wie im Binnenlande der Kalkfels. Die Schalthiere des Meeres bilden nun ihre Schalen im Meereswasser, also in einem Medium, das an sich lösend auf den kohlensauen Kalk wirkt; sie bringen indessen diesen kohlensauen Kalk ihrer Hülle dennoch durch eine uns unbekannte Thätigkeit zur Abscheidung und schützen denselben durch Ueberlagerung einer Schicht von organischer Materie hinlänglich gegen die schwach lösenden Kräfte des Seewassers und sogar gegen einige verdünnte organische Säuren, die sonst den kohlensauen Kalk unter schwachem Brausen aufzunehmen pflegen — eine Thatsache, von der man sich leicht überzeugen kann. In der Form von Muschelschalen und anderen Kalkpanzern können also auch heute noch sehr grosse Mengen kohlensauen Kalks zur Abscheidung gebracht, und so Ablagerungen bewirkt werden, wie die Kreide, die durch und durch wenigstens dem bewaffneten Auge ihren organischen Ursprung verräth. Beobachtungen des Meeresgrundes von Carpenter zwischen Schottland und den Faröer-Inseln lehren, wie auch andere Untersuchungen der Art, dass sich noch fort und fort neue Ablagerungen von den wesentlich aus kohlensaurem Kalk bestehenden Hüllen niederer Schalthiere und den analogen Abscheidungen von Protisten bilden, so dass auch noch jetzt die Entstehung der Kalksteine im Meere nach der eben dargelegten Weise als vor sich gehend gedacht werden muss\*). — Nun brauchen wir uns nur noch ein zweites Moment hinzukommend zu denken, das jenen Ursprung aus organisirten Resten, z. B. durch vorübergehende Lösung grossentheils verwischt (Verwaschungsprocess), und wir haben einen compacten amorphen oder krystallinischen Kalkstein, wie der, aus dem unsere Gebirge bestehen.

So kann man sich die Sache als vor sich gegangen etwa denken. Wir wollen dabei die noch offene Streitfrage, ob ausser dieser Bildungsweise von Kalkgebirgen noch eine rein chemische Abscheidung von Kalkcarbonat in gewissen geologischen

---

\*) Vergl. hierüber Häckel: Das Leben in den grössten Meerestiefen, p. 12 u. 35; ferner C. W. C. Fuchs: Naturforscher 1871, p. 93; indessen auch über Entstehung der Kreide Kaufmann: Verhandlungen der k. k. geolog. Reichsanstalt 1870, Nr. 11. Von Interesse in dieser Richtung sind auch die Untersuchungen von Neumayr über die „Terra rossa“ ebenda 1875, Nr. 3.

Zeiten stattgefunden habe, den Geologen zur weiteren Erörterung überlassen, dieselbe berührt uns hier weiter nicht. Jedenfalls steht fest, dass unter den Meeresablagerungen neben Sandsteinen und Thonen die Kalksteine eine Gruppe von hervorragender Bedeutung bilden, und dass diese Kalksteine ihrer Substanz nach auf die kalkhaltigen krystallinischen Gesteine zurückgeführt werden müssen, aus denen sie sich nur durch chemische Umformung und Verschleppung gebildet haben können.

Die Zusammensetzung einiger solcher Kalksteine ist:

|                           | Silurkalk.<br>(England) | Devonkalk.<br>(Nassau) | Muschelkalk.<br>(Schwaben) | Liaskalk.<br>(Ellwangen) | Kreide.<br>(Champagne) | Rogenstein.<br>(England). |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| Kohlens. Kalk             | 90,1 %                  | 82,2 %                 | 77,9 %                     | 78,7 %                   | 97,6 %                 | 95,4 %                    |
| Kohlensaure<br>Magnesia   | 1,3 "                   | 2,1 "                  | 16,6 "                     | 1,1 "                    | 0,5 "                  | 1,3 "                     |
| Kieselsäure               | —                       | 9,2 "                  | 3,1 "                      | 16,5 "                   | 1,1 "                  | 1,0 "                     |
| Thonerde und<br>Eisenoxyd | 2,3 "                   | 5,8 "                  | 1,4 "                      | 2,9 "                    | 0,6 "                  | 1,4 "                     |
| Phosphorsäure             | 0,8 "                   | —                      | 0,1 "                      | 0,2 "                    | —                      | 0,12 "                    |
|                           |                         | Kali, Natron           | 0,3 "                      | 0,2 "                    | Schwefelsäure          | 0,13 " .                  |

Reichardt hat in einer grösseren Anzahl von Kalksteinen aus der Umgegend von Jena 0,003 bis 1,2 % Phosphorsäure, und gewöhnlich auch grössere Mengen von Schwefelsäure bis 1,5 % gefunden. Dagegen war der Kaligehalt durchgängig sehr gering 0,002 — 0,09 %.

Der ziemlich regelmässig gefundene, zuweilen sehr erhebliche Gehalt an Phosphorsäure spricht für die Abscheidung mit Hilfe von Organismen; indessen genügten auch wohl die vorhin geltend gemachten Gründe zu dessen Erklärung.\*)

Magnesia wird in den Kalkablagerungen sehr regelmässig, aber in weit auseinandergehenden Verhältnissen gefunden. Die Magnesiasalze haben einen gemeinschaftlichen geologischen Ursprung mit denen des Kalks, sie sind jedoch viel löslicher und in Knochen und Muschelschalen von weit beschränkterer Verwendung. Wir treffen diese Salze desshalb in grossen Mengen im Meerwasser gelöst an und viele Kalkablagerungen nur von wenig Magnesia begleitet. In manchen Kalkgesteinen vertritt jedoch die kohlensaure Magnesia einen Theil des kohlensauren Kalks, — ein Verhältniss, das wahrscheinlich erst durch secundäre Processe (Metamorphosen mit Hilfe von gelösten Magnesiasalzen) zu Stande kommt; und geht dies bis zum ungefähren Vorhandensein gleicher Aequivalente von Kalk und Magnesia, so heisst das so metamorphosirte Gebilde Dolomit. Dieses Gestein ist nun in allen Uebergängen zu Kalk vorhanden und wird als solches nicht als selbstständige Formation in erheblicher Ausdehnung gefunden.

Wir haben schon früher erwähnt, dass da, wo sich im Weltmeer oder sonst im

---

\*) Etwas Phosphorsäure und auch Fluor ist stets in den Muscheln vorhanden; doch 2%  $P_2O_5$  ist meinen Erfahrungen zu Folge eine übertriebene Angabe. Vergl. auch über den Phosphorsäuregehalt von Muschelkalk- und anderen Kalkböden Württembergs: Jahresber. für Agrikulturchem. 1865, p. 9. Der bisweilen sehr geringe Gehalt von Phosphorsäure in einzelnen Kalksteinen harrt freilich noch der Erklärung.

Wasser gewisse Bedingungen der Ablagerung vorfinden, sandige und thonige Ablagerungen sich mit einander mischen und so Gebirgsarten von intermediärem Charakter bilden. Das Gleiche findet natürlich für die Kalkablagerungen einerseits, für Sand- und Thonablagerungen andererseits statt, und man gebraucht theilweise eigene Bezeichnungen für die Gesteine von solch' gemischtem Character. *Mergel* heisst ein aus Kalk und Thon in gewissen Verhältnissen bestehende Süsswasserbildung, und man unterscheidet dann wieder zwischen Thon-, Kalk- und Sandmergel und sogar Dolomitmergel, je nach dem Vorwiegen oder dem neuen Hinzutreten eines oder des andern Bestandtheils. Als *Lehm* wird im Allgemeinen ein sandhaltiger, nicht erhärteter Thon bezeichnet.

Es wird für unsern Zweck genügen, die Analysen einiger wenigen solcher Mischlingsgesteine hier aufzuführen.

|                     | Thonmergel*)<br>(Schwaben) | Kalkmrgl.<br>(Thüringen) | Dolomitmrgl.<br>(Schwaben) | Mergel**)<br>(Lüneburg) | Löss***)<br>(Elsenzthal). |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Kieselsäure u. Sand | 40,7 %                     | 11,8 %                   | 32,3 %                     | 55—72 %                 | 52,4 %                    |
| Thonerde            | 32,0 „                     | 10,6 „                   | 30,7 „                     | 0,8—4,3 „               | 6,6 „                     |
| Eisenoxyd           | 8,9 „                      | 1,5 „                    | 3,4 „                      | Fe 2,8—7 „              | 2,8 „                     |
| Kohlens. Kalk       | 9,5 „                      | 74,1 „                   | 14,6 „                     | 15—26 „                 | 29,3 „                    |
| Kohlens. Magnesia   | 2,2 „                      | 0,3 „                    | 19,1 „                     | 3 „                     | 2,0 „                     |
| Kali                | 0,05 „                     | 0,1 „                    | —                          | 1,1 „                   | 3,2 „                     |
| Phosphorsäure       | —                          | —                        | —                          | 0,5 „                   | 0,4 „                     |

Man ersieht aus den Analysen deutlich, dass sich die Bezeichnungsweise der einzelnen Mergel nach dem Vorherrschen des einen oder des anderen Bestandtheils richtet. Der Löss ist jene räthselhafte Bildung, die neuerdings mehr dem Winde als dem Wasser zugesprochen wird; sie enthält viel thonige Bestandtheile, zugleich aber viel Sand, wie aus dem verhältnissmässig hohen Kieselsäuregehalt ersehen werden kann, und gleichzeitig auch kohlen sauren Kalk. Wir werden sehr bald sehen, wie der kohlen saure Kalk in späteren geologischen Epochen auch an den Süsswasserbildungen Antheil nehmen kann, während es nach unsern bisherigen Kenntnissen noch befremden muss, ihn daselbst eine Rolle spielen zu sehen.

Aus den nun behandelten Gesichtspunkten lässt sich das Wesentliche der Bildung der geschichteten Gesteine sehr wohl verstehen. In jedem einzelnen Systeme dieser Meeresbildungen treffen wir von den ältesten Zeiten der silurischen Bildungen an bis zu den Ablagerungen unserer Tage die drei unterschiedenen Gesteinsgruppen und deren Mischlinge an, Thone, Sandsteine, Kalksteine und die Zwischenglieder dieser Gesteine. Schichten, deren Zusammensetzung sich nicht aus dem Charakter dieser drei unterschiedenen Gruppen ergibt, sind ganz localen Ursachen zuzuschreiben und verdienen daher bei der Theorie der Bodenbildung keiner eingehenderen Berücksichtigung. Es sind aber hier nur beispielsweise zu nennen die Gypsab-

\*) Umgerechnet aus Girard's Angaben a. a. O. p. 113.

\*\*) Wicke: Jahresber. f. Agrikulturchem. 68—69. pag. 36.

\*\*\*) Eine Zusammenstellung von Lössanalysen verschiedener Fundorte bei Sandberger: Journ.für Landw. Göttingen 1869, p. 216; ferner Hilger: Landw. Versuchsst. Bd. 18, p. 166.

lagerungen, die Kochsalzlager u. dergl., deren Entstehung innerhalb der geschichteten Gebirge hier unser Interesse nicht in Anspruch nehmen darf.

Die angestellten Betrachtungen haben uns nun aber zugleich um die Kenntniss der neuen Bodenarten bereichert, die sich von jenen ursprünglichen noch auf dem Muttergestein, aus dem sie hervorgegangen sind, aufgelagerten Bodenarten alle dadurch unterscheiden, dass sie angeschwemmte Böden sind. Wir haben unter diesen zu unterscheiden *Schutt- oder Geröllböden*, die wesentlich Süßwasserbildungen sind; *Thon- und Sandböden*, die beide Meeres- oder Süßwasserbildungen sein können. Unter diesen angeschwemmten Böden, die durch den eben ins Auge gefassten Process Entstehung genommen haben, sind jedoch wohlgemerkt, noch keine *Kalkböden* vorhanden, da aus Niederschlägen von kohlensaurem Kalk im Meere sich erst Kalksteine bilden können, dem Meer- und Flusswasser aber noch kein Kalkpulver, *das mechanisch angeschwemmt werden könnte*, zu Gebote steht.

Allein, mit den von uns betrachteten Vorgängen haben die Veränderungen auf der Erdoberfläche ihr Ende noch nicht erreicht. Die in der Stille des Meeresgrundes abgesetzten und zu festen Gesteinen erhärteten Trümmernmassen werden z. Th. innerhalb der grossen geologischen Zeiträume in die Höhe gehoben, gleichviel durch welche mechanische Kräfte; sie werden Festland und thürmen sich zu Gebirgen von schwindelnder Höhe empor. Diese periodischen Hebungen sind ja nothwendig, um den Process der Stoffverschleppung zu einem continuirlichen zu machen, da dieser unter allen Umständen Terrain-ausgleichend wirkt. Nun machen natürlich die rastlos fortschaffenden zerstörenden Kräfte der Atmosphäre und des seinen ewigen Kreislauf vollziehenden Wassers sich wieder geltend, und sie haben häufig nun bei der Bearbeitung der geschichteten Gebirge leichtere Mühe als bei der vorhin besprochenen Zerstörung der massigen Gesteine. Die geschichteten Gesteinsarten, obwohl mitunter von grosser Festigkeit und Widerstandsfähigkeit, lassen häufig zwischen die einzelnen Schichten Wasser eindringen und bieten so Angriffspunkte für dessen mechanische Arbeit, für die chemischen Wirkungen der gelösten Gase dar. Ob ein Gestein mehr Widerstand leistet oder weniger, das hängt natürlich auch vorzugsweise von der Beschaffenheit des die einzelnen Theilchen zusammenkittenden Bindemittels ab.

Kurz, es tritt auch hier wieder Verwitterung ein. Das Bindemittel der Sandsteine wird durch kohlensaure Wässer verändert; die Sandkörner fallen auseinander. Die Kalke werden in ihrer ganzen Masse durch dasselbe Agens angegriffen und gelöst, und ebenso können die Thone, namentlich die geschichteten, noch weitere Veränderungen, die sie mindestens ihres Zusammenhangs berauben, erfahren. Dabei spielen auch die mechanischen Verwitterungsmomente ihre Rolle. Auf der zu Tage tretenden Fläche der geschichteten Gesteine bildet sich von neuem wie bei jenen Massengesteinen eine mehr oder minder dicke Verwitterungsschicht. So ist dann wieder Veranlassung zur Bildung einiger neuen Bodenarten gegeben, die auf ihrem Muttergestein aufliegend als ursprüngliche Böden bezeichnet werden müssen, nämlich als die ursprünglichen Böden der geschichteten Gesteine, die aber ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften nach den verschwemmten Böden weit ähnlicher sehen, denn sie sind ja mittelbar wirkliche verschwemmte Böden, und die minerali-

schen Bodenelemente sind in ihnen nach ihrer Aufschlammbarkeit geordnet enthalten. Ein ursprünglicher Sandsteinboden kann einem angeschwemmten Sandboden in seinem Verhalten natürlich aufs Haar ähnlich sehen, ebenso ein Thonschieferboden, nachdem er durch die Verwitterung glücklich fein zertheilt ist, einem angeschwemmten Thonboden ähnlich werden.

Allein die so gebildete Verwitterungsschicht kann auch, wenn die Verhältnisse zur Fortspülung geeignete sind, wieder der Verschwemmung unterliegen und so neuerdings Veranlassung zu weiterer Umformung gegeben werden. Die von dem niederfallenden Regen in Bäche und Flüsse mit fortgerissenen Verwitterungsmassen werden einer ähnlichen Sonderung unterliegen, wie wir sie für die Verwitterungsproducte der Massengesteine schon beobachtet haben. Auch jetzt werden unter Bedingungen, die von neuem auseinanderzusetzen unnötige Zeitverschwendung wäre, Geröllablagerungen gebildet werden, aber Ablagerungen, welche nicht bloss aus unverwitterten Trümmern der Massengesteine, sondern diesmal auch aus Kalk-, Sandstein- und Thonschiefer-Brocken bestehen. Die so gebildeten Schuttmassen werden nun zwar im Wesentlichen das Verhalten zeigen, wie wir es für den Geröllboden, der aus den größten noch unverwitterten Trümmern jener Massengesteine entstanden ist, geschildert haben; nur wird der weitere Verwitterungsprocess, der sich an diesem Geröllboden vollzieht, je nach der specifischen Beschaffenheit seiner Bestandtheile in etwas abweichender Weise verlaufen. Aber alle die damals z. Th. angedeuteten, so ausserordentlich schädlichen physikalischen Eigenthümlichkeiten des Geröllbodens werden sich auch hier vorfinden.

Die feinere Verwitterungsmasse der geschichteten Gesteine wird dagegen weiter verschleppt werden. Die einzelnen Sandkörner, die sich nun wieder bei der Verwitterung des Sandsteins von einander trennen, die wieder erweichte und sich fein vertheilende Thonmasse des zerstörten Thonschiefers werden, in die Bäche, in die Flüsse und endlich in das Meer gelangt, den früher geschilderten Verschwemmungsregeln unterliegen und je nach den nun vorhandenen Ablagerungsbedingungen zur Bodenbildung oder zu einer neuen Gesteinsbildung auf dem Grunde des Weltmeers dienen. So können natürlich bei diesem neu sich vollziehenden Processe aus gut gesonderten Gesteinen Mischlingsgesteine entstehen und umgekehrt. Auch hier werden wieder die feinsten Schlammtheilchen die meisten Pflanzennährstoffe in sich enthalten \*), und in allen Fällen wird dies zutreffen, wenn man die Zugänglichkeit für die Vegetation mit veranschlagt.

Was an diesem Processe dem früher für die Massengesteine in's Auge gefassten unähnlich erscheint, das ist, dass nun auch der kohlensäure Kalk als selbstständiges Glied unter den durch Verschwemmung mechanisch absonderbaren Verwitterungsproducten auftritt, während er früher nur gelöst in den kohlensäurehaltigen Wassern erscheinen konnte. Alle Flüsse, deren Quellen aus Kalkgebirgen kommen, oder die in ihrem Laufe solche Gebirge durchsetzen, führen auch fein zertheilte Kalkmassen in solcher Menge mit sich, dass die Kohlensäure des Flusswassers sie nun entfernt

---

\*) Vergl. v. Planta; Die Abschlammungsproducte des Nollaschiefers (Landw. Versuchstation. Bd. 15, p. 250).

nicht mehr zu lösen vermag. Manche Flüsse führen einen wahren Kalksand mit sich, der ziemlich frei ist von anderen Bestandtheilen und bilden dann auf ihrem gelegentlichen Ueberschwemmungsgebiete wahre Kalksandböden, die, wenn sie aus unruhigem Wasser abgesetzt worden sind, wegen des Mangels an anderen Bestandtheilen von grosser Unfruchtbarkeit sein können. Die Aufschlammbarkeit der feinen Kalktheilchen, welche jene Flüsse mit sich führen, ist eine sehr verschiedene, da der Kalk wegen seiner leichten Zerreiblichkeit sehr verschiedene Korngrössen annimmt. — Das specifische Gewicht des Kalkspaths ist dem des Quarzes annähernd gleich. — So sehen wir denn den zerkleinerten Kalk je nach der Feinheit seiner Theilchen und nach den Ablagerungsbedingungen mit dem Quarzsande zusammen neue Böden und Gesteine, noch häufiger aber mit thonigen Theilen zusammen mergelige Lehm Böden bilden. Oft treten auch alle drei Elemente gleichzeitig auf in den Ablagerungen des Rheines und vieler anderen Flüsse.

Ihrer *rein mineralischen* Beschaffenheit nach können unsern Auseinandersetzungen gemäss sämtliche Böden etwa in folgende Klassen und Arten eingetheilt werden:

I. *Ursprüngliche oder Verwitterungsböden*; d. h. solche, die auf ihrem Muttergestein noch aufgelagert sind.

A. *Entstanden aus einem krystallinischen Massengesteine.*

1. *Feldspathböden* (aus Granit, Porphy, Trachyt etc.).
2. *Augit- und Hornblendeböden* (aus Basalt, Dolerit, Melaphyr etc.).
3. *Glimmer- und Quarzböden* (aus Glimmerschiefer, Gneiss, Quarzfels).

B. *Entstanden aus einem geschichteten Gestein.*

4. *Sandsteinböden* (aus den verschiedenen Sandsteinen).
5. *Thonsteinböden* (aus Thonschiefer, Schieferthon etc.).
6. *Kalksteinböden* (aus Kalksteinen, Kreide, Dolomit etc.).

II. *Verschwemmte oder angeschwemmte Böden*; d. h. solche, die nicht mehr auf ihrem Muttergestein aufgelagert sind.

7. *Schutt- und Kiesböden* (Grintb. holl.; aus allen möglichen Gesteinen).
8. *Sandböden.*
9. *Thonböden* (Kleiböden holl.).
10. *Lehmböden* (Zavelb. holl.) (die Elemente der beiden letzteren Böden vermischt enthaltend).
11. *Kalkböden* (kommen verschwemmt nur selten in grosser Reinheit vor).
12. *Mergelböden* (Kalk und Thon vermischt enthaltend).

Eine solche Eintheilung kann der Natur der Sache nach nicht all den Mannigfaltigkeiten der Wirklichkeit Rechnung tragen. Viele in der Natur vorkommenden Bodenarten sind natürlich als Uebergangsglieder der hier aufgezählten anzusehen und finden als solche keine Stelle in einem derartigen System. Dieses bezweckt ja auch nichts als den Ueberblick über die Verschiedenheiten der realen Aussenwelt zu erleichtern.

Um die feineren Nuancen zu bezeichnen, welche sich in der Natur unbekümmert um jede Eintheilung vorfinden, hat man nun noch eine Menge von Namen gebildet, deren Bedeutung indessen fast selbstverständlich erscheint. Wir finden solche wei-



tere intermediären Unterabtheilungen zumal bei den verschwemmten Böden, die der Natur ihrer Entstehung nach in allen denkbaren Mischungen auftreten.

Den Sandboden kann man z. B. je nach der Grösse seines Kornes eintheilen in *Flugsand*, *Quellsand*, *Perlsand* u. s. w., je nach dem Materiale, aus welchem die einzelnen Körner, oder ein Theil derselben bestehen, in *Glimmersand*, *Feldspath-sand*, *Kalksand* u. s. w., je nach der Mischung mit anderen Bodenarten wird er bezeichnet als *lehmiger*, *mergeliger*, *kiesiger Sandboden*.

Nach demselben Princip wird der *Lehmboden* zum *sandigen*, *mergeligen*, *kalkigen Lehmboden*, der *Mergelboden* zum *sandigen*, *lehmigen*, *kalkigen* u. s. f.

Man hat sich vielfach über diese Bezeichnungen zu einigen gesucht und dann einen ganz bestimmten Procentsatz für die einzelnen Bodenbestandtheile angegeben, von dem an der eine oder der andere Name gelten sollte. Für unsern Zweck hat es keinen Sinn, auf diese für manche speciellen Zwecke vielleicht nützliche aber immer willkürliche Terminologie weiter einzugehen.

Dagegen ist ferner auf den praktischen Nutzen der in unserer Eintheilung gemachten Unterscheidung zwischen ursprünglichen und verschwemmten Böden aufmerksam zu machen, um so mehr, da ich früher die Bemerkung gemacht habe, dass ein ursprünglicher Kalkstein-, Sandstein- oder Thonschieferboden einem verschwemmten Kalk-, Sand- oder Thonboden ganz und gar ähnlich sehen kann, wie denn im Grunde die Entstehungsart beider die gleiche und nur eine directere oder indirectere ist. — Allein es ist nicht ausser Augen zu lassen, dass die Gleichartigkeit nur für eine gewisse Tiefe besteht, dass nämlich bei einem ursprünglichen Boden die unter der Ackererde liegende Schicht aus genau demselben Materiale besteht, aus dem diese Erde selbst vor einiger Zeit noch ausschliesslich bestand, ehe Verwitterung, Pflanzenwachsthum und vielleicht Kultur an ihr einen Verwandlungsprocess vollzogen; — dass dagegen bei einem verschwemmten Boden jener Untergrund von einer in Bezug auf die zu Tage liegende Schicht rein zufälligen Beschaffenheit ist. Daraus folgt der praktisch wichtige Anhaltspunkt, dass es bei einem ursprünglichen Boden ganz allgemein gelingen muss, durch allmälige Vertiefung der Ackererde wieder dieselben Stoffe in derselben chemischen Form auch für die Pflanzenwurzel zugänglich zu machen, welche schon vorher in der Ackererde vorhanden waren, während sich etwas Derartiges für die verschwemmten Böden nicht ohne vorhergehende Specialuntersuchung schliessen lässt. Ganz dasselbe gilt dann natürlich auch für die physikalischen Eigenschaften des Untergrunds, und bei den verschwemmten Böden ist es z. B. eine allbekannte Erfahrung, dass sie häufig durch eine ganz abweichende physikalische Beschaffenheit des Untergrunds, namentlich grosse oder sehr geringe Durchlässigkeit\*), ganz specifische Eigenthümlichkeiten dem Pflanzenwachsthum gegenüber zeigen — Zustände, welche bei ursprünglichen Böden trotz noch so grosser mechanischer Verschiedenheit der Ackerkrume und des Untergrunds niemals in dem Grade eintreten können.

Es scheint mir hier schon der richtige Ort zu sein, der gewöhnlichsten Methoden

---

\*) Vergl. die einunddreissigste Vorlesung.

Erwähnung zu thun, durch welche man sich im Allgemeinen von der Zusammensetzung der Bodenarten, soweit diese für die eben angeführte und ihrem Sinn und Nutzen nach erläuterte Klassificirung in Betracht kommt, Kenntniss verschafft. Dies kann nämlich nicht, wenigstens nicht bis zu den feineren Unterschieden herab, durch das Auge und die Lupe allein geschehen, wenn auch die Methoden, welche hiezu dienen, ziemlich einfache sind. — Dieselben sind z. Th. chemischer, z. Th. mechanischer Natur.

Die erste hierhin gehörige mechanische Operation, die man vorzunehmen pflegt, besteht in einem einfachen Trennen der verschiedenen grossen Bodentheilchen durch Siebsätze, und zwar hat man gewisse Siebweiten gemeinsam adoptirt, um die von verschiedenen Untersuchern erlangten Resultate auf einander beziehen zu können.

Man lässt die gesammte zu untersuchende Erde durch ein Sieb von 3 Millimeter Weite hindurchgehen und bezeichnet das Durchgesiebte als *Feinerde*. Die auf dem Siebe zurückbleibenden Steine werden zunächst in ihrem Gewichtsverhältniss zur Feinerde, dann hinsichtlich ihrer Grösse bestimmt. Auch diese Sortirung geschieht durch Siebsätze von conventioneller Lochweite. Die Steine werden dann einer mineralogischen Prüfung unterworfen, und namentlich durch diese gelangt man sehr schnell zur Klarheit, ob man es mit ursprünglichen Böden, und mit Böden welcher Gebirgsart angehörig man es zu thun hat. Sind diese Steine stark abgerundet oder verschiedenen geognostischen Ursprungs, so hat man es mit einem verschwemmten Boden zu thun, und je grösser ihre Anzahl im Verhältniss zur Feinerde, um so mehr nähert derselbe sich einem Kies- oder Geröllboden.

Die Feinerde, welche im Wesentlichen das chemische Verwitterungsmaterial, daneben eine Anzahl unverwitterter einfacher Mineralien, aber keine eigentlichen Gesteinstrümmer mehr enthält, wird dann weiteren chemischen und mechanischen Trennungs- und Bestimmungsmethoden unterworfen. Um sich von der Anwesenheit oder Abwesenheit von kohlensaurem Kalk zu überzeugen, wird die Erde mit Säuren behandelt und zugesehen, ob Aufbrausen (in Folge der entweichenden Kohlensäure) stattfindet. In diesem Falle hat man es mit einer kalkhaltigen Erde zu thun, da mit Ausnahme der Magnesia, welche ja immer nur mit dem Kalke gleichzeitig im Boden aufzutreten pflegt, keine andere Base in erheblichen Mengen an Kohlensäure gebunden im Boden gefunden wird. Will man sich aber nicht bloss qualitativ von dem Kalkgehalt einer Bodenart überzeugen, sondern auch wissen, wieviel von diesem Bestandtheil im Boden vorhanden ist, so bestimmt man entweder die Kohlensäure einfach durch Gewichtsverlust in einem einfachen, mit einem Chlorcalciumrohr versehenen Kohlensäureapparat; oder man ermittelt deren Menge in einem eigens für diesen Zweck construirten kleinen Apparat, aus dem eine dem Volum der entweichenden Kohlensäure entsprechende Flüssigkeitsmenge in Folge des von jener erzeugten Druckes austritt, aus deren Menge man dann die entwichene Kohlensäure annähernd berechnen kann\*). Beide Methoden ermöglichen es, sich sehr rasch über den Kalkgehalt eines Bodens Aufschluss zu verschaffen und sind reichlich genau genug, um darauf die Bestimmung der Bodenart zu basiren.

\*) Auch der Scheibler'sche Apparat für Knochenkohle leistet hier gute Dienste.

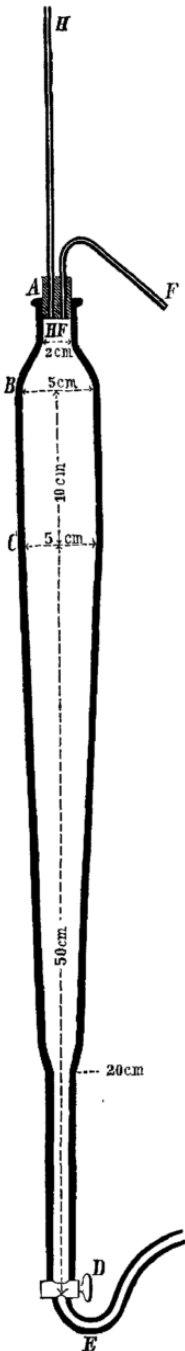
Neben dem etwa vorhandenen Kalk ist es vor Allem nothwendig, um jene Classification vorzunehmen, eine Kenntniss von dem Verhältniss zwischen Sand und Thon zu erhalten. Hierzu werden zweckmässigerweise nicht chemische Mittel, sondern rein mechanische benutzt. Ich brauche nur an jene für beide Bodenelemente naturgemäss verschiedene mechanische Beschaffenheit zu erinnern, auf die wir bei unseren Betrachtungen über die Entstehung secundärer Ablagerungen die Verschiedenheit der sich so bildenden Gesteins- und Bodenarten hauptsächlich zurückgeführt haben — ich meine die so verschieden grosse Aufschlammbarkeit jener beiden Bodenelemente. Diese verschiedene Aufschlammbarkeit, welche wir desshalb als eine naturgemässe bezeichnet haben, weil der Thon als Product einer allen ursprünglichen Zusammenhang zerstörenden chemischen Umwandlung aus sehr feinen Theilchen besteht, während jedes Sandkorn für sich noch als unverändertes Mineralstück des ursprünglichen krystallinischen Gesteins zu betrachten ist, und weil die Grösse der einzelnen Theilchen fast ganz ausschliesslich deren Aufschlammbarkeit bestimmt, ist nun auch bei der Methode der mechanischen Trennung der verschiedenartigen Bodentheilchen benutzt worden; — man ist bei der Erfindung dieser Methode bei der Natur in die Schule gegangen, ja hat sie jener geradezu abgesehen.

Wenn man eine Feinerde in einer Glasröhre so lange mit Wasser schüttelt, bis sich alle einzelnen Erdtheilchen, die in dem natürlichen Zustande vielfach zu klumpigen Massen zusammengebacken sind, genügend zertheilt haben und mit dem Wasser aufgeschlämmt sind, und jene dann vertical aufgestellt der Ruhe überlässt, so sinken die schwerst aufschlammbaren Erdtheilchen zuerst nieder, später erst bei grösserer Ruhe des Wassers die feineren, leicht suspensiblen Theilchen, so dass sich deutlich unterscheidbare Schichten bilden von grobem, dann immer feinerem Sand und den obenauf liegenden Thontheilchen, während die Kalktheilchen, je nach ihrer sehr verschieden grossen Feinheit, mehr dem einen oder dem andern Bodenelemente sich beigemischt zeigen. Die einfachste Methode der sog. Schlämmanalyse besteht nun in nichts Anderm als in der Ausführung der eben beschriebenen Manipulation und in der Messung der Dicken der einzelnen abgesetzten Schichten, und man bekommt auf diese Weise schon einen ziemlich brauchbaren Blick über die Constitution der dieser Operation unterworfenen Feinerde.

Die Schlämmanalyse hat aber eine sehr viel weitergehende Ausbildung erlangt, so dass es möglich wurde, die Bodentheilchen von verschiedener Suspensibilität nicht bloss sehr vollständig von einander zu trennen, sondern auch die Masse der Theilchen jeder Sorte genau dem Gewichte nach zu bestimmen und ausserdem dieselben getrennt chemischen Operationen zu unterwerfen. Die Apparate, mittelst deren eine solche genaue Trennung gelingt, sind sehr verschiedener Natur, aber von leicht verständlicher Construction. Ich will mich hier darauf beschränken, von dem meines Dafürhaltens besten dieser Apparate, von dem modificirten Schöne'schen einige Worte zu sagen, hinsichtlich der übrigen auf andere Orte verweisend\*). Dieser in

---

\*) Vergl. z. B. den Bericht der Agrikulturchemiker-Versammlung vom Jahre 1869 in Halle, wo viel von der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Apparate die Rede war; ferner Neue landw. Zeitung 1872 p. 837; Compt. rend. 1870, Juin 20.



meinem Laboratorium vielfach gebrauchte Schlammapparat besteht aus einem unten mit einem Glashahn versehenen konischen Gefässe, in welches die zu untersuchende Feinerde gegeben wird. Oben ist derselbe mit einem Korke geschlossen, durch welchen zwei Röhren gehen, eine umgebogene Abflussröhre für das von unten bei geöffnetem Hahn einfließende Wasser und eine senkrechte Steigröhre, welche letztere durch die Höhe der darin aufsteigenden Wassersäule ein Mass abgibt für die Schnelligkeit des Wasserstroms, welcher durch Drehung des Zuflusshahns geregelt werden kann. So kann in ein und demselben Gefäss der Schlammprocess beendet werden, und kann dabei die Erde in beliebig viele Bestandtheile von verschiedener Aufschlammbarkeit zerlegt werden. Die durch das bewegte Wasser mitgeführten Theile werden in geräumigen Gefässen gesammelt und durch Absetzenlassen isolirt \*).

Man sieht, das Princip dieses Apparates ist genau dasselbe wie jenes einfacheren, nur die Trennung der einzelnen Bodentheilchen eine vollkommener, die es gestattet, genau anzugeben, wieviel von jeder Gruppe vorhanden ist und weitere Untersuchungen der Schlammmasse gestattet. Wenn man nun die einzelnen Massen in der vorhin angegebenen Weise auf ihren Kalkgehalt untersucht, namentlich also prüft, bei welcher Gruppe der etwa vorhandene Kalk geblieben ist, so hat man mittelst dieser verschiedenen Methoden alle Daten zur Charakterisirung des Bodens in der Hand. Man wird in sehr genauer Weise den Thongehalt eines jenen Operationen unterworfenen Bodens angeben können, ebenso den Sandgehalt desselben und wird entscheiden können, ob dieser Sand ausschliesslich Quarzsand ist oder ihm Kalksand beigemischt ist u. s. w. Kurz es ist leicht einzusehen, dass es so gelingen muss, besser als durch die rein chemische Bodenanalyse, eine Ackererde ihrer Constitution nach hinlänglich zu charakterisiren.

Hiermit ist dann freilich — und darüber werden wir in einer der nächsten Vorlesungen ausführlich zu sprechen haben — noch durchaus nicht das Verhalten eines Bodens der Vegetation gegenüber in jeder Hinsicht ermittelt, und namentlich kann der hier als Thon bezeichnete Bestandtheil seiner näheren Zusammensetzung und seinem Gehalt an pflanzlichen Nährstoffen nach noch unendlich verschieden sein, und darum können zwei in Bezug auf das Verhältniss von gröberen Trümmern, Sand, Kalk und Thon gleich constituirte Böden sehr verschieden fruchtbar sein.

\*) Genaue Beschreibung dieses Apparats in Forsch. a. d. G. d. Agrikulturphysik. V. B, p. 228. Der Nöbel'sche Apparat besteht im Wesentlichen aus 4 kegelförmigen, mit einander

Der eben besprochenen einfachen analytischen Methoden wurde hier nur Erwähnung gethan, weil sie ein Mittel abgeben zur Einreihung einzelner Bodenarten in die erwähnten Klassen. Um eine genügende Vorstellung zu erhalten von dem Einfluss, den verschiedene Bodenarten auf das Pflanzenwachsthum ausüben, müssen wir noch von einer grossen Reihe der allerverschiedensten Bodeneigenschaften handeln, was in der achtundzwanzigsten bis einunddreissigsten Vorlesung geschehen soll.

## Siebenundzwanzigste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Veränderungen der Bodeneigenschaften in Folge des Pflanzenwuchses.

In unseren bisherigen Darstellungen haben wir einen Ueberblick gewonnen über drei Momente, die für die Zusammensetzung und die Eigenschaften eines Bodens von hervorragender Bedeutung sind. Es waren dies *die ursprüngliche Beschaffenheit und Zusammensetzung der Gebirgsart*, aus deren Zerstörung die Ackererde resultirt, *Art und Intensität der Verwitterungsprocesse*, die ein solches Gestein durchmachen musste, um zur betreffenden Ackererde zu werden, und endlich die *Verschwemmung und die andern mechanischen Trennungsprocesse*, denen die Verwitterungsproducte unterworfen waren, bis sie sich zu der betreffenden Ackererde gruppirten.

Diese drei Momente waren es auch wesentlich, welche sich wieder in der bis jetzt gegebenen systematischen Zusammenstellung der einzelnen Bodenarten spiegelten.

Wir haben aber schon zu Eingang der Betrachtungen über die Entstehung der Ackererde hervorgehoben, dass mit fast ausnahmsloser Regelmässigkeit sich noch andere Momente als diese rein geologischen an der Entstehung der Ackererde theilnehmen, und haben bereits angedeutet, worin diese weiteren Momente bestehen. Es musste zwar zugegeben werden, dass eine auf die bisher erläuterte Weise ent-

---

durch Kautschukröhren verbundenen Gefässen, deren Volumen sich annähernd wie 1 : 8 : 27 : 64, d. i. wie  $1^3 : 2^3 : 3^3 : 4^3$  verhält, und durch welche ein gleichmässiger Wasserstrom hindurchgetrieben wird. Man bringt 30 Gramm der — wie auch beim Schöne'schen Verfahren vorbereiteten und durch ein Blechsieb mit Löchern von 1 Millimeter Weite im aufgeschlämmten Zustand gesiebten Erde in das zweitkleinste jener Gefässe und lässt das Wasser von unten durch das kleinste Gefäss eintreten. Der Wasserstrom wird nach der neueren Wolff'schen Vorschrift so regulirt, dass die 9 Liter, welche überhaupt zu einer Operation benutzt werden, in 40 Minuten den ganzen Apparat durchströmen. Man hat nach der Beendigung der Operation die Feinerde in mindestens 5 ihrer Aufschlammbarkeit nach sehr verschiedene Portionen zertheilt, nämlich: 1. in den auf dem Blechsieb verbleibenden Rückstand, 2. in die durch das Wasser nicht mit fortgeführte Masse des zweitkleinsten Gefässes, 3. in die durch das Wasser mit fortgerissenen Theilchen von geringer Suspensibilität, welche sich im drittkleinsten Gefässe ansammeln, 4. in die Schlammmasse von hoher Suspensibilität im grössten Gefässe, 5. in die Schlammmasse von grösster Suspensibilität, die auch im grössten Gefässe sich nicht niedergesetzt hat und im abgelaufenen Wasser zu suchen ist.

standene oberflächliche Erdschicht nicht schlechthin unfähig ist, Pflanzen zu tragen; denn wie könnte alsdann eine Occupation von bis dahin unbewachsenem Terrain durch die Pflanzenwelt vorgenommen werden, oder wie sollten wir uns alsdann den Beginn des Pflanzenlebens auf der Kruste unseres erkalteten Planeten denken? — Allein nichtsdestoweniger ist es leicht, die Behauptung zu vertheidigen, dass eine für unsere anspruchsvolleren Gewächse wirklich fruchtbare Ackererde sich ganz ausnahmslos noch in manchen Stücken von dem durch rein chemische und physikalische Processe gebildeten Boden unterscheidet, und so haben wir neben den bis jetzt betrachteten Momenten der Entstehung der Ackerkrume noch ein weiteres, das *der Einwirkung des Pflanzenwachstums* auf den Verlauf dieser Bildung zu betrachten.

Fast alle aus den bisherigen Gesichtspunkten in ihren Eigenschaften abzuleitenden Böden bieten der Pflanzenwelt zwar unter Umständen die ihr nöthigen Aschenbestandtheile in Hülle und Fülle dar, aber es fehlt durchgehends an der gehörigen Menge von stickstoffhaltigen Nahrungsmitteln, welche für das üppige Gedeihen vieler, namentlich der Kulturgewächse nothwendig sind; es fehlt ferner an einer Anzahl leichter entbehrlicher, aber doch sehr förderlicher Vegetationsbedingungen, die in der folgenden Darstellung aufgezählt werden sollen. — Um absolut unentbehrliche Bedingungen für das Gedeihen aller einzelnen Glieder der ganzen Pflanzenwelt kann es sich hier freilich nicht handeln, da sonst, wie schon angedeutet, jede Vegetation schon das Vorhandensein einer andern voraussetzen würde, wohl aber um für das gedeihliche Wachstum einzelner Gruppen sehr nützliche. Um die anspruchslosesten in dieser Hinsicht kennen zu lernen, muss eben hier wieder an jene Pioniere der Pflanzenwelt auf unwirthlichem Terrain, an die Flechten\*) (unter diesen hauptsächlich *Lecanora* und *Parmelia*-Arten) und Algen und unter den höhern Pflanzen an die genügsame Krüppelföhre, an Ginster (*Sarothamnus*- und *Genista*-Arten) und Heidekraut und dergleichen erinnert werden, welche die Besitzergreifung neuer, von Organismen bis dahin unbewohnten Territorien ermöglichen. Uebrigens machen auch die meisten Waldbäume wenig Ansprüche an pflanzliche Ueberreste im Boden, und desshalb werden zweckmässig bis dahin wüste Ländereien durch vorübergehende Waldkultur in Besitz genommen.

Die Einflüsse, welche die Vegetation und die sich daran anknüpfenden Erscheinungen auf Eigenschaften und Zusammensetzung des Bodens ausüben, lassen sich wieder unter mehrere Gesichtspunkte bringen. Es werden zunächst die Einwirkungen betrachtet werden können, welche die *Pflanzenwelt auf die Bodenbildung durch Beförderung der Verwitterungserscheinungen ausübt*, dann wird auf das *Hinderniss* aufmerksam zu machen sein, welches die *Pflanzenwelt einer Verschleppung der einmal gebildeten Verwitterungsschicht entgegensetzt*, und zuletzt werden dann die *Folgen der Einverleibung der Pflanzensubstanz*, die ihren Elementen nach vorzugsweise von aussen stammt, für die *Eigenschaften der Ackererde* Besprechung finden.

Wir haben früher gesehen, dass der Wurzel der Pflanze nicht bloss die passive

---

\*) Ueber die Leistungsfähigkeit der Flechten in dieser Hinsicht vergleiche besonders Göppert: Landw. Versuchsst. 1861, p. 81.

Fähigkeit der Aufnahme derjenigen Stoffe, die im Bodenwasser gelöst enthalten sind, zukommt, sondern ausserdem *die active Thätigkeit, ungelöste Substanzen*, die mit den feinsten Wurzelverzweigungen in unmittelbare Berührung kommen, *in Lösung überzuführen* und in sich aufzunehmen. Es müssen auch unter Umständen saure Wurzelausscheidungen, wenigstens Ausgabe von Kohlensäure, namentlich in anorganischen verwesenden Stoffen armem Boden für möglich erachtet werden, so dass durch die Vegetation selbst ein die Verwitterung hauptsächlich veranlassendes Medium in den Boden gelangt, und so Stoffe in Lösung übergeführt werden, die nicht sammt und sonders direct von den wachsenden Pflanzen assimiliert zu werden brauchen, oder wenigstens in den Verwesungsresten einer kommenden Vegetation zu Gute kommen\*).

Daneben sind rein *mechanische* Wirkungen zu unterscheiden. Die Wurzeln verzweigen sich im Boden und dringen in alle weiche Theile desselben ein, unter Anderem auch in die Ritzen und Spalten der noch unvollkommen zertrümmerten Felsunterlage. Dieselben zeigen aber natürlich auch ein Dickenwachsthum, wobei sie dieser Volumzunahme in den Weg tretende Hindernisse mit grosser Kraft beseitigen. So kommt es, dass die sich durch Wachsthum ausdehnenden Wurzeläste häufig eine Felsspalte, in die sie in ihrem jugendlichen Zustande mit Leichtigkeit eingedrungen sind, ihrem Querschnitt nach ganz erfüllen und später mächtig zu erweitern streben, genau wie dies das gefrierende Wasser thut. Nicht dass die schwellenden Wurzeln die Felsstücke geradezu zu verrücken brauchten; nein, diese verrücken, Temperaturänderungen zufolge, sich selber, dann dehnen sich die Wurzeln und die Felsstücke können die alte Gleichgewichtslage nicht wieder finden. Die Wirkung ist in der That dieselbe; die Felsstücke werden in ihrem Zusammenhang mit andern gelockert und weiteren Verwitterungsmomenten zugänglich gemacht.

\*\*) Dietrich hat Versuche angestellt, durch welche direct die durch eine Reihe von Pflanzen aus bestimmten Felsarten in Lösung gebrachten Mineralstoffe bestimmt wurden. Er fand, dass

|                       | aus Buntsandstein | aus Basalt |
|-----------------------|-------------------|------------|
| 3 Lupinenpflanzen     | 0,608 Gr.         | 0,749 Gr.  |
| 3 Erbsen „            | 0,481 „           | 0,713 „    |
| 20 Spörgel „          | 0,268 „           | 0,365 „    |
| 10 Buchweizenpflanzen | 0,232 „           | 0,327 „    |
| 4 Wicken „            | 0,221 „           | 0,251 „    |
| 8 Weizen „            | 0,027 „           | 0,196 „    |
| 8 Roggen „            | 0,014 „           | 0,132 „    |

mehr Mineralsubstanz in Lösung übergeführt hatten, als durch blosse Verwitterung schon geschehen war; vergl. I. Ber. der Versuchsst. Heildau p. 83. — Eine analoge Wirkung der Wurzel und ihrer Ausscheidungen ist auch für manche organische Substanzen durch Versuche nachgewiesen worden. Gazzeri und Taddei fanden, dass Hornspähne, coagulirtes Eiweiss-Elfenbeinspähne in Blumentöpfen, in welchen Pflanzen wuchsen, rascher verschwanden als in vegetationsleeren — ein Vorgang, der jedenfalls auf ganz ähnliche Gesichtspunkte zurück geführt werden muss. Vergl. über diese Versuche Mulder: Chemie der Ackerkrume. Berlin 1863. II. p. 61. — Ueber den Einfluss der Pflanzenwurzel auf die Verwitterung vergl. auch R. Hoffmann: Ackerbauchemie etc. 1866, p. 20.

Man hat an Bergwänden und in Hohlwegen sehr häufig Gelegenheit, diese Wirkung zu beobachten.

Sehr leicht nachzuweisen sind die wichtigen *Hindernisse*, welche das Pflanzenwachsthum der *Verschleppung der Verwitterungsschicht* durch das abfließende Wasser entgegensetzt. Wir haben früher genau besprochen, wie diese Verschleppung zu Stande kommt und auf diesen Vorgang mittelbar oder unmittelbar die Bildung aller der Bodenarten basirt, die nicht ursprüngliche und aus einem der Massengesteine entstanden sind. Diese Verschleppung ist, trotz der Mitwirkung dieses Vorgangs bei der ersten Bildung der grössten Anzahl von Bodenarten, in den meisten Fällen für den fertigen in Kultur stehenden Boden nichts weniger als ein willkommener Vorgang. Alle hochgelegenen und nahe an abschüssigen Stellen befindlichen Gesteinsoberflächen würden niemals eine für ein erhebliches Pflanzenwachsthum genügende Verwitterungsschicht auf sich ansammeln können, wenn der Platzregen und die rasch abfließenden Wassermassen nach Belieben schalten und walten könnten. Diese würden nothwendig stets wieder von neuem alles, was nicht fest ist, hinwegführen, und die rasch fortschreitendste Verwitterung würde gleichsam umsonst gearbeitet haben und überall der blankgewaschene Fels zu Tage treten.

Diese für den Pflanzenbau völlig verderbliche Beweglichkeit der Verwitterungsmasse und der fertigen Ackerkrume wird nun durch einen Bestand mit Pflanzen in äusserst wirksamer Weise verhindert. Es ist Jedermanns Erfahrung leicht zugänglich, dass ein mit einer Rasenschicht bedeckter Damm einem Wasseranprall Widerstand zu leisten vermag, dessen Wucht ein ebenso fester aber vegetationsleerer Damm unfehlbar erlegen wäre, und man macht bekanntlich von dieser Erfahrung an Meeresküsten und Flussufern die ausgedehnteste Anwendung. Die Thatsache erklärt sich einfach aus der feinverzweigten Bewurzelung der Grasgewächse\*), wodurch ein jedes Bodentheilchen festgehalten und eine innige Verfilzung der ganzen oberflächlichen Bodenschicht hervorgerufen wird. In der That leisten fest verflochtene Gewebe, Weidengeflecht und dergleichen, womit man auch gelegentlich Dämme vor dem Andrang der Fluthen schützt, etwas Aehnliches. Der Wogendrang ist stark genug, um Körnchen um Körnchen, Steinchen um Steinchen loszulösen, wenn sie isolirt sind. Bildet aber das Ganze eine solidarische Masse, dar, so ist der Widerstand, gleich dem jenes Pfeilbündels im Märchen, ein um das Vielfache grösserer; und zu dieser Solidarität gibt eben das Wurzelgeflecht das beste Bindemittel ab. — Jedem, der einmal ein Loch gesehen, welches die Fluth in einen bewachsenen Deich geschlagen hat, wird an der Form desselben die Wirkungsweise der Pflanzenschutzdecke erkennen. Das einmal vorhandene Loch wird tief ausgehöhlt, während daneben die unbeschädigte Rasendecke liegt.

Eine ganz analoge, nur etwas complicirtere Rolle spielt der Pflanzenwuchs und in Sonderheit der Wald auf unsern Gebirgen, wo die Gefahr für ein stetiges Wegspülen der dünnen Verwitterungsschicht eine sehr dringliche ist. Ein guter Waldboden, der mit Pflanzenresten aller Art und einer üppigen Moosvegetation bedeckt

---

\*) Vergl. Wicke: Journ. für Landw. 1864, p. 415.



ist, verhält sich einem Schwamm nicht unähnlich\*), denn er vermag in der Regenzeit grosse Wassermengen in sich aufzunehmen, die er nur langsam fließen lässt. — Ich rede hier nicht von den Vortheilen, die eine solche Aufspeicherung von Wasser für die Wasserversorgung der Bäume selbst hat, sondern nur von den Abänderungen, die das geschilderte Verhalten auf den Abfluss des gefallenen Wassers und die Wirkungen desselben ausübt. Einmal wird die Macht des niederstürzenden Regens schon durch die oberirdischen Pflanzentheile\*\*), namentlich die dichten Kronen der Bäume, sehr wesentlich gemindert, — ein auf der Hand liegender Vortheil für das Bestehen des Bodens; und dann wird der Boden gegen die Wirkung des an den Bergwänden herniederrieselnden Wassers durch die Baumwurzeln und ebenso durch den Bestand mit niedrigen Pflanzen, deren Wurzeln sich mannigfach verfilzen, natürlich kräftig geschützt.

Der wichtigste Schutz aber, welchen der Wald der Ackerkrume gewährt, ist darin zu suchen, dass er in der eben angedeuteten Weise den langsamen Abfluss des gefallenen Wassers in die Thäler bewirkt. Von unbewaldeten Höhen stürzt der eben niedergefallene Regen fast unmittelbar in reissenden Bächen in die Schluchten herab, reisst auf seinem Lauf die durch Verwitterung gebildete Schicht mit sich fort und erzeugt in den Flussthalern schnell anwachsende und ebenso schnell wieder verschwindende Ueberschwemmungen. Bei diesem stürmischen Niederstürzen des Wassers gelangt nun auch der mit fortgerissene Boden des Gebirgs in den Thälern nicht zur Ablagerung, sondern diese werden mit unfruchtbarem Schutte überführt, so dass zugleich Berg und Thal eines unentbehrlichen Theils ihrer Vegetationsbedingungen beraubt wird. Rasch ansteigende und verwüstende Ueberschwemmungen mit den eben geschilderten Wirkungen einerseits, grosse Trockniss der Flussthäler in der regenlosen Jahreszeit andererseits, dies sind die unausbleiblichen Folgen der mangelnden Waldungen im Gebirge, während ein üppiger Waldbestand auf den Höhen dem Abfluss des Wassers mit einem Male alle diese Schrecknisse nimmt und nur dessen Wohlthaten empfinden lässt. Ein solcher bewirkt, dass der Abfluss langsam vor sich geht, auch bis in die trockne Jahreszeit vorhält, und aus diesem Grunde hauptsächlich sehen wir in Deutschland unterhalb unserer bewaldeten Höhen lachende Wiesenthäler, während wir in Oberitalien und vielen Gegenden Frankreichs Ueberschwemmungsgebieten, mit Trümmernmassen überdeckt, anstatt eines Flussbettes begegnen, zwischen denen wir Mühe haben, einen dünnen Wasserfaden zu entdecken. Dies ist einer jener Gesichtspunkte, auf die sich der sogenannte Einfluss der Wälder auf das Klima\*\*\*) zurückführen lässt.

---

\*) Ueber die Bedeutung der abgefallenen Blätter für das Verhalten eines Waldbodens dem Wasser gegenüber vergl. u. A. Krutzsch: Chem. Ackerm. 1863, p. 15 u. f.

\*\*) Regenmesser in verschiedenen Beständen aufgestellt, lehrten, dass von der auf einen Wald fallenden Regenmenge im Durchschnitt des Jahres ungefähr  $\frac{3}{4}$  der gefallenen Wassermenge direct auf den Boden des Waldes gelangt (vergl. Ebermayer: Die physikalisch. Einwirkungen des Waldes etc. 1873, p. 205)

\*\*\*) Was in praktischer Hinsicht namentlich in Bezug auf die geschilderte Wirkung der Bewaldung der Gebirge hervorgehoben zu werden verdient und auch genugsam hervorgehoben wird, ist, dass die einmal durch irgend einen wirtschaftlichen Missgriff vorgenommene Ent-

Bei weitem am wichtigsten ist trotz alledem die in dritter Linie unterschiedene Einwirkung des Pflanzenwuchses auf die Eigenschaften der Ackererde; ich meine die Veränderungen, die in derselben *durch Einverleibung der auf ihr producirten Pflanzensubstanz* unmittelbar und mittelbar verursacht werden. Nach dem natürlichen Lauf der Dinge sterben die gewachsenen Pflanzen nach einer grösseren oder kleineren Reihe von Monaten oder Jahren ab und lassen ihre gesammte Masse, soweit sie nicht von Thieren verzehrt worden ist, auf dem Boden, der sie ernährte, zurück. Die Pflanzensubstanz enthält eine gewisse Menge Wasser, auf dessen Vorhandensein wir hier keine Rücksicht zu nehmen brauchen, eine Reihe von mehr oder minder rasch verwesenden organischen Stoffen, deren Kohlenstoff zu einem sehr grossen Theil, und deren Stickstoff auch zum Theil aus der Atmosphäre entnommen ist; sie hinterlässt endlich eine Anzahl von Aschenbestandtheilen, die sammt und sonders dem Boden entnommen sind.

Die organischen Stoffe, an denen der Boden auf diese Weise bereichert wird, veranlassen einmal eine Aenderung der *physikalischen Eigenschaften der Ackererde*. Die verwesenden Substanzen werden bald sehr dunkel gefärbt und ändern so die Farbe der oberen Bodenschicht, sie sind von grosser Lockerheit, und diese Eigenschaftsänderungen sind, wie wir bald einsehen werden, von grosser Bedeutung für das Pflanzenwachsthum unter den gewöhnlichen Umständen.

Die organischen Stoffe entwickeln ferner bei ihrer Zersetzung ansehnliche Mengen von *Kohlensäure*. Dieselbe ist, wie wir wissen, durch die Wurzeln zugeführt, kein eigentliches Nahrungsmittel der grünen Pflanzen; sie ist aber, wie wir erst kürzlich gesehen haben, ein sehr wichtiges Agens zur weiteren Aufschliessung des Bodens. Es muss dabei besonders betont werden, dass die Luft und das Wasser einer mit verwesenden organischen Resten erfüllten Ackererde ganz unvergleichlich viel reicher an Kohlensäure ist als die atmosphärische Luft und die Meteorwässer\*), und dass daher alle die Verwitterungsprocesse, die in der noch unverwitterte Gesteinselemente enthaltenden Bodenschicht verlaufen können, und welche auf die Wirksamkeit von mit Kohlensäure geschwängertem Wasser zurückgeführt werden müssen, durch die Anwesenheit jener verwesenden Substanzen ganz ausserordentlich gefördert werden. Die Verwitterung derartiger Gesteinselemente ist aber in vielen Fällen gleichbedeutend mit der Ueberführung wichtiger Pflanzennährstoffe, wie Kali, Phosphorsäure, in Lösung oder in leichter zugängliche Formen\*\*).

waldung nicht wieder nach Belieben corrigirt werden kann, da, wie wir gesehen haben, das eigenthümliche Verhältniss besteht, dass der Bestand dieser Vegetation nothwendig ist zur Herstellung der Bedingungen, die zu ihrer weiteren Ausbreitung unerlässlich erscheint. Diese Andeutung mag hier genügen, um auf ein wirtschaftlich interessantes Problem hinzuweisen, das sich auf das beschriebene physische Verhalten gründet.

\*) Vergl. Boussingault: *Agronomie etc.* II. 1861, p. 78.

\*\*) Auch noch andere Verwesungsproducte als die Kohlensäure und etwa die gleich zu besprechenden salpetersauren Verbindungen nehmen an der Beförderung des Verwitterungsprocesses im Boden Theil. Senft (vergl. *Landw. Jahresber. f. 1867/68*, p. 9) hat die Zersetzung von Oligoklas und anderen Silicaten unter der Einwirkung von humussaurem Kali beobachtet und damit die Aufschliessung von Gesteinsschutt von Granit und Basalt durch Jauche, wie sie in Thüringen zur Düngererzeugung üblich ist, in Beziehung gebracht.

Als Verwesungsproduct von allerhöchster Wichtigkeit bleibt noch das aus der stickstoffhaltigen organischen Substanz wiewohl in kleinerem Massstabe sich bildende *Ammoniak*, oder wenn die Verhältnisse im Boden Oxydationserscheinungen ungünstig sind, die *Salpetersäure* zu besprechen übrig. Beide Stoffe sind in ihren salzartigen Verbindungen wichtige und in der Natur sparsam verbreitete Pflanzennährstoffe. Wir haben schon in einer früheren Vorlesung\*) gesehen und auch sonst wiederholt Andeutungen für diesen Sachverhalt gegeben, dass, wenn eines unserer gewöhnlichen höheren Gewächse auf einem ausgeglühten Boden auch bei Begiessen mit Regenwasser nicht üppig gedeiht, dies vor Allem dem Umstande zuzuschreiben ist, dass es dort an stickstoffhaltiger Nahrung ganz und gar gebricht; denn es gelingt Pflanzen in solchen Böden mit Ueppigkeit fortzubringen, wenn man die letzteren mit einer geringen Menge Ammoniaksalz oder Salpeter versetzt\*\*), und ganz dasselbe geht auch aus den Resultaten unserer Wasserkulturen hervor. Ein noch völlig vegetationsleerer und auch von thierischen Resten freier Boden verhält sich aber in Bezug auf seinen Stickstoffgehalt einem frisch ausgeglühten Boden durchaus ähnlich. In ihm konnte sich, da die Mineralien, denen der noch unorganische Boden sein Dasein verdankt, nur verschwindende Spuren von Ammoniak zu enthalten pflegen, nur aus dem Regenwasser und den andern Niederschlägen eine sehr geringe Menge gebundenen Stickstoffs ansammeln.

Auf diese Weise werden dann die Vortheile einer verwesenden Pflanzenmasse für die Fruchtbarkeit einer Ackerkrume aus einem weiteren Gesichtspunkte begreiflich. Die Pflanze hat während ihres ganzen Lebens allen gebundenen Stickstoff, den sie mit den Wurzeln aus den stets von neuem durch die Ackererde rieselnden meteorischen Wässern schöpfen konnte, und einen kleinen Theil desjenigen, der ihren oberirdischen Organen zugänglich war, assimiliert und in Form von organischen Substanzen in sich aufgespeichert. Diese ganze Menge gelangt nun, wenn die Pflanze dem Tode verfällt, für die nachkommende Generation durch Verwesung nach und nach zur Verfügung, und so wird eine dem unorganischen Boden völlig fremde Stickstoffquelle durch diesen Vorgang eröffnet, und man begreift leicht die Bedeutung, welche diese Verhältnisse unter den geschilderten Umständen für das üppige Gedeihen der nun auftretenden Gewächse haben müssen\*\*\*).

Es ist wohl am Platze, dieses Verhalten durch eine vergleichende Analyse des Ober- und Untergrundes eines Bodens zu illustriren. Auf der Versuchsstation zu

---

\*) Siehe die zwölfte Vorlesung p. 196.

\*\*) Vergl. E. Wolff: Prakt. Düngerlehre p. 5; Chem. Centralbl. 1852 p. 657 und in Mulder: Chemie der Ackerkr. III. p. 125 f.

\*\*\*); Aus dem eben beschriebenen Verhalten, dass die rein *mineralischen* Nährstoffe, Ammoniak und Salpetersäure dem natürlichen Lauf der Dinge nach durch Einverleibung von *organischen* Stoffen in die Erde der Pflanze dargeboten werden, entsprang das Missverständniss, in Folge dessen auch gelegentlich die rein mineralischen Stickstoffdünger als nicht mineralische Dünger bezeichnet wurden, und das Liebig (siehe dessen Chem. u. s. w. 1862; Einleitung u. s. w. p. 32) in seiner Erwiderung auf die Angriffe von Lawes und Gilbert so geschickt zu benutzen verstand. Diese haben indessen ihr Recht gewahrt (Journ. of the R. agr. Soc. [2] V. 9 p. 100).

Wageningen wurden unfruchtbare dilluviale Heidesandböden analysirt. Einer davon zeigte folgende Verhältnisse:

|                                         | Obergrund. | Mittelgrund. | Untergrund. |                                             |
|-----------------------------------------|------------|--------------|-------------|---------------------------------------------|
| CaCO <sub>3</sub> . . . . .             | 0          | 0            | 0           |                                             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . . | 0,023      | 0,019        | 0,009       |                                             |
| N (leicht zersetzbar)                   | 0,023      | 0,007        | 0,007       |                                             |
| CaO . . . . .                           | 0,03       | Spur         | Spur        | } durch kalte<br>concentrirte<br>Salzsäure. |
| MgO . . . . .                           | 0,01       | 0,02         | 0,004       |                                             |
| K <sub>2</sub> O . . . . .              | 0,01       | 0,01         | 0           |                                             |
| SO <sub>3</sub> . . . . .               | Spur       | 0            | 0,004       |                                             |
| Glühverlust . . . .                     | 13,6       | 0            | 0           |                                             |

Man sieht, nicht bloss verbrennliche Substanz und Stickstoff hatte sich in der humosen Schicht, welche von Heidepflanzen erzeugt war, concentrirt, sondern auch die unverbrennlichen Pflanzennährstoffe bis auf einen gewissen Grad.

Auf die geltend gemachten Gesichtspunkte lässt sich beinahe die ganze Bedeutung des *Humus* — dies ist die altherkömmliche Bezeichnung für die in der Ackererde enthaltenen verwesenden organischen Stoffe — für die Fruchtbarkeit der Ackererde zurückführen; nur sind für dessen vollkommene Würdigung noch die im Vorhergehenden erst angedeuteten physikalischen Eigenschaften humoser Böden in Betracht zu ziehen. Man ersieht, dass diese Bedeutung von Seiten der Praxis nicht überschätzt, sondern nur theilweise falsch interpretirt worden ist, indem man glaubte, den organischen Substanzen des Humus selbst direct nährenden Wirkungen zuschreiben zu müssen. Die Theorie, welche die Unrichtigkeit der so sich ergebenden Ernährungslehre erkannt hatte, aber noch nicht so weit vorgerückt war, um die eben erläuterte secundäre Wichtigkeit des sog. Humus in seiner vollen Tragweite zu begreifen, war seiner Zeit geneigt, diesen verwesenden organischen Substanzen ihre ganze Bedeutung abzusprechen\*); und hierin stellt sich uns das beim Beginn der theoretischen Bearbeitung irgend eines praktischen Industriezweiges sich fast regelmässig wiederholende Schauspiel dar, dass die Theorie, gestützt auf richtige Grundsätze, aber erst in Besitz einer ungenügenden Anzahl von den Factoren, die bei jenem in Betracht kommen, sehr thörichte Massregeln empfiehlt, während die Praxis ihre auf rein empirischem Wege gefundenen, aber sehr zweckmässigen Handlungsmaximen durch eine allen wissenschaftlich feststehenden Grundsätzen widersprechende Theorie zu stützen sucht. Hierdurch wäre z. B. das Verhältniss von Liebig zu Thaer in der Humusfrage treffend charakterirt.

Durch Einverleibung humoser Stoffe können, wie wir gesehen haben, die Eigenschaften der Ackererde dem Pflanzenwachsthum gegenüber in sehr mannigfaltiger und tief eingreifender Weise geändert werden. Es ist darnach leicht verständlich, dass der Gehalt an solchen Stoffen als Classificirungsprincip für die Böden ebenso

\*) Auch in der neueren Zeit ging Knop wieder etwas zu weit in dieser Richtung vor, indem er die Humussubstanzen lediglich als Symptom der Fruchtbarkeit, nicht aber als einen „Urfactor“ derselben aufgefasst haben wollte (Landw. Versuchsst. XV. p. 20), was nur unter ganz bestimmten Verhältnissen richtig ist.

wie deren rein mineralische Grundlage benutzt worden ist. Ein jeder der vorhin\*) aufgezählten Böden kann in der That durch Aufnahme von genügend grossen Mengen verwesender organischer Substanz zum *Humusboden* oder, wenn eine solche Ansammlung unter ganz eigenthümlichen Verwesungsbedingungen, wie sie in Böden mit stagnirendem Wasser gefunden werden, und unter Erzeugung von ganz eigenthümlichen Verwesungsproducten geschieht, zum *Moorboden* werden — Bezeichnungen, von welchen wir eben aus diesem Grunde bei jener Eintheilung keinen Gebrauch gemacht haben.

Man könnte sich vielleicht an dieser Stelle mit der kurzen gegebenen Schilderung von der Bedeutung der humosen Stoffe begnügen, da in derselben das Wesentliche gegeben ist, worauf die früher so umfangreiche Humustheorie nach der Anwendung strengerer wissenschaftlichen Methoden zusammengeschrumpft ist. Allein man hat sich einmal gewöhnt, den sogenannten Humusstoffen eine eingehendere Beachtung zu widmen, dabei ist viel Interessantes und Nützlichendes, wenn auch mehr Nebensächliches zu Tage gekommen, und so werden auch wir den Resultaten der umfassenden Untersuchungen über diese Substanzen und deren Zusammensetzung einige Aufmerksamkeit schenken müssen.

Der *Humus* ist keine bestimmte chemische Substanz von unabänderlicher Zusammensetzung, auch nicht ein Gemisch solcher Substanzen, sondern man bezeichnet mit diesem Namen, wie wir schon hervorgehoben haben, ein Gemisch von chemisch noch unzulänglich definirten Verwesungsproducten, die unausgesetzt eine weitere Veränderung durch die Verwesung erleiden und schon deshalb keine bestimmte Zusammensetzung und auch keine ganz bestimmten chemischen und physikalischen Eigenschaften zeigen können. Zusammensetzung und Eigenschaften dieser Stoffe sind vielmehr in den engsten Grenzen abhängig von dem Stadium des Verwesungsprocesses und nicht von diesem allein, sondern auch von der Richtung dieses Verwesungsprocesses, von dessen verschiedenem Charakter unter verschiedenen äusseren Verhältnissen.

Gewisse, namentlich physikalische Eigenschaften haben freilich alle sogenannten Humusstoffe, in welchem Stadium sich die Verwesung auch befinden mag, und welche Verwesungsbedingungen auch vorhanden sind, mit einander gemein. Es sind dies die auffallende dunkle Färbung fast aller dieser Substanzen — sie mögen nun in ihrer Zusammensetzung der Holzfaser noch nahestehen oder bereits die Zusammensetzung des Torfes und der Braunkohle angenommen haben, sie mögen durch Verwesung von Pflanzensubstanz unter Wasser oder bei ungehindertem Luftzutritt Entstehung genommen haben — welche einer Ackererde so wichtige Eigenschaften den Sonnenstrahlen gegenüber\*\*) verleiht, ferner deren Condensationsvermögen für Wasser, deren grosse Wassercapacität.

Aber auch einige chemischen Eigenschaften der Humussubstanzen so verschiedenen Ursprungs und so verschiedenen Verwesungsstadiums bleiben sich ziemlich gleich, z. B. die Fähigkeit, eine noch weitere Verwesung zu erleiden und so Kohlen-

---

\*) pag. 49.

\*\*) Vergl. die 30. Vorlesung.

säure zu entwickeln, ferner die Fähigkeit Basen zu binden und zum Theil im unlösligen Zustande festzuhalten.

Was den Einfluss des Verwesungsstadiums auf die Eigenschaften der Humusstoffe betrifft, so kann einfach gesagt werden, dass je frischer der Humus, je unmittelbarer er aus den verweslichen organischen Substanzen hervorgegangen ist, dass um so reicher dessen Zersetzungsproducte, Kohlensäure und Salpetersäure, fliessen werden. Diese Behauptung bedarf keines weiteren Beleges; es ist leicht verständlich, dass die leicht zersetzbarsten Substanzen zuerst zerfallen und dann immer mehr Stoffe einer stabileren Constitution übrig bleiben oder resultiren und so nach und nach die Oberhand gewinnen. Eine Unterscheidung zwischen „frischem“ und „altem“ Humus wird desshalb zweckentsprechend sein, um dieses verschiedene chemische Verhalten auszudrücken.

Eine Verschiedenheit des Verlaufs des Verwesungsprocesses ist insofern leicht festzustellen, als vegetabilische Massen, bei hoher Temperatur an der Luft sich zersetzend, sich sehr viel rascher und vollständiger zersetzen und so wenig humusartige Reste zurücklassen, als ferner bei hoher Temperatur unter Wasser die Sumpfgasgährung, welche selbst die Cellulose nicht verschont, in den Vordergrund tritt, und so die Torfbildung, d. i. ja die Humusbildung im Grossen, nur da eine grosse Ausdehnung gewinnt, wo vegetabilische Massen *unter Wasser* oder sonst bei gehindertem Luftzutritt und *bei niedriger Temperatur* der Zersetzung überlassen werden\*). Wo diese Bedingungen erfüllt sind, da entstehen unter Einfluss bestimmter Pflanzen Böden, die so reich sind an Humusstoffen, dass sie mit einem eigenen Namen, dem von *Moorböden* bezeichnet werden. Soweit es indessen zur Humusbildung kommt, so ist das Endresultat in diesen verschiedenen Fällen nicht allzu verschieden. Kohlen-

---

\*) Boussingault hat werthvolle Beobachtungen mitgetheilt über den Einfluss der Temperatur auf die Verwesung, über den verschiedenen Verlauf dieses Processes in verschiedenen warmen Klimaten. Die Zersetzung organischer Ueberreste soll nach diesem Forscher unter den Tropen ganz anders verlaufen und z. B. Torf in diesen heissen Zonen eine ganz unbekannte Bildung sein. Dasselbst soll der Zerfall organischer Stoffe unter Wasser vor sich gehen unter Bildung von Kohlensäure und Sumpfgas. Erhebt man sich aber in derselben Zone einige tausend Fuss über den Meeresspiegel, z. B. auf das Plateau der Anden, wo eine mittlere Temperatur herrscht von 8–10° C, da beginnt auch wieder die Torfbildung. Trotzdem sind, wie ich aus eigener Erfahrung (d. h. aus der Analyse vieler Erden aus Sumatra) weiss, die Walderden auch in den Tropen beinahe ganz ausschliesslich aus Humusstoffen zusammengesetzt. Wir brauchen übrigens nicht so weit zu gehen, um ganz ähnliche Beobachtungen zu machen. Es ist Vielen, die häufig ackerbaureibende Gebirgsgegenden durchstreift haben, eine wohlbekannte Erscheinung, dass die höher am Berge gelegenen Aecker sich durch eine dunklere Erdfärbung von den tiefer liegenden auszeichnen, und dieselbe lehrt uns durch den Augenschein, dass in den grösseren Höhen bei durchschnittlich niedrigeren Temperaturen der Verwesungsprocess langsamer fortschreitet und immer noch einige humose Reste übrig lässt, die unter den dort herrschenden Bedingungen kaum noch erheblich verwesungsfähig und darum auch vom Praktiker wenig geschätzt sind und mit dem Namen *kalter Humus* bezeichnet werden. Auch Versuche von Peters, wobei Erde künstlich erwärmt ward, haben hiermit völlig übereinstimmende Ergebnisse gehabt. Vergl. Jahresber. für Agrikulturchem. 1862/63 p. 9. Auch in der Forstwirtschaft die gleiche Erfahrung. Ebermayer: Landw. Versuchsst. Bd. 18, p. 64.

stoffverlust auf Kosten des spärlich zutretenden Sauerstoffs und Wasserverlust haben gleichzeitig statt. Allein der Wasseraustritt ist etwas bedeutender als der Kohlenstoffverlust durch Oxydation, und so resultiren relativ kohlenstoffreichere Substanzen etwa von der Zusammensetzung eines theilweise entwässerten Kohlehydrats. Analysen\*) lehren z. B. Folgendes:

| Eichenholz (frisch) |               | Eichenholz (an der Luft verfault) |                  |
|---------------------|---------------|-----------------------------------|------------------|
|                     |               | I. hellbraun.                     | II. dunkelbraun. |
| C                   | 50,2%         | 53,6%                             | 56,2%            |
| H                   | 6,1 "         | 5,2 "                             | 4,9 "            |
| N                   | { 43,8—44,0 " | 41,2 "                            | 38,9 "           |
| O                   |               |                                   |                  |

| Torf                             |        |                              |                               |
|----------------------------------|--------|------------------------------|-------------------------------|
| braun mit deutl. Pflanzenresten. |        | 7 Fuss unter der Oberfläche. | 14 Fuss tief, völlig schwarz. |
| C                                | 57,8%  | 62,0%                        | 64,1%                         |
| H                                | 5,4 "  | 5,2 "                        | 5,0 "                         |
| N                                | 0,8 "  | 2,1 "                        | 4,1 "                         |
| O                                | 36,0 " | 30,7 "                       | 26,8 "                        |

Die Analysen zeigen also bei dem Humificirungsprocess eine fortwährende Zunahme an Kohlenstoff (nebenbei auch an Stickstoff); und die Torfe verschiedenen Alters können dabei mit frischem und mehr oder minder zersetztem Holze in eine Linie gestellt werden, weil ja die Torfbildung grossentheils auf Kosten von Holzigen Stengeltheilen geschieht\*\*).

Unterschiede mit Bezug auf die Verwesungsbedingungen gewähren natürlich die verschiedenen Bodenarten mit ihren specifischen physikalischen Eigenthümlichkeiten, durch welche sie der atmosphärischen Luft mehr oder weniger Zutritt gestatten, und darum sehen wir in einem Boden die organischen Ueberreste und Düngestoffe rasch verschwinden, in einem andern dieselben sich lange conserviren. Eisenoxydhaltige Böden oder Bodenarten poröser Natur, welche das erstere Verhalten zeigen, werden auch wohl als „zehrende“ oder „hungrige“ bezeichnet.

Der Unterschied, welchen hinsichtlich des Verlaufs des Verwesungsprocesses mit Wasser überladene und andererseits trockene gut durchlüftete Böden zeigen, spielt in der Praxis eine sehr hervorragende Rolle. Bei der Zersetzung unter Wasser oder sonst bei ungenügendem Luftzutritt bilden sich Substanzen, deren Gemeng der

\*) Handwörterb. der Chemie 1848 III. p. 927. Die vergleichenden Torfanalysen rühren von Detmer her.

\*\*) Die eigentliche Frage, aus welchen chemischen Körpern die schwarzen Humuskörper sich bilden, scheint niemals gut in Angriff genommen zu sein. Aber die Schwierigkeiten, namentlich in der grossen Zeitdauer der Versuche begründet, sind auch enorm. Ich selbst habe alle möglichen organischen Stoffe, auch die verschiedensten Kohlehydrate und Proteinstoffe in geschlossenen Flaschen mit reinem Sand und Wasser vermischt jahrelang der Zersetzung überlassen und nur aus der Gerbsäure unzweifelhafte Humuskörper erhalten, während doch die Erfahrung der Torfbildung lehrt, dass zum mindesten auch die Cellulose sich daran theilnimmt. — Ebenso wenig erörtert ist die Frage, ob etwa Gährungsprocesse in die Humificirung hineinspielen.

Praktiker mit dem Namen *saurer Humus* belegt, und die auf's Gedeihen aller unserer einheimischen Kulturgewächse einen nachtheiligen Einfluss ausüben. Vermuthlich handelt sich's dabei einfach um Humussäuren, die im Uebermasse anwesend sind; zuweilen werden auch durch diese andere Säuren und selbst Schwefelsäure frei gemacht. Bei der Verwesung derselben Pflanzenüberreste in einer durchlüfteten Ackererde ist nichts dergleichen zu bemerken, und der unter diesen Umständen sich bildende Humus wird auch wohl als *milder Humus* bezeichnet. Saurer Humus pflegt nach dem Trockenlegen, oder bei Luftzutritt bald seine schädlichen Eigenschaften zu verlieren, offenbar weil gerade die eigentlichen Humussäuren am ersten durch Oxydation vernichtet werden.

Man hat nun durch mühsame Untersuchungen dahin gestrebt, die unter verschiedenen Umständen bei der Verwesung organischer Ueberreste entstehenden Substanzen näher chemisch zu definiren; allein man kann wohl, ohne gegen die dahin gerichteten Bestrebungen unbillig zu sein, aussprechen, dass trotz des grossen, durch derartige Untersuchungen angehäuften\*) Materials sehr wenig wirkliche Kenntniss in Bezug auf die chemische Natur der Humusstoffe, noch auch praktisch wichtige Gesichtspunkte dadurch erlangt worden sind. Man hat eine zwar grosse Anzahl von Stoffen, welche alle als Humussubstanzen im weitesten Sinne bezeichnet werden können, aus der mit verwesenden Stoffen durchsetzten Ackererde dargestellt, ausserdem dieselben grossentheils aus genau gekannten organischen Körpern zu bilden versucht, alsdann deren Zusammensetzung ermittelt und ihre Eigenschaften festgestellt. Doch wir sind durch alle diese Untersuchungen im Unsicheren geblieben darüber, ob wir's in diesen Substanzen mit einigermaßen chemisch reinen Stoffen zu thun haben; denn ihre scharfe Trennung ist, da sie weder selbst noch ihre bekannten Verbindungen krystallisiren und ebenso wenig destillirt werden können und so von vornherein die beiden Methoden abgeschnitten sind, durch welche wir hauptsächlich die Reindarstellung von Substanzen unternehmen, augenscheinlich nicht geglückt. Dies zeigen die sehr bedeutenden Abweichungen in den Analysen der gleichbenannten, verschiedenen Darstellungen entstammenden, Stoffe.

Ebensowenig haben uns die vorhandenen Untersuchungen etwas Sicheres gelehrt über die Functionen der einzelnen Stoffe in der Ackererde oder gar über die Bedeutung als Pflanzennährmittel. In Bezug auf den letzteren Punkt haben wir am geeigneten Orte einige Bemerkungen gemacht, aus denen hervorging, dass zwar theoretisch der Assimilation von organischen Substanzen, auch bei den grünen Gewächsen, nichts im Wege steht, dass aber eine sehr erhebliche Aufnahme dieser Stoffe, welche der Pflanze zu grossem Nutzen gereichte und für die landwirthschaftliche Praxis von Bedeutung wäre, nicht mit Sicherheit nachgewiesen, im Gegentheil höchst unwahrscheinlich ist. Das, was damals gesagt wurde, können wir hier speciell für die einzelnen Humussubstanzen wiederholen. Wenn man auch hin und wieder die von gelösten Humusstoffen herrührende braune Färbung einer Nährstofflösung, in welcher man Pflanzen wachsen liess, sich vermindern sah und selbst die

---

\*) Ich verweise auf die umfassende Zusammenstellung desselben bei Mulder: *Chemie der Ackerkrume*. Berlin 1863. I. p. 308—360.



Aufnahme einzelner dieser organischen Stoffe mit der Wage in der Hand constatirte\*), und es vielleicht selbst in hohem Grade wahrscheinlich gemacht hat, dass ein Theil der aufgenommenen Stoffe wirklich von der Pflanze verarbeitet worden ist, so scheint doch — und man könnte dies schon aus der Mühe schliessen, die dieser Nachweis gekostet hat — den Humusstoffen eine so geringe osmotische Fähigkeit\*\*) der Wurzelmembran unserer höheren Pflanzen gegenüber zuzukommen, dass von einer hervorragenden praktischen Bedeutung jener Stoffe als Nährstoffe zumal für die Kulturgewächse wohl nicht die Rede sein kann\*\*\*).

*Ulminsäure* und *Huminsäure* unterscheiden sich äusserlich wesentlich nur durch die Farbe, die erstere ist braun, die letztere schwarz gefärbt. In alkalischen Erden sind dieselben unlöslich, sie werden vielmehr durch dieselben wie durch alle Erdsalze gefällt, und ihre Alkalisalze verhalten sich also in dieser Hinsicht den Seifen analog. Daher rührt es, dass die meisten, namentlich die kalkhaltigen Ackererden, mit destillirtem Wasser behandelt, anfangs keine braungefärbte Lösung geben, sondern dies erst thun, wenn die Erdsalze einigermassen durch Auslaugen entfernt sind, wenn das Auslaugungswasser seine „Härte“ verloren hat. Daher rührt es weiter, dass die alkali-reichen Wässer, welche von kalk- und magnesia-armen Gebirgsarten abziehen, leicht braun gefärbt sind, ebenso die stagnirenden Moorwässer kalkarmer Gegenden, während die harten Quellwässer nahezu farblos erscheinen,

---

\*) Vergl. über diesen Gegenstand besonders Mulder a. a. O. Bd. II. p. 96—116 und Zusammenstellungen der Litteratur bei Johnson: „Wie die Feldfrüchte sich nähren“. 1872 p. 261 f.

\*\*) Vergl. die Resultate de Saussure's über diesen Gegenstand. Knop: Kreislauf des Stoffs II p. 200. Ausgenommen ist jedoch hiervon, wie es scheint, die Quellsatzsäure (vergl. Detmer: Landw. Versuchsst. XV. p. 284), und auch Petermann hat eine entschiedene osmotische Befähigung einer Substanz im Boden nachgewiesen, die freilich nicht den Humusstoffen im engeren Sinne angehört (vergl. dessen Recherches sur la dialyse etc. Bruxelles 1882).

\*\*\* Mulder unterscheidet folgende Humusstoffe: *Quellsäure* (*Krensäure*), *Quellsatzsäure* (*Apokrensäure*), *Ulminsäure*, *Huminsäure*, *Ulm* und *Humin*, welchen folgende Eigenschaften zukommen sollen. — Die als Säuren bezeichneten Stoffe sind sammt und sonders in Flüssigkeiten, welche Alkalien aufgelöst enthalten, löslich, und man schreibt ihnen deshalb die Fähigkeit zu, sich mit denselben zu verbinden. Humin und Ulmin sind in Wasser wie in alkalischen Flüssigkeiten unlöslich. Quellsäure und Quellsatzsäure sind schon in reinem Wasser löslich. — Die *Quellsäure*, welche noch nicht künstlich dargestellt werden konnte, ist nicht braun gefärbt, sondern farblos, ebenso die Salze derselben, die Verbindungen mit Alkalien und Erden. An der Luft geht die feuchte Säure rasch durch Oxydation in die braungefärbte *Quellsatzsäure* über; diese soll wieder durch Wasserstoff im Entstehungsmomente in die sauerstoffärmere Quellsäure übergehen. Dieselbe Reduction und Oxydation soll abwechselungsweise in der Ackererde vor sich gehen, je nachdem die Bedingungen in derselben dem einen oder dem andern Prozesse günstiger sind. In der trocknen durchlüfteten Ackererde soll die Oxydation zu Quellsatzsäure, in der nassen, mit Wasser imprägnirten, namentlich in tieferen Schichten in Folge des Sauerstoffverbrauchs anderer Stoffe, der Reductionsprocess zu Quellsäure stattfinden. — Die eigentlichen, sammt und sonders dunkel gefärbten *Humin-* und *Ulmstoffe* gehen durch Oxydation mit Salpetersäure in Quellsatzsäure (resp. quellsatzsaures Ammoniak) über. Soweit diese Stoffe in Alkalien auflöslich sind, werden sie, wie bemerkt, als Säuren bezeichnet.

weil sie eben nicht im Stande sind, aus den Bodenschichten, die sie durchsickern, die braungefärbten Verwesungsproducte, Huminsäure und Ulminsäure, in sich aufzunehmen. Bemerkenswerth ist auch die Löslichkeit dieser Stoffe in Flüssigkeiten, die phosphorsaures Ammoniak und andere phosphorsaure Salze enthalten.

Als *Ulmin* und *Humin* werden schliesslich die auch in Alkalien unlöslichen dunkelgefärbten Verwesungsproducte bezeichnet. Die braunen werden — ganz analog der Bezeichnung der durch Alkalien ausziehbaren Substanzen — *Ulmin*, die schwarzen *Humin* genannt. Beide sind aber wenigstens theilweise in *heissen* alkalischen Flüssigkeiten löslich, wobei sie in die betreffenden Säuren überzugehen scheinen. Aber selbst eine Ackererde, die successive mit destillirtem Wasser, kalter und heisser Alkalilauge behandelt und erschöpft worden ist, enthält noch geringere oder grössere Reste von dunkelgefärbten Substanzen.

Wichtig für eine Theorie der Kalkdüngung auf humusreichen, namentlich sauren Humus enthaltenden Bodenarten, ist noch die bei dergleichen Versuchen gemachte Erfahrung, dass die *humussaur*en Salze, wie man alle jene Verbindungen als Collectivbegriff bezeichnet, im feuchten Zustande sich weit leichter oxydiren als die Humusstoffe für sich \*).

Was nun die Zusammensetzung dieser verschiedenen Stoffe betrifft, so habe ich es absichtlich vermieden, Formeln hierher zu setzen. Der Grund dafür liegt einfach in dem Vorhangesagten. Es ist keine Bürgschaft dafür vorhanden, dass man es mit wirklich reinen Stoffen zu thun hat. Die Abweichung der Resultate der vorhandenen Analysen von einander bestätigt diese Voraussetzung vollkommen. Einige dieser mögen als Beleg hiefür und, um eine Vorstellung von der ungefähren Zusammensetzung der Humuskörper zu geben, hier ihren Platz finden.

|   | <i>Ulmin(säure)</i> |                            | <i>Humin</i> | <i>Huminsäure</i> |              |        |        |
|---|---------------------|----------------------------|--------------|-------------------|--------------|--------|--------|
|   | Aus Zucker**).      | Aus alter Chinarrinde***). | Aus Zucker.  | Aus Zucker.       | Natürlich †) |        | ††)    |
| C | 63,4%               | 59,4%                      | 63,4%        | 64,4%             | 56,3—59,0%   | 59,7%  | 58,2%  |
| H | 4,8 „               | 6,1 „                      | 4,3 „        | 4,3 „             | 4,4—4,9 „    | 4,5 „  | 5,0 „  |
| N | 0 „                 | 3,5 „                      | 0 „          | 0 „               | 2,8—3,6 „    | 0 „    | 0 „    |
| O | 31,8 „              | 31,0 „                     | 32,3 „       | 31,3 „            | 32,7—36,0 „  | 35,8 „ | 36,8 „ |

\*) Diese Einwirkung der Basen auf die Oxydirbarkeit der Humusstoffe, die landwirthschaftlich von Bedeutung ist, harret noch ihrer theoretischen Erklärung, allein ähnliche That-sachen sind in der Chemie mehrere bekannt; so hat Chevreul beobachtet, dass mehrere Gallussäure-haltige Farbstoffe in Auflösung beliebig lange Zeit unzersetzt aufbewahrt werden können, dass dagegen die Anwesenheit einer kleinen Menge Alkali genügt, um zur Sauerstoff-absorption Veranlassung zu geben, welche eine tiefe Bräunung zur Folge hat. Auch die Pyrogallussäure ist bekanntlich nur wirksam in alkalischen Gemischen.

\*\*) Von Stein analysirt: Annal. d. Pharm. Bd. 30. p. 86. Hiermit in Uebereinstimmung neuere Analysen von Conrad v. Guthzeit: Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch. 1885, p. 443.

\*\*\*) Hesse Annal. d. Pharm. Bd. 109. p. 342.

†) Von Detmer rein dargestellt.

††) Doppleritanalyse der Versuchstation Wageningen. Vergl. Landw. Versuchsst. Bd. 29, p. 313. Die übrigen Analysen sind dem Mulder'schen Werke entnommen.

Ein Blick auf die mitgetheilten Zahlen lehrt, wie wenig es noch gelungen ist, die einzelnen Stoffe in chemischer Reinheit darzustellen, und wie kühn es noch vorderhand erscheinen muss, die gleichbenannten Stoffe von so abweichender Zusammensetzung mit einander zu identificiren. Dagegen lässt sich Folgendes zur allgemeinen Charakterisirung der Durchschnittszusammensetzung der Stoffe sagen: Die schwarzen *Huminkörper* sowohl als die braunen *Ulminkörper*\*) enthalten eine weit höhere Menge Kohlenstoff als die Kohlehydrate, oder auch als das Holz, aus welchen Stoffen sie der grossen Masse nach in der Natur als hervorgegangen betrachtet werden können (die Cellulose enthält 44,4 % Kohlenstoff, die verschiedenen Hölzer durchschnittlich 50 %); allein sie enthalten Wasserstoff und Sauerstoff nahezu im Verhältniss, wie diese Wasser bilden, und können also betrachtet werden als stark entwässerte Kohlehydrate. Hiermit in Zusammenhang steht die Möglichkeit der künstlichen Bereitung von Humuskörpern aus Kohlehydraten, durch dieselben mit starken wasserentziehenden Säuren zu behandeln, und unter den aufgeführten Analysen finden sich auch solche, wobei der Stoff aus Zucker dargestellt worden war. Die schwärzliche Färbung der gewöhnlichen Schwefelsäure des Handels beruht auf dieser Reaction, welche in diesem Falle durch zufällig hineingefallene Stroh- oder Holztheilchen veranlasst wird.

Von grösserem Gewicht ist für uns der Stickstoffgehalt aller *natürlichen* (nicht gereinigten) Humusstoffe\*\*), der festgestellt werden konnte, auf welchem Wege die Darstellung auch vorgenommen wurde, und welchen Namen die so resultirenden Producte auch immer empfangen haben mögen. Früher hat man diesen Stickstoffgehalt auf einen Ammoniakgehalt aller natürlichen Humussubstanzen geschoben und bezeichnet einen Theil derselben geradezu als Ammoniaksalze der betreffenden Säuren.

Indessen belehren uns schon Mulder's Angaben, dass dem unmöglich so sein kann. Es gelang demselben nicht einmal durch Kalilauge, allen Stickstoff seiner Substanzen in Form von Ammoniak auszutreiben. Eine von ihm dargestellte Huminsäure enthielt z. B. 2,8 % Stickstoff; durch Digestion mit Kali konnte dieselbe bis auf 1,8 % Stickstoff\*\*\*)) heruntergebracht werden. Nun weiss aber Jedermann, dass man mit Kali ein jedes Ammoniaksalz zerstören kann, dass vielmehr Kali schon ein viel zu energisches Mittel ist, wenn man nicht auch stickstoffhaltige organische Substanzen gleichzeitig mit zerstören will. Soll nur das Ammoniak aus einem Gemische, das daneben stickstoffhaltige organische Substanzen unbekannter Zusammensetzung enthält, entfernt werden, so wählt man die nur schwach kaustische Magnesia, und selbst diese greift zuweilen manche stickstoffhaltigen organischen Substanzen noch an†)).

---

\*) Von Detmer wird auf Grund von sehr detaillirten Arbeiten die Existenz einer besonders Ulminsäure gelehnet. Vergl. Landw. Versuchsst. XIV. p. 267.

\*\*) Der Dopplerit macht hiervon eine Ausnahme; allein derselbe ist ja nichts anderes als ein kohlenstoffhaltiges Mineral, das aus Huminsäure oder besser aus homologen Huminsäuren besteht.

\*\*\*)) Vergl. Mulder: a. a. O. I. p. 327, ebenso die Bemerkungen Detmer's: Landw. Versuchsst. XIV. p. 255.

†) Vergl. Brücke: Chem. Centralbl. 1868. p. 376.

Auch die praktische Erfahrung mit solchen humosen Erden belehrt uns, dass wir es unmöglich vorwiegend mit Ammoniakverbindungen in denselben zu thun haben können; denn solche Erden, selbst wenn sie ganze Procente an Stickstoff einschliessen\*), also so viel, wie vielleicht in Hunderten von Knochenmehldüngungen in die Erde gelangen würden, verhalten sich dem Pflanzenwuchs gegenüber durchaus nicht wie Böden, die viel disponiblen Stickstoff enthalten. Dieselben erzeugen kein Lagergetreide und veranlassen keines der untrüglichen Symptome eines grossen verfügbaren Stickstoffvorraths, erweisen sich vielmehr unter Umständen noch dankbar einer Stickstoffdüngung gegenüber; während früher die Liebig'sche Schule aus der gleichen Thatsache des Reichthums des Bodens an Stickstoffverbindungen, die geringe Nützlichkeit von Stickstoffdüngungen ableitete.

Die humosen Stoffe enthalten vielmehr als solche Stickstoff in einer ausserordentlich schwer zugänglichen Form, vermuthlich der des Stickstoffs der Braunkohlen und Steinkohlen ähnlich. Eine neuerdings in dieser Beziehung ausgesprochene Meinung ist auch die, dass manche Eiweisskörper der Pflanzen an Unzersetzbarkeit ungefähr dem thierischen Hornstoffe gleichzusetzen seien, und dass dieselben noch durch die Beimengung von den Humussäuren, die ja mit den Gerbstoffen viele Aehnlichkeit haben, conservirt würden. In jedem Falle stossen wir hier in Bezug auf den Stickstoff des Bodens auf eine ganz ähnliche Thatsache, wie wir sie auch für die Pflanzennährstoffe Kali und Phosphorsäure zu constatiren haben. Wir müssen in dem Boden neben verfügbarem Stickstoff, neben gelösten oder leicht in Lösung überzuführenden Ammoniak- und salpetersauren Verbindungen, zur Zeit unverfügbaren Stickstoff unterscheiden, der ein Bestandtheil ist von sehr wenig veränderlichen organischen Substanzen, welche bei den Veränderungen, die sie erleiden, nur sehr schwer ihren Stickstoff in Form eines zugänglichen Nährstoffes abzuspalten vermögen\*\*.)

---

\*) Ich habe selbst humose Erden untersucht, welche 2,2 % Stickstoff enthielten, und Torfe, die noch stickstoffreicher waren, aber direct mit Magnesia gekocht nur einen kleinen Theil ihres Stickstoffs in Form von Ammoniak abgaben. Aus Grouven'schen Bodenanalysen geht hervor, dass der natürliche Humus des Bodens durchschnittlich etwa 3,6 % Stickstoff enthält, und dass die Felder sich ganz unabhängig von diesem ihrem Stickstoffreichthum für Stickstoffdüngungen dankbar erweisen (vergl. Dritter Ber. von Salzmünde 1868. p. 390 f.). Vergl. über denselben Gegenstand A. Müller: Jahresber. f. Agrik.-Chemie 1866. p. 35 und die Bemerkungen auf p. 36; ferner Boussingault: Agronomie etc. 1860 I. p. 290 und W. Wolf: Landw. Jahrb. II. p. 389.

\*\*) Ueber die schwierige Zugänglichkeit dieser Stickstoffverbindungen für zersetzende Einflüsse geben ausser den landwirthschaftlichen Erfahrungen über die Indifferenz dieser Stoffe die vergleichenden Analysen humoser Stoffe und der Pflanzensubstanz, aus der sie hervorgegangen sind, reichhaltigen Aufschluss. Ich habe selbst die Wurzelreste und die noch lebenden Theile einer Grasnarbe von moorigen Wiesen und den humosen Boden derselben einer vergleichenden Stickstoffbestimmung unterworfen und bezogen auf 100 Theile organische Substanz in den Pflanzenresten 1,3 %, in dem Humus 4,7 % Stickstoff vorgefunden, und dasselbe Resultat ergibt sich durch Vergleichung der vorhin angeführten von Grouven ermittelten Zahlen und den früher mitgetheilten Stickstoffgehalten einzelner Pflanzentheile; sogar de Saussure hatte schon ähnliche Beobachtungen gemacht. Im Durchschnitt verwesen — ganz

Diese eigenthümliche Erscheinung, welcher erst neuerdings die verdiente Beachtung zu Theil geworden ist, hat eine ganz bedeutende praktische Wichtigkeit, auf welche wir später in dem Abschnitt über Düngung wieder kurz zurückkommen werden. Gelingt es durch im Grossen ausführbare Manipulationen, den Stickstoff der Humussubstanzen der Pflanzenernährung zugänglich zu machen, so stehen ganz ungeheure Mengen dieses theuersten aller Düngemittel nicht bloss in den Ackererden selbst, sondern auch in unseren grossen Torflagern für die Pflanzenkultur zu Gebote\*).

Auch der Nutzen, den die Anwesenheit von humosen Stoffen für die Fruchtbarkeit der Ackererde augenscheinlich besitzt, steht z. Th. im Zusammenhang mit diesem Stickstoffgehalte, der, obschon im Augenblicke nur zum geringsten Theile für die Pflanzenwelt verfügbar, doch in dem Masse verfügbar wird, als die humosen Stoffe selber einer weiteren Zersetzung unterliegen. Diese Zersetzung tritt ein namentlich bei höherer Temperatur und durch Begünstigung der Oxydation, wozu nicht allein Trockenlegen, aber auch häufig Beimischung von alkalischen Stoffen, als Kalk, Asche sich als zweckdienlich erwiesen haben. Hierbei wird ein bis dahin festgehaltener Theil des Stickstoffs in Ammoniak und Salpetersäure verwandelt.

Obschon bereits hieraus und aus anderen schon besprochenen oder noch geltend zu machenden Gesichtspunkten sich die Bedeutung des Humus ergibt und somit eine eigentliche specifische Humustheorie, wie die ältere empirische Schule sie wollte, nicht mehr von Nöthen erscheint, so hat es doch selbst auch in der neueren Zeit nicht an Versuchen gefehlt, den merkwürdigen Humussubstanzen wieder zu einer ganz besonderen Rolle bei der Pflanzenernährung zu verhelfen. Namentlich ist hier Grandeau's Erwähnung zu thun, der mit Hülfe von Ammoniak ein Gemisch von Humusstoffen zusammen mit mineralischen Nährstoffen aus der Ackererde extrahirte und dieses Gemisch als eine Art von Verbindung, welche zugleich als eine Quintessenz der Fruchtbarkeit gelten sollte, betrachtete. Nur wurde hierbei — und hierin liegt der Hauptunterschied gegenüber der alten Humustheorie — den Humusstoffen keine direkte

---

entgegengesetzt den Erfahrungen, die man an thierischen Stoffen gemacht hat — die stickstoffhaltigen Pflanzentheile unter den Umständen, wie sie in der Ackererde herrschen, weit langsamer als die Bestandtheile, die von diesem Grundstoff frei sind, denn nur auf diese Weise kann eine Anhäufung dieses letzteren in der Ackererde bewirkt werden; oder es entstehen bei der Verwesung pflanzlicher Proteinstoffe bald eigenthümliche Verbindungen, die nun jeder weiteren Veränderung Trotz bieten. — Ganz ähnliche Erfahrungen über Stickstoffanreicherung humoser Erden, wenn man sie befeuchtet der Oxydation unterwarf, hat Boussingault gemacht (vergl. *Agronomie etc.* I. 1860, p. 321 f.), die sich wenigstens theilweise auf denselben Gesichtspunkt zurückführen lassen.

\*) Der Grouven'sche Process der Verbrennung stickstoffhaltiger Stoffe in überhitztem Wasserdampf, der als analytisches Hilfsmittel durch die Untersuchungen von Kreusler-Landold (Vergl. *Landw. Versuchsst. B.* 30 p. 245) ebenso wie durch eigene zu Wageningen unternommene Untersuchungen, die nicht veröffentlicht worden sind, sich als unzuverlässig erwiesen hat, hat vielleicht für die Produktion von Ammoniaksalz auf Kosten von werthlosen Torfabfällen noch grosse Bedeutung. Es sind dafür eigene Oefen construiert, deren nähere Einrichtung indessen unser Interesse noch nicht in Anspruch nimmt, bis die praktische Durchführbarkeit des Processes sich ergeben hat.

Nährbefähigung, sondern nur die Rolle eines Vehikels zur Ernährung zugeschrieben. Sie wurden gleichsam als das chemische Schifflein betrachtet, in welchem die Nährstoffe bis zur Pflanzenwurzel gefahren wurden, allwo dann Osmose und Dissociation eine Trennung der Bestandtheile vornähme. Es hat sich aber, abgesehen von der Willkürlichkeit der Anschauung eines Verbundenseins zwischen Pflanzennährstoffen und den schwarzen organischen Stoffen, herausgestellt, dass nicht in allen fruchtbaren Erden solche Stoffe in entsprechendem Masse vorgefunden werden, und damit ist auch dieser Modus einer Humustheorie als definitiv beseitigt anzusehen\*).

Neben den organischen Stoffen, welche durch eine absterbende Pflanzengeneration und durch die abgeworfenen Organe der noch lebenden dem Boden einverleibt werden, haben wir nun auch schliesslich die mineralischen Bestandtheile dieser Vegetationsüberreste in ihrer Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit einer Betrachtung zu unterwerfen. Die abgestorbene Pflanzenmasse enthält, wie wir wissen, unter allen Umständen Aschenbestandtheile und zwar grossentheils solche, die (nach einer sehr rasch sich vollziehenden chemischen Veränderung) wieder als mineralische Pflanzennährstoffe dienen können, sie enthält Kalium, Phosphor, Kalk, Schwefel u. s. w.

Man wird nun vielleicht sagen, alle diese Stoffe seien ja früher Bestandtheile des Bodens gewesen, und durch die erfolgende Zurückgabe sei Alles nur wieder auf dem ursprünglichen Zustande angekommen und in dem Gehalt des Bodens an Aschenbestandtheilen nichts geändert; allein ich gebe zu bedenken, dass einmal die Wurzel allerlei mineralische Stoffe durch eigene Thätigkeit in Lösung gebracht und in die Pflanze übergeführt hat, und dass diese Stoffe nun nach der Verwesung der Pflanzenmasse in leichtlöslicher Form vorhanden sind, namentlich im Vergleich zu der Schwerangreifbarkeit vieler Stoffe, die noch in unzersetzten Mineralien eingeschlossen sind.

Neben dieser Folge des Pflanzenwuchses für die Beschaffenheit der Ackererde, die wir kurzweg wie eine schon früher besprochene als eine *Ueberführung mineralischer Nährstoffe in eine der Pflanze leichter zugängliche Form* bezeichnen können, ist noch eine andere Folge der gleichen Verhältnisse und zwar eine Folge von hoher Wichtigkeit zu besprechen übrig, die als *Concentration der mineralischen Nahrung des Bodens* bezeichnet werden mag. Man muss sich daran erinnern, dass die Reste der Vegetation, soweit sie nicht Wurzelrückstände sind, oben auf zu liegen kommen, während die Aschenbestandtheile allen möglichen Orten des Bodens, bis wohin die Wurzelspitzen vorgedrungen sind, entnommen wurden. Eine

---

\*) Vergl. Compt. rend. Bd. 74 p. 988 und später ausführlicher *Recherches expérimentales sur le rôle etc.* 1878. Die eingehendste Widerlegung rührt von O. Pitsch her, dessen Arbeit z. Th. an der Versuchsstation zu Wageningen anggeführt wurde. Vergl. Landw. Versuchsst. 1880, Bd. 26 S. 1. Vergl. ferner W. Wolf: Landw. Jahrb. Bd. II. p. 392. — Andere Versuche, den Werth der Humusstoffe in ein noch helleres Licht zu setzen, dadurch, dass man ihnen die Fähigkeit zuschrieb, Stickstoff aus der Luft in Ammoniak überzuführen (vergl. Simon: Fuhlings landw. Zeitung, 1875, p. 442), sind durch Arbeiten der Versuchsstation zu Halle als widerlegt anzusehen.

derartige Concentration\*) wird um so erheblicher sein, mit einem je ausgedehnteren und tiefer eindringenden Wurzelsysteme die untergegangene Vegetation versehen war. Höchst unbedeutend wird sie sein bei seichtwurzelnenden Gräsern, von grosser Wirksamkeit bei unseren Waldbäumen oder auch bei Feldgewächsen, die wie die Lucerne oder Lupine ausserordentlich tiefgehende Wurzeln aussenden\*\*).

Die Analyse von Ackerkrume und Untergrund eines an der Versuchsstation zu Wageningen untersuchten Heidesandbodens aus Drente gibt in dieser Beziehung ein sehr deutliches Resultat.

| In Säure löslich.              | Ackerkrume. | Mittelgrund. | Untergrund. |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Phosphorsäure                  | 0,02%       | 0,02%        | 0,01%       |
| Kalk                           | 0,03 "      | Spur         | Spur        |
| Magnesia                       | 0,01 "      | 0,02%        | "           |
| Kali                           | 0,01 "      | 0,01 "       | "           |
| Schwefelsäure                  | Spur        | Spur         | "           |
| Stickstoff (leicht zersetzbar) | 0,02%       | 0,01%        | 0,01%.      |

Bei an sich fruchtbaren Böden ist natürlich dieser Unterschied weniger gross, aber immerhin vorhanden.

Namentlich beim Wald hat dieser Sachverhalt sehr bedeutende praktische Folgen, und wesentlich auch aus diesem Gesichtspunkte ist es zu erklären, dass ein in Folge von Bodenarmuth unfruchtbares Terrain durch dauernde Waldkultur zu einiger Fruchtbarkeit gelangen kann. Wenn auch in diesem Falle der grösste Theil der vom Walde producirtten Pflanzenmasse im Holze weggeführt wird, so entsteht doch auf der Oberfläche des Bodens durch Laubfall und dergl. nach und nach eine Humusschicht, in der neben einer Stickstoff- und Kohlensäurequelle auch eine Reihe von angesammelten Aschenbestandtheilen einer nun kommenden Vegetation zur Verfügung steht. Noch entschiedener muss aus demselben Gesichtspunkt die Möglichkeit einer periodischen Kornerte bei der Hackwaldwirthschaft beurtheilt werden, wo die Halmfrucht ihre Aschenbestandtheile im Wesentlichen den eingäscherten Wurzelstöcken der geschälten jungen Stämme, also den durch Pflanzenwuchs an der Oberfläche der Ackerkrume concentrirten mineralischen Nährstoffen entnimmt. Auch der alte Buchweizenbau auf den Hochmooren (Brandkultur) beruht hierauf, indem ja beim Verbrennen nur Humus und Stickstoff verloren gehen, die Aschenbestandtheile aber in concentrirter Form zurückbleiben.

\*) Die Möglichkeit einer derartigen Concentration wird wesentlich unterstützt durch eine eigenthümliche, gerade einer humosen Schicht in besonders hohem Grade zukommende Fähigkeit des Bodens, eine Anzahl von mineralischen Stoffen in zeitweise unlöslichem Zustande in sich zurückzuhalten. Von derselben soll in den beiden nächsten Vorlesungen die Rede sein.

\*\*) In der That erweisen sich fast alle Ackererden in Folge dieses Verhaltens (und in Folge der oberflächlichen Einverleibung der Düngestoffe, die ja nur eine Nachahmung jenes Verhaltens ist) in ihren oberen Schichten reicher an den meisten in Säure löslichen pflanzlichen Nährstoffen als im Untergrund, auch wenn man geradezu einen gelinden Raubbau getrieben hat; vergl. z. B. J. Nessler: Bericht der II. Wanderversaml. bad. Landw. u. s. w. Heidelb. 1867, p. 80.

Dies sind ungefähr die Einflüsse, welche die Vegetation selbst auf die Constitution der Ackererde ausübt, soweit sie sich bis jetzt übersehen lassen, und wir haben somit in der Vegetation ein *viertes Moment* der Bodenbildung von sehr ausgedehnter Wirksamkeit, neben den drei andern vorher behandelten erkannt. — *Beschaffenheit des bodenbildenden Gesteins, Verwitterung, Verschwemmung und Pflanzenwuchs* selber sind die vier Momente der natürlichen Bodenbildung. Als fünftes tritt ein noch mannigfaltiger eingreifendes, die Kultur, hinzu, und dieses wird uns später in einer ganzen Reihe von Vorlesungen beschäftigen.

Nur so viel sei hier im Anschluss an die ebenbesprochenen Verhältnisse bemerkt, dass der Eingriff menschlicher Thätigkeit, welcher der erste der beginnenden Kultivirung ist, das Wegnehmen eines Theils der producirtten Pflanzenmasse und das Verschleppen desselben an andere Orte, wo er späteren Vegetationen nicht zugänglich ist (ganz abgesehen von den Veränderungen, die an derselben durch das Passiren durch den thierischen Organismus bewirkt werden), die Wirksamkeit des vierten bodenbildenden Moments wesentlich verringert, da nun die hervorgebrachten pflanzlichen Stoffe nicht mehr oder wenigstens nicht mehr mit der früheren Vollständigkeit in den Boden gelangen. Hieraus lassen sich dann im Wesentlichen die üblichen Massregeln der Düngung ableiten, und dieselben können grossentheils als ein Correctiv gegen jenen den weiteren Pflanzenwuchs schädigenden Eingriff in den natürlichen Lauf der Dinge dargestellt werden.

Anschliessend an die weiter oben gegebene Bodenclassification haben wir dann auf Grund der neugewonnenen Thatsachen hinzuzufügen:

dass einmal alle die dort genannten Bodenklassen wieder in einige Untergruppen zerlegt werden können, je nachdem sie reicher oder ärmer sind an humosen Stoffen, und dass eine ganz neue Gruppe hinzukommt, deren mineralische Grundlage ganz und gar in den Hintergrund tritt, die der *Moorböden*;

welche dann ihrer Hauptmasse nach aus humosen Stoffen bestehen. Die *Moorböden* werden zweckmässigerweise wieder zerlegt in Hochmoor- und Niedermoorböden\*), die beide ebensowohl zur Torffabrikation wie als landwirthschaftliches Gelände dienen. Beide sind nicht allein ihrer Entstehungsweise nach verschieden, sondern auch hinsichtlich ihrer landwirthschaftlichen Nutzung insofern, als der Hochmoorboden mit seiner Krume ausser Bereich des Grundwassers sich befindet\*\*).

Zur Bestimmung des Humusgehaltes von Böden behufs deren Classification ist jedenfalls die einfache Ermittlung des Glühverlustes der getrockneten Erde genügend.

Strenggenommen können nun auch an Pflanzenüberresten reiche Böden einer Verschwemmung unterliegen, und es kann somit von neuem Anlass zur Trennung der einzelnen Bodenelemente, die nun nicht mehr alle rein mineralischer Natur sind, gegeben werden. Derartige Processe spielen aber in Wirklichkeit in Bezug auf

---

\*) Ueber die *Moorböden* in Holland vergl. namentlich Reinders: *Handboek voor den Nederl. Landbouw*, 1877, Bd. 1 p. 6 f.

\*\*) Ueber Torfbildung vergl. J. J. Früh: *Ueber Torf und Dopplerit*, Zürich 1883.



Bodenbildung keine irgendwie bemerkenswerthe Rolle, und wir können desshalb mit dem Gesagten unsere Betrachtungen über natürliche Bodenbildung als abgeschlossen ansehen.

## Achtundzwanzigste Vorlesung.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Absorptionserscheinungen. —  
Die Ursache derselben.

Die vier zunächst hinter uns liegenden Vorlesungen haben uns eingeführt in die früher vollzogenen und jetzt noch sich vollziehenden Vorgänge, deren Resultat die Entstehung der Ackererde ist. Wir haben gesehen, dass die bei diesem Prozesse ins Spiel kommenden Factoren ausserordentlich mannigfaltige sind.

Schon die *ursprüngliche Zusammensetzung derjenigen Gesteinsarten*, auf welche die mineralischen Bestandtheile aller Böden direct oder indirect zurückgeführt werden können, ist an den einzelnen Orten, wo jene zu Tage treten, eine ziemlich verschiedene, und so wickelt sich auch der *Verwitterungsprocess* trotz der wenigstens über gleiche Zonen sehr gleichmässig verbreiteten atmosphärischen Verwitterungsmomente in sehr verschiedener Weise ab.

Von dem grössten Einfluss aber auf die specifischen Eigenschaften eines jeden Bodens ist die *ungleichmässige Verschwemmung und Ablagerung der einzelnen zu seinem Aufbau verwendeten Bodenbestandtheile*, welche von der ungleichen oberflächlichen Beschaffenheit der Erdoberfläche, d. h. von der Neigung der Bodenfläche an verschiedenen Orten, und von der bewegenden Kraft des Wassers bedingt ist; und sind einmal so tiefgreifende Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit erlangt, so tritt meistens noch der *Pflanzenwuchs*, als bodenbildendes Moment, jene Verschiedenheit mehr und mehr verschärfend, hervor, da über an sich schon sterilen Bodenflächen die Pflanzendecke natürlich nur unvollkommen sich ausbreitet.

Die Verschiedenheit, welche thatsächlich hinsichtlich der Vegetationsbedingungen des Bodens auf einander naheliegenden Flächen besteht, ist uns somit leicht verständlich. — Allein wir werden diese Bedingungen noch mehr in ihren Einzelheiten formuliren müssen, um mehr zu gewähren als jene historische Uebersicht der Erscheinungen, nämlich um das Verhalten des Bodens zur Vegetation und so auch die einzelnen wirthschaftlichen Massregeln, durch welche man jene Bedingungen abzuändern sich bestrebt, völlig zu verstehen.

Diejenigen Vegetationsbedingungen, welche durch Zusammensetzung und Eigenschaften der Ackererde repräsentirt werden, sind so complicirter Natur, dass bei Behandlung dieses Gegenstandes eine wohlgeordnete Eintheilung Noth thut, um eine klare Uebersicht zu ermöglichen. Vorerst ist streng auseinander zu halten die Ackerkrume als *Ernährerin der Pflanze* und dieselbe als *Sitz oder Vermittlerin einer Reihe von physikalischen Verhältnissen*, die von Werth für die Vegetation sind, oder wie man sich auch ausdrücken kann, das *Bodenreservoir* und der *Bodenapparat*. Das vielfache Missglücken der Wasserkulturversuche z. B., wovon wir

früher gesprochen haben, kann wesentlich dem Fehlen der Ackerkrume in dieser letzteren Eigenschaft zugeschrieben werden, da für die Ernährung schliesslich doch in sehr vollkommener Weise gesorgt war, und nur, wenn man es erreichte, auch jene physikalischen Bedingungen ohne Ackerkrume auf einer Reihe von Umwegen herzustellen, konnte man es zu üppigen Vegetationen bringen. Dies einfache Beispiel genügt, um uns die beiden grossen Reihen von Functionen, welche das Medium der Ackererde der Pflanze gegenüber auszuüben hat, klar vor Augen zu führen.

Wenden wir uns der Betrachtung der Ackererde als *Ernährerin* zu, so liegt auf der Hand, dass hier die einschlagenden Eigenschaften derselben durch ihre chemische Zusammensetzung gegeben sein müssen; aber wenn wir uns der ausführlich behandelten Gesetze der Stoffaufnahme erinnern und gleichzeitig jener That-sachen, die wir bei Besprechung der Bodenentstehung kennen gelernt haben, so werden wir hinzusetzen müssen, unmöglich durch diese Zusammensetzung, wie sie die chemische Pauschanalyse ergibt, *allein*, sondern natürlich auch durch die nähere Gruppierung der einzelnen Stoffe, durch die chemische Form der einzelnen Bestandtheile.

Wir können zwar mit Gewissheit aussprechen, dass ein Boden, in dem wir durch die chemische Analyse keine Spur von Kali, von Magnesia oder von Phosphorsäure nachweisen können, absolut unfruchtbar sein wird, da alle zu kultivirenden Pflanzen nothwendig dieser Stoffe zu ihrem Gedeihen bedürfen. Der umgekehrte Schluss aber, nach welchem ein Boden, in dem alle einzelnen Nährstoffe in genügenden Mengen nachgewiesen werden können, und der keine dem Pflanzenwuchs schädlichen Stoffe, keine ungünstigen physikalischen Bedingungen in sich enthält, ohne Weiteres als ein fruchtbarer zu bezeichnen wäre, ist in dieser allgemeinen Form als unzulässig zu verwerfen; denn nicht alle Nährstoffe, die in der Erde enthalten sind, können im Bodenwasser gelöst werden, sondern viele derselben sind möglicherweise Bestandtheile noch unverwitterter und sehr schwer zersetzbarer Mineralien; und auch die lösende Kraft der Pflanzenwurzel ist viel zu gering, um alle jene Mineralien erheblich anzugreifen, ferner ihre Verzweigung zu unvollkommen, um mit genügend vielen Mineralstückchen in Berührung zu kommen. Jener erste Schluss aber ist von praktisch sehr untergeordneter Bedeutung, da eben Böden, worin ein oder der andere Nährstoff völlig fehlt, zu den grössten Seltenheiten gehören, während die eben besprochene Schwierigkeit dem landwirthschaftlichen Chemiker bei Bodenuntersuchungen alle Tage im Wege steht.

So kommt es, dass die Pauschbodenanalyse nur Fingerzeige bieten kann und entfernt nicht als *exaktes Mass*\*) zu dienen vermag für die Leistungsfähigkeit einer

---

\*) Dass der Reichthum eines Bodens an einzelnen Pflanzennährstoffen, wie z. B. an Phosphorsäure, als Massstab für die Bonitirung gelten kann (vergl. Annal. der Chemie und Pharm. Suppl. VI. p. 332 u. Jahresber. f. Agrikult.-Chemie 1866, p. 44), muss als eine seltene Ausnahme gelten. Einen ähnlichen Fall habe ich namhaft gemacht (vergl. Fühlings Landw. Zeitung 1877, S. 726). In diesem Falle konnte der Bodenwerth sechs friesischer Erdsorten ziemlich genau nach dem Phosphorsäuregehalt desselben bestimmt werden. Bezüglich anderer Nährstoffe ist eine solche Uebereinstimmung niemals constatirt worden.

Ackererde als Pflanzenernährerin; und auch das erstere kann sie nur leisten, wenn dem Urtheilenden eine genügende Erfahrung zu Gebote steht über die durchschnittliche Zusammensetzung anderer Ackererden.

Es lässt sich denken, dass man zu der Zeit, wo man eben die Hauptsätze der Pflanzenernährung erkannt, aber noch nicht über die Verhältnisse im Boden und über die Beziehungen zwischen Wurzel und Boden einen klaren Blick gewonnen hatte, mit freudiger Hast Bodenanalysen auf Bodenanalysen unternahm in der Hoffnung, so eine exacte Grundlage zu finden\*) nicht bloss für Bodentaxation und Bonitirung, die bekanntlich noch immer in rein empirischer Weise vorgenommen wird, sondern für eine rationelle Düngewirtschaft. — Aber wie gross war die Enttäuschung, die man erleben musste. — Ein Glimmerschieferboden von äusserster Sterilität ergab 3 % Kali, der an Fruchtbarkeit unübertroffene Nilschlamm  $\frac{1}{2}$  %, und dennoch zeigte sich ersterer vielleicht ausserordentlich dankbar gegen Kalidüngung, bei letzterem erschien eine Steigerung der Erträge durch Düngung fast undenkbar.

Wir wissen, warum ein derartiges Bestreben eine herbe Enttäuschung erfahren musste, und wir suchen in dem gewählten Beispiele die Ursache in der unangreifbaren Form, in welchem das Kali im Glimmer des Glimmerschiefers vorhanden ist; und die Sache ist in der That so einfach, dass man auch wirklich bald den Grund des Misserfolgs erkannte. Man unternahm nun, bei den vorzunehmenden Analysen zu unterscheiden zwischen leicht löslichen und schwer löslichen Stoffen, zwischen solchen, die der Pflanze zugänglich sein sollten, und anderen, die von ihr nicht aufgenommen werden konnten. — Man untersuchte zunächst die im Boden circulirenden Lösungen, von dem Gedanken ausgehend, dass diese allein die für die Pflanzen zugänglichen Stoffe enthalten könnten. Aber auch mit dem auf diese verschiedenen Arten nachgewiesenen Gehalte an Pflanzennährstoffen wollte das für die Vegetation erfahrungsmässig zur Verfügung Stehende nicht stimmen. Manche Mineralstoffe, die von den Pflanzen in grosser Menge assimiliert wurden, konnten gar nicht in der Bodenlösung nachgewiesen werden u. s. w. Dies gilt z. B. für die Phosphorsäure, die in vielen Bodenlösungen nicht oder nur in äussersten Spuren nachgewiesen werden kann.

Erst später, als man klar erkannt hatte, dass die Bodenlösung nichts Feststehendes sei, dass vielmehr dieselbe mit den ungelösten Theilen des Bodens in unausgesetzter Wechselwirkung stehe, dass — je nach Zunahme oder Abnahme des Wasserreichthums irgend eines Bodens — bis dahin ungelöste Bestandtheile in die

---

\*) Davy war wohl der erste, der diese bestimmte Hoffnung erweckte (vergl. dessen Elemente d. Agrik.-Chemie, 1814, p. 3) — aber damals mit vielem Rechte. Bodenuntersuchungen sind zwar schon in sehr viel früherer Zeit unternommen worden, lange vor der Periode, wo man befähigt war, von pflanzlichen Nährstoffen als von ganz bestimmt fassbaren, chemisch definirbaren Substanzen zu sprechen, einfach deshalb, weil der Zusammenhang zwischen gewissen Eigenschaften eines Bodens und dessen Ertragsvermögen gar zu auffällig war und auch dem Empiriker nicht entgehen konnte. Indessen konnte erst in jener späteren Periode, wo eine nahezu vollkommene Klarheit wenigstens in Bezug aller der Stoffe, die eine höhere Pflanze zu ihrem Wachsthum nothwendig bedarf, herrschte, von der ganz bestimmten Hoffnung die Rede sein, unmittelbar aus der Zusammensetzung eines Bodens, dessen Fähigkeit, Pflanzen zu produciren, durch einen einfachen Calcul zu ermitteln.

Lösung übergangen oder aus dieser Lösung wieder fixirt wurden; als man weiter eingesehen hatte, dass die durch Wasser nicht ausziehbaren Bestandtheile nicht sammt und sonders für die Pflanzenwurzel unzugänglich seien, dass diese letztere vielmehr durch selbstständige Thätigkeit ungelöste Stoffe in Lösung überführe, gab man die Hoffnung auf, mit so einfachen Mitteln die unmittelbare Nährfähigkeit eines Bodens bestimmen zu können.

Allein man experimentirte weiter. Man unternahm es, die Erden zur Ermittelung ihres Reichthums an Pflanzennährstoffen mit stärker angreifenden Lösungsmitteln, mit verdünnten und concentrirteren Säuren, mit Salzlösungen etc. zu behandeln, in der Hoffnung, durch Probiren ein Lösungsmittel ausfindig zu machen, das ungefähr dasselbe leiste wie eine gesunde Pflanzenwurzel. Man übersah zu Beginn dieser Bestrebungen (und in noch viel späterer Zeit) freilich die sich ganz von selbst aus den Gesetzen der Stoffaufnahme ergebende Thatsache, dass eine viel grössere Menge von Nährstoffen in der Zeiteinheit zur Aufnahme disponibel sein muss, als wirklich von der Wurzel aufgenommen werden kann, und dass das Verhältniss beider Grössen, welches doch, um jene Schlussfolgerungen ziehen zu können, bekannt sein müsste, kein für alle Pflanzen constantes, sondern von specifischen Eigenthümlichkeiten der Bewurzelung abhängig sein muss. Wenn also schon von vornherein gesagt werden konnte, dass die so gestellte Frage nicht in allgemeiner Weise zu beantworten war, da einer jeden Pflanzenspecies und selbst einem jeden Pflanzenindividuum eigenthümliche Kräfte in jener Hinsicht zu Gebote stehen, so ist auch die Hoffnung, sich auf jene Weise nur ein ungefähres Bild von dem in der Erde für ein Gewächs mittlerer Lösungsenergie Verfügbaren zu verschaffen, nunmehr als fast völlig gescheitert zu betrachten. — Es ist vielleicht nichts mehr im Stande zu zeigen, dass es so aussichtslos mit der Bodenanalyse in der erwähnten Richtung steht, als dass von den Agrikulturchemikern\*) geradezu der Vorschlag gemacht wird, das *von gewissen Pflanzen Aufgenommene* als Massstab des für die Pflanzen Verfügbaren gelten zu lassen, d. h. also doch die directe Wahrnehmung an Stelle der theoretischen Deductionen zu setzen und so, bewusst oder unbewusst, den Bankerott der Theorie in dieser Hinsicht als vollständig zu erklären.

Und so steht es in der That. — Die Bestrebungen, die Bodenanalyse noch in der ursprünglichen Richtung weiter auszubilden, sie zum Massstab der vorhandenen Bodenfruchtbarkeit zu machen, stehen mehr und mehr vereinzelt da, ja, sind nunmehr geradezu als erschöpft zu betrachten\*\*). Jedermann hegt die Meinung, dass

\*) Vergl. z. B. die Vorschläge Hellriegels: Landw. Versuchsst. 1869, p. 140 und noch mehr die ausgearbeitete Methode von Heinrich, der die Wurzeln gereifter Pflanzen nach seiner Erfahrung als ein sehr brauchbares Analysenobjekt hinstellt, um aus deren Gehalt an Nährstoffen den verfügbaren Vorrath der Böden zu beurtheilen. Vergl. Grundlagen z. Beurth. der Ackerkrume, Wismar 1882, p. 60 f.

\*\*) Einen vereinzelt neuen Anlauf hat in dieser Richtung Petermann genommen mit seiner Methode der Bodendialyse (Recherches sur la dialyse etc. Bruxelles 1882) aber ohne alle Prätension, damit eine Bodenanalyse begründet zu haben. Die so erhaltenen Resultate sind übrigens in anderer Hinsicht interessant genug. Auch hat ganz neuerdings Hellriegel (Naturforscherversammlung zu Magdeburg 1884) wieder die Bodenlösung zu analysiren empfohlen, freilich sehr grosse Mengen derselben, so dass Milliontel zu bestimmen sind.

die thatsächlichen Verhältnisse der Vorgänge im Boden und der Ernährung der Pflanzen viel zu complicirte seien, um die früher gehegten Hoffnungen noch aufrecht zu erhalten. Heute dient die chemische Bodenanalyse nur noch dazu, Fragen secundärer Art zu beantworten; sie gibt uns in vielen Fällen an, was von einem Boden in zukünftigen Zeiten etwa erwartet werden kann, sie sucht Ursachen auf für eine beobachtete Unfruchtbarkeit und vermag so, zusammengehalten mit praktischen Erfahrungen, mit der mechanischen Analyse, mit der geognostischen Beschaffenheit der vorhandenen Mineraltrümmer wichtige Anhaltspunkte zu geben; — aber nirgends dient sie als ein directer oder gar alleiniger Massstab der Fruchtbarkeit. Man kommt sogar ohne alle Widerrede häufig weiter, wenn man einen Boden nach seinem äussern Ansehen auf seine Ertragsfähigkeit abschätzt, als wenn man diese lediglich aus den analytisch ermittelten Zahlen herauszurechnen sucht. Dem entsprechend wendet man jetzt zur Bodenanalyse in der Regel nicht schwache verdünnte Säuren an, die in ihrer Lösungskraft der Aufnahmefähigkeit der Wurzel gleichkommen sollen, sondern concentrirtere, die jedenfalls alles das aufnehmen, was für die Wurzel noch irgend in Betracht kommen kann, eben weil man auf jene directe Schlussfolgerung von vornherein verzichtet.

In einer Hinsicht nur hat sich vielleicht die Bodenanalyse in neuerer Zeit wieder als brauchbarer erwiesen, als man noch in dem Pessimismus der vorausgehenden Jahre zu hoffen wagte. Wenn man nämlich durch Anbau in verschiedenem Grade erschöpfte Grundstücke *ursprünglich gleicher* Beschaffenheit analytisch mit einander vergleicht, so findet man deutliche Differenzen im Nährstoffgehalt, wie z. B. aus der Bodenanalyse Hellriegel's in Betreff der Christiani'schen Düngungsversuche hervorgeht\*). D. h. also, wo die übrigen Factoren zufällig gleich sind, da lässt sich der Einfluss der analytisch nachweisbaren Nährstoffmenge auf die Bodenfruchtbarkeit constatiren.

Ebenso lassen sich durch eine statistische Behandlung einer sehr grossen Anzahl von Bodenanalysen Minimalgehalte von Nährstoffen herausrechnen, welche für gewisse Kulturen erforderlich sind. Auf diese Weise habe ich z. B. gefunden, dass für Rübenbau höchst wahrscheinlich nicht unter 0,07 % in Säuren lösliche Phosphorsäure, nicht unter 0,02 Kali, 0,1 Stickstoff, 0,1 Kalk vorhanden sein darf, und jeder langjährige Arbeiter an einer Versuchsstation kennt ähnliche Grenzziffern für die Bodensorten und Kulturen, mit denen er in seiner praktischen Thätigkeit am Meisten in Berührung gekommen ist.

Die Geschichte der Entwicklung\*\*) der Bodenanalyse und unserer Anschauungen über deren Verwendbarkeit zeigt mit vollkommener Klarheit, dass die chemische Zusammensetzung eines Bodens zwar, wie dies nicht anders sein kann, eines der Elemente der ernährenden Eigenschaften des Bodens ist, dass aber dieses Verhältniss durch andere Umstände, als welche wir vorzüglich die nähere chemische Grup-

---

\*) Landw. Centralbl. 73. I. p. 40. Aehnliches findet man bei der Analyse von Versuchsfeldern, auf denen die Versuche 10–20 Jahre fortgesetzt worden sind.

\*\*) Vergl. auch Mulder: Chemie der Ackerkrume. III. p. 353 f.

pirung der Bodenbestandtheile bezeichnen können, bis zur Unkenntlichkeit verdeckt wird.

Wir haben uns also in unserer Betrachtung diesem letzteren Gegenstande zuzuwenden. Dieser kann indessen keine glücklichere Behandlung finden, als wenn wir dabei Ausgang nehmen von einer auf den ersten Blick sehr merkwürdig erscheinenden Eigenschaft aller fruchtbaren Bodenarten, der sogenannten „*Absorption der Ackererde*“. Diese Eigenschaft besteht in Kurzem darin, gelöste Stoffe sehr verschiedener Art, vorzüglich aber unorganische Substanzen, unter ihnen eine Reihe von Pflanzennährstoffen, in sich niederzuschlagen, so dass die durchfiltrirende Lösung weit ärmer an diesen gelösten Stoffen wieder aus der Erde austritt. Wir können dieselbe selbst durch einen Vorlesungsversuch erläutern, indem wir verdünnte Jauche durch diese Erdschicht filtriren lassen und eine vergleichende Ammoniakreaction der durchfiltrirten Flüssigkeit vornehmen. Diese Eigenschaft, die wir sogleich einem näheren Studium auf Ursache und Wirkung unterwerfen werden, steht mit der Stoffassimilation der Pflanzenwurzel unter den realen Verhältnissen der Ernährung der Gewächse in so inniger Beziehung, dass von einer klaren Vorstellung dieser Ernährung nicht die Rede sein konnte, bevor man eine genaue Kenntniss der hier einschlagenden Thatsachen erworben hatte.

Es hat in der letzten Zeit viele Erörterungen darüber gegeben, wem die Priorität der Entdeckung der Bodenabsorption eigentlich gebühre. Thatsache ist freilich, dass vor der eigentlichen wissenschaftlichen Inangriffnahme des bedeutsamen Gegenstandes verschiedene Theoretiker und Praktiker gelegentlich auf die Bekanntheit und auch wohl auf die richtige Schätzung desselben hingewiesen haben\*).

---

\*) Zuerst mit klaren Worten und einiger Erkenntniss seiner Tragweite wohl der Italiener Gazzeri (vergl. A. Orth: Landw. Versuchsst. Bd. XVI. p. 56) im Jahre 1819, welcher von der Entfärbung der Jauche durch Thon spricht und daran die Bemerkung knüpft: „Die Erde, und besonders der Thon, bemächtigt sich der dem Erdreiche anvertrauten auflöselichen Stoffe und hält sie zurück, um sie den Pflanzen nach und nach, ihrem Bedürfnisse angemessen, mitzutheilen.“ In Deutschland hat man einige Zeit auf ähnliche Bemerkungen Bronner's aus dem Jahre 1836 (vergl. Bronner: Der Weinbau in Süddeutschland, Heidelberg 1836, p. 44) einen grossen Werth gelegt, von welchen folgende angeführt sein mögen: „Man fülle eine Bouteille, die an ihrem Boden ein kleines Loch hat, mit feinem Flusssande oder halbtrockner gesiebter Gartenerde an. In diese Bouteille giesse man allmählich so lange dicken und ganz stinkenden Mistpfuhl, bis die ganze Masse durchdrungen ist; die aus der unteren Oeffnung hervorkommende Flüssigkeit wird fast geruchlos und farblos erscheinen und die Eigenschaften des Pfuhls ganz verloren haben.“ Und dann weiter: „Diese wenigen Beispiele beweisen hinreichend, welche Fähigkeiten die Erden, selbst Sand und Sandsteine, besitzen, die extractiven Theile anzuziehen und völlig aufzunehmen, ohne sie wieder durch das nachrückende Wasser loszulassen, selbst die auflöselichen Salze werden aufgenommen, und nur ein geringer Theil durch nachrückendes Wasser abgespült. Und ferner: „Ich glaube also durch die beigefügten Thatsachen hinreichend bewiesen zu haben, dass die Wirkung des Düngers nicht so weit eingehe, als manche glauben, sondern dass sie näher dem Bereiche der Oberfläche stehe, als der Sohle des Bodens.“ Man ist zwar in Bezug auf die Entdeckung der Absorption der Ackererde noch viel weiter zurückgegangen (vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffs. I. p. 494) nämlich auf Aristoteles. Allein Aug. Vogel hat (vergl. Entwickl. d. Agrik.-Chemie 1869, p. 40, 41)

Allein wenn wir eine Entdeckung datiren von dem Zeitpunkte an, dass dieselbe so dargestellt wird, dass man ihre Bedeutung erkennt, so müssen an dieser Stelle zuerst zwei Männer, Huxtable und H. S. Thomson, die um das Jahr 1850 ihre Beobachtungen machten, genannt werden. Der erstere hatte zwar nur die Veränderung der durch Gartenerde filtrirten Mistjauche wahrgenommen, letzterer dagegen einen entschiedenen Schritt vorwärts gemacht, indem er ausserdem die Absorption für chemisch genau definirbare Substanzen und wichtige Pflanzennährstoffe, nämlich für freies Ammoniak und Ammoniaksalze, festgestellt hatte\*).

Der Erste dann, welcher die in Rede stehende Erscheinung mit Umsicht theoretisch bearbeitete, war kurz nach der Entdeckung derselben Way. Von diesem Forscher liegt nicht bloss eine Reihe von Versuchen\*\*) mit Lösungen von sehr verschiedenen Substanzen vor, derselbe hat auch zur Erklärung der merkwürdigen Erscheinung ein gutes Stück beigetragen.

Way prüfte viele Erdarten auf ihr Absorptionsvermögen, eine Reihe von pflanzlichen Nährstoffen und ähnlichen Mineralsalzen auf ihre Absorbirbarkeit\*\*\*); er zeigte, dass Kali und Ammoniak in der Weise durch Ackererden absorbirt werden, dass, wurden sie in Form von Lösungen aufgegeben, die abfliessende Flüssigkeit einen Theil ihres Kali- oder Ammoniakgehalts verloren hat, dass aber die Salpetersäure, Schwefelsäure, Salzsäure, an welche jene Basen gebunden waren, in jener in unveränderter Menge aufgefunden werden, aber an Stelle des Kalis oder Ammoniaks nun theilweise an eine andere Base, vorzugsweise an Kalk gebunden. Wir haben es also in diesem Falle mit einem wahren chemischen Austausch zweier Basen zu thun; die eine wird in die Constitution der Ackererde aufgenommen, die andere dafür abgegeben. Es ist wichtig, dabei hinzuzusetzen, dass die Menge der für die absorbirte Base an die Lösung abgegebenen Base, wie spätere Untersuchungen unzweideutig gelehrt haben, weit grösser ist, als schon durch Auswaschen mit einer entsprechenden Menge Wasser erhalten werden kann.

Die Versuche Way's lehrten weiter, dass auch freies Kali und Ammoniak, in Lösungen mit dem Boden in Berührung gebracht, absorbirt werden, dass Phosphorsäure dessgleichen festgehalten wird und dass für Salze, deren Basen und Säuren gleichzeitig absorbirbar sind, wie z. B. für phosphorsaures Kali und Ammoniak,

---

mit Unterstützung durch einen Kenner des Aristoteles gezeigt, dass die betreffenden Stellen sich nicht deutlich in dem ihnen unterlegten Sinne aussprechen. Eher noch können, wie Johnson gezeigt hat, Bacon, Hales, Berzelius u. Matteucci einige Prioritätsrechte in Anspruch nehmen; vergl. „Wie die Feldfrüchte sich nähren“, 1872, p. 184. Im Grunde ist die Thatsache, dass Erde einige Gerüche, z. B. den von fauligem Fleische, zu beseitigen vermag, einem jeden Indianer, ja selbst dem Hunde oder Fuchse bekannt, der seinen übelriechenden Knochen vergräbt, um ihn später in einem etwas besseren Zustande wieder herzuholen.

\*) Vergl. Journ. of the Roy. Agric. Soc. 1850. T. XI. p. 68.

\*\*) Vergl. ebenda T. XI. p. 313, u. T. XV. p. 91.

\*\*\*) Aus dem hier gemachten Gebrauch von den Wörtern „Absorptionsvermögen“ und „Absorbirbarkeit“ ergibt sich der Sinn, in welchem ihre Anwendung in diesem Werke erfolgen wird.

auch an den austretenden Flüssigkeiten keine Wechselersetzung wahrzunehmen ist. Auch für Natron-, Magnesia- und Kalksalze ist von Way Absorption nachgewiesen worden.

Es würde uns zu weit führen, auf die Einzelheiten dieser Versuche einzugehen, und es würde dies auch unnöthig sein, da dieselben an Vollständigkeit durch spätere weit überholt worden sind. Wichtig aber sind die Erklärungsversuche Way's; an sie knüpfen sich Controversen von grosser Tragweite für unsere Vorstellungen vom Wesen der ganzen Absorptionserscheinung an. Derselbe fasste den ganzen beobachteten Vorgang als eine chemische Reaction zwischen Erde und Lösung auf und stellte sich die Frage, welche chemischen Bestandtheile der Ackererde wohl der Sitz und die Ursache jener Reactionen seien. — Es wurden Versuche unternommen über die Absorptionskräfte künstlich dargestellter chemischer Verbindungen, deren Vorhandensein in der Ackererde mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden konnte, und siehe da, es zeigte sich, dass eine Reihe von wasserhaltigen Doppelsilicaten, bestehend aus kieseläurer Thonerde einerseits und der kiesel-sauren Verbindung der Basen, für welche Absorbirbarkeit in der Ackererde festgestellt worden war, andererseits leicht herzustellen war, und dass diese Doppelsilicate die Fähigkeit hatten, diese Basen auszutauschen, wenn sie mit einer Salzlösung einer anderen Base in Berührung gebracht wurden. Auf die Entstehung von dergleichen Verbindungen und deren chemische Umgestaltung wurden dann die Absorptionserscheinungen zurückgeführt, dieselben also als *rein chemische Vorgänge* aufgefasst. Die verschiedenen starke Absorption für die einzelnen Basen wurde einfach aus der verschiedenen grossen Affinität des Restes jener Doppelsilicate zu den einzelnen Basen erklärt und sogar eine Verwandtschaftsreihe der verschiedenen Basen aufgestellt, in Bezug auf welche übrigens ein erhebliches Schwanken in der Meinung des Experimentators sich geltend machte.

Wir müssen hier schon kurz darauf hindeuten, dass die spätern ausserordentlich umfassenden Arbeiten über Absorption nach langen Irrwegen wieder auf das Wesen der Way'schen Erklärung zurückgeführt haben, wenn man auch häufig andere chemische Reactionen als die von diesem angenommenen als wesentlich für die eine oder die andere Absorptionserscheinung erkannte. So kann ja nicht verschlossen bleiben, dass z. B. der eben angedeutete Way'sche Erklärungsversuch die Phosphorsäureabsorption ganz und gar nicht berücksichtigt.

Der weitere geschichtliche Verlauf der einschlagenden Entdeckungen und theoretischen Entwicklungen ist nun folgender:

Liebig war in Deutschland der Erste, der die Wichtigkeit der Way'schen Arbeiten für die Theorie der Pflanzenernährung im Boden und der Düngung erkannte\*). Derselbe unternahm eine umfangreiche Untersuchung\*\*), in welcher die

---

\*) Keineswegs der Erste, der dieser Erscheinung in Deutschland Erwähnung that. Schon in der Phytochemie Rochleder's, die im Jahre 1854 erschien, ist von den Absorptionskräften der Erde, wie von einem längst bekannten Dinge (freilich nicht unter diesem Namen) die Rede; vergl. p. 334 des genannten Werkes.

\*\*) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 105, p. 109.



Way'schen Resultate geprüft, bestätigt und in mehreren Richtungen erweitert wurden. Namentlich wurden von demselben ausgedehntere Versuche über Absorption von Phosphorsäure und von kiesel-saurem Kali unternommen. Für die Absorption des kiesel-sauren Kalis wurde unter Anderem festgestellt, dass durch Zumischen von kohlensaurem Kalk zu manchen Erden, die an sich schon das Kali stark absorbiren, die Aufnahme der Kieselsäure gesteigert werden könne, dass sehr humusreiche Erden das Kali allein, nicht aber die Kieselsäure festhalten, dass endlich das Thonerdehydrat das Kaliwasserglas in ausserordentlich grossen Mengen absorbire. Kurz, derselbe ermittelte mit grosser Deutlichkeit eine Reihe neuer Absorptionserscheinungen, denen der Charakter einer chemischen Reaction so unleugbar aufgeprägt ist, dass man den Verlauf des Chemismus fast unmittelbar versteht.

Allein Liebig nimmt Anstand an den Way'schen Erklärungsversuchen, er weist auf Resultate seiner eigenen Experimente hin, welche anzudeuten schienen, dass die verschiedene Zusammensetzung der einzelnen zu seinen Versuchen verwendeten Bodenarten die Kaliabsorption nicht merklich alterire, dass dieselbe nicht mit dem Thongehalt dieser Erden parallel gehe, und dass dies doch nach der Way'schen Erklärung hätte vorausgesetzt werden müssen und neigt\*) zu einer wenigstens theilweise physikalischen Anschauung des ganzen Vorgangs.

Die wichtigen Schlüsse, die Liebig aus seinen und Way's Absorptionsversuchen in Bezug auf die Pflanzenernährung im Boden zog, und an die sich hauptsächlich der späterhin geführte langathmige Streit anknüpfen sollte, übergehe ich einstweilen noch mit Stillschweigen, indem ich der Einfachheit der Darstellung wegen es vorziehe, erst die Frage nach der Natur der Absorptionserscheinungen, hinsichtlich welcher Way eine ganz bestimmte nachmals von Liebig angezweifelte Anschauung ausgesprochen hatte, nach dem übrigen noch vorliegenden Untersuchungsmaterial zu beantworten.

Liebig hatte auch in Bezug auf den Gegenstand der Bodenabsorption eine weithin zündende Anregung gegeben; er verstand wie Keiner vor ihm die ganze Bedeutung und Tragweite der von ihm experimentell bearbeiteten Erscheinungen, und

---

\*) Ich sage, neigt zu einer physikalischen Anschauung, denn Liebig ist in Bezug auf eine derartige Schlussfolgerung vorsichtig und vielleicht etwas unentschieden. Es ist wegen Missverständnissen, die sich in dieser Hinsicht eingeschlichen haben, durchaus nothwendig, hierauf aufmerksam zu machen. Man vergl. a. a. O. p. 111, wo von dem Way'schen Erklärungsversuche die Rede ist: „Diese letztere Ansicht, nach welcher die beschriebene Wirkung der Ackererde auf einer rein chemischen Ursache beruhen und sich daraus erklären würde, besitzt, wie ich glaube, keine allgemeine Gültigkeit; denn das reine Thonerdehydrat besitzt die Eigenschaft, kohlensaures Kali und Ammoniak zu absorbiren, in höherem Grade als die Ackererden.“ Ferner p. 120 ebenda: „Die chemischen Beziehungen zeigen sich deutlich in dem Verhalten der Kalisalze zu den Ackererden und ihrer Umsetzung in Kalk- und Magnesiaverbindungen.“ Dagegen p. 134: „In dem Boden sind diese Stoffe in einem ähnlichen Zustande, wie etwa Farbstoffe in der Kohle oder Jod in Jodstärkemehl enthalten u. s. w.“, wo diese chemischen Beziehungen wieder völlig geleugnet erscheinen und jedenfalls den Ackererden als solchen spezifische Fähigkeiten, ganz abgesehen von ihrer Zusammensetzung, zugeschrieben werden.

desshalb vermochte er auch hier jene eindringliche, ja überwältigende Sprache zu reden, die seine Schriften so vortheilhaft kennzeichnet. Freilich sollten ihm die neuen Thatsachen nebenbei auch als Mittel dienen, eine Deckung für den Banquerott seiner Mineraldünger zu erhalten. — Männer, die sich schon im Jahre 1858 mit den landwirthschaftlich-naturwissenschaftlichen Fragen beschäftigten, haben mir den tiefen Eindruck geschildert, den die Liebig'sche Abhandlung über Bodenabsorption in ihnen hervorgerufen habe; und diese, ich möchte wohl sagen, „moralische“ Bedeutung des Liebig'schen Auftretens\*) wird hier wie an vielen anderen Orten nicht geleugnet werden können, wenn es auch der scharf prüfenden Kritik immer mehr und mehr gelingen sollte, das eigentlich Greifbare seiner Leistungen auf dem Gebiete der Agrikulturchemie, das in einem in sich abgeschlossenen Satze fertig dargestellt werden könnte, in ein Nichts aufzulösen.

So kommt es, dass die eigentliche fruchtbare Behandlung der aufgeworfenen Fragen erst in Deutschland durch jene Liebig'sche Abhandlung selbst hervorgerufen wurde. — Nun aber warf sich alles mit Begeisterung auf diesen neuen Gegenstand, von dem man so viel Aufklärung für ein bis dahin dunkles Gebiet erwartete, und das Decenium nach dem Erscheinen des Liebig'schen Aufsatzes, der den Anstoss gegeben hatte, ist ausserordentlich reich an tüchtigen und umfangreichen Arbeiten über die Bodenabsorption. Es kann nun entfernt nicht in dem Sinn der hier zu gebenden Darstellung liegen, jene Arbeiten alle in ihren Einzelheiten verfolgen und jede derselben nach ihrem Verdienste würdigen zu wollen\*\*), sondern

---

\*) Vergl. hierüber meine biographische Skizze über Justus v. Liebig: Deutsche Warte 1873.

\*\*) Schon Völcker (Wilda Centralbl. 1858, p. 1 und besonders 8), der kurz vor Liebig eine Abhandlung über Absorptionserscheinungen veröffentlichte, hat wieder auf die chemische Natur derselben aufmerksam gemacht. Derselbe wies nach, dass die schweren, thonhaltigen Böden stärkere Absorption zeigten, wie die leichten, sandreichen, und stimmt den Way'schen Schlüssen vollkommen bei, die nicht dem Thone an sich, aber wohl gewissen Verbindungen, in denen Thonerde ein charakteristischer Bestandtheil ist, Absorptionsfähigkeit beilegen; er denkt nicht entfernt daran, in mechanischer Weise der Ackererde als solcher, gleichviel aus welchen Bestandtheilen sie zusammengesetzt sei, eine derartige Befähigung beizulegen. Ganz anders in Deutschland. Hier war einmal von einer grossen Autorität der Gedanke an eine „physikalische Absorption“, wenn auch nicht mit diesem Ausdrucke, ausgesprochen; — Grund genug für eine ganze Reihe nachkommender Experimentatoren, das Bestehen einer solchen Erscheinung über allen Zweifel erhaben zu wännen. Wir werden sogleich die Zergliederung der damit verbundenen Vorstellung vornehmen und prüfen, in wie weit experimentelle Daten zu einer solchen berechtigen. Henneberg und Stohmann, deren Arbeit (Journ. f. Landw. 1859, p. 25) über die Bodenabsorption in mehrfacher Beziehung sehr wichtige Thatsachen zu Tage gefördert hat, schliessen unter Anderem, dass „um die Absorptionserscheinungen der Ackererden zu erklären, nicht überall die Annahme chemischer Zersetzungen nach den Regeln der Affinität ausreichend“ sei. Brustlein, dessen Untersuchungen (Annal. de Chim. et de Phys. 1859, p. 157) uns gleichfalls mit einzelnen neuen Daten bereichert haben, meint in seinen Schlussfolgerungen: „Die Absorptionsfähigkeit der Ackererde für Ammoniak hängt beinahe ausschliesslich ab von der physikalischen Beschaffenheit der Mineralsubstanzen und der organischen Stoffe, die sie zusammensetzen etc.“ Am Entschiedensten jedoch wird diese Ansicht von Peters auf Grund einer sehr verdienstvollen Arbeit (Landw. Versuchsst. 1860,

wir werden nur die wesentlichsten Versuchsergebnisse zu dem Zwecke zu behandeln haben, den wir uns in erster Linie vorgesetzt, nämlich so weit sie uns zur Aufklärung der Ursache der Absorptionsercheinungen dienen können. Aber vor Allem müssen wir auf Grund der schon vorhandenen oder der bei diesen Untersuchungen zu Tage geförderten Resultaten die Liebig'schen Anschauungen einer Kritik unterwerfen. Wir müssen hier anknüpfen an die Liebig'sche Vorstellung, der zuerst den fraglichen Process verglich mit der Fixirung von Farbstoffen in Kohle. Man hat sich auch später wieder öfters auf die Eigenschaften der Kohle berufen, die Ammoniak in sich verdichte, Salze und Farbstoffe (wie z. B. die Knochenkohle bei der Zuckerfabrikation) in sich niederschlage u. s. f. Die Eigenschaften solcher Kohle scheinen vielen Experimentatoren in mehr oder weniger bestimmter Weise vorgeschwebt zu haben; denn keiner hat es ausgesprochen, dass in der mechanischen Absorption ein physikalischer Process neuer Art entdeckt sei, sondern Jeder glaubte einen längst bekannten Vorgang nur an einem neuen Substrat vor sich zu sehen.

Man braucht nun nur etwas schärfer zuzusehen, um zu bemerken, dass unter dem sogenannten Absorptionsvermögen der Kohle eine ganze Reihe sehr verschiedenartiger Vorgänge verstanden wird. Vor Allem muss strenge unterschieden werden zwischen den Wirkungen, welche die Kohle an sich auszuüben vermag, und den Wirkungen, die eine mit mancherlei Salzen imprägnirte Kohle geltend macht. Gewiss ist es eine allgemein bekannte Thatsache, dass eine poröse Kohle, auch wenn sie ganz arm ist an fremden Bestandtheilen, *Gase in grossen Massen in sich zu verdichten* vermag. Leicht condensirbare Gase sind, wie theoretisch vorauszusehen, auch

---

p. 113) vertreten; von ihm wird geradezu die Schlussfolgerung ausgesprochen: „Die Absorption ist bedingt durch Flächenanziehung, welche die Moleküle der Erde ausüben. Zu der Absorption von Basen aus Salzen ist eine chemische Umsetzung mit den Bestandtheilen der Erde nothwendig, welche durch die Mitwirkung der grossen, von der Erde auf die Basis ausgeübten (prädisponirenden) Anziehung ermöglicht wird.“ Dies ist eine Consequenz, zu deren Berechtigung in den experimentellen Daten der Arbeit durchaus kein genügender Grund erkannt werden kann. In ähnlicher Weise wiederholen sich nun die Schlussfolgerungen, die aus den später angestellten Arbeiten gezogen werden. Rautenberg (Chem. Centralbl. 1863, p. 97 u. 129) legt zwar wieder etwas mehr Gewicht auf den Chemismus bei dem ganzen Vorgang, aber auch er spricht von den „mechanischen Einflüssen“. Etwas ganz Aehnliches kann auch von Heiden (Chem. Centralbl. 1865, p. 129; 1866, p. 1095; Düngerlehre I. p. 290) gesagt werden, der, trotzdem dass seine Versuche als sehr gute Belege dafür benutzt werden können, dass vorzugsweise chemische Reactionen in Betracht kommen, sich sehr vernehmlich für die mechanische Anschauung des Vorgangs neben der chemischen ausspricht. Sachs hat in seinem öfters citirten Handbuch (Vergl. namentlich p. 182) die Ansicht von der mechanischen Absorption völlig adoptirt, und auch Knop, der die einzelnen Beispiele der chemischen Bindung in seinem Lehrbuch der Agrikulturchemie sorgfältig gesammelt und durch eigene und seiner Schüler Versuche namhaft vermehrt hat, lässt derselben eine kleine Hinterthüre offen und ist voll des Lobes für die Liebig'schen Schlussfolgerungen (Kreisl. d. Stoffe I. p. 495 u. 509. Eine übersichtliche Zusammenstellung der Arbeiten über Absorption findet man bei Biedermann: Landw. Versuchsst. 1869, p. 1—13). Unter allen den genannten (mit einer einzigen Ausnahme) deutschen Forschern ist auch nicht einer, der nicht von mechanischer oder physikalischer Absorption geredet und unter einer grösseren oder geringeren Anzahl von Einschränkungen sich für dieselbe ausgesprochen hätte.

einer solchen Verdichtung am leichtesten zugänglich, und das Ammoniakgas\*) wird z. B. in besonders grossem Massstabe in den Poren der Kohle verdichtet. Diese Eigenschaft der Kohle theilen viele andere poröse feste Stoffe\*\*) selbst im Zustande vollkommener Trockenheit (also unter Umständen, wo die Möglichkeit der Absorption durch Wasser gänzlich ausgeschlossen ist), und dieselbe kann nur als ein physikalischer Process aufgefasst werden, da auch sehr einfach zusammengesetzte Stoffe, deren Eigenthümlichkeiten die Möglichkeit einer chemischen Wirkung ganz und gar ausschliessen, sich an dergleichen Verdichtungserscheinungen betheiligen. Auch ist eine in sich abgeschlossene Theorie über diese Vorgänge ausgearbeitet. Es handelt sich dabei einfach um die bekannte Haarröhrchenwirkung, die in sehr engen Hohlräumen grosse Werthe annimmt und selbst mit der Flüchtigkeit (der festgehaltenen Flüssigkeiten) in wirksame Concurrenz tritt\*\*\*). — Diese Vorgänge bleiben offenbar bei der Absorption des Bodens, die aus wässrigen Lösungen erfolgt, völlig aus dem Spiele und dürfen nicht ohne Weiteres zur Erklärung derselben herangezogen werden.

Von dieser Wirkung der Kohle ist wohl zu unterscheiden das *Fixiren von Farbstoffen aus tropfbar flüssigen Lösungen*. Diese Wirkung kommt wiederum auch der reinen Kohle zu und kann in geringerem Grade auch von einer Anzahl anderer Stoffe chemisch verschiedener Natur, z. B. von Schwefel, Arsen und Eisen†), im fein vertheilten Zustande ausgeübt werden. Der hiebei stattfindende Vorgang ist physikalischer Natur, da an eine chemische Wirkung in den meisten Fällen gar nicht gedacht werden kann. Die Fähigkeit, auf diese Weise durch Substanzen von sehr grosser Oberfläche niedergeschlagen zu werden, erstreckt sich aber nicht allein auf die organischen Farbstoffe, sondern auch auf riechende Substanzen zum Theil unbekannter Constitution, auf Bitterstoffe, Harze, Gerbstoffe††), auf eine Reihe von Salzen der schweren Metalle, wobei jedoch Reductionen, also chemische Veränderungen vorzukommen scheinen. Sehr reine Kohle, die alle die letztgenannten Wirkungen zeigt, fixirt dagegen, wie ausdrücklich betont wird, keine Alkalisalze†††). In diesen Erscheinungen haben wir es also mit einer mechanischen Absorption im eigentlichen Sinne des Wortes zu thun; aber es ist wohl im Auge zu behalten, dass sie sich hauptsächlich auf Stoffe eigenthümlichen Charakters erstreckt, wahrscheinlich auf

\*) Nach de Saussure absorbt ein Volum Buchsbaumkohle bei 11°–13° C. und 724mm Barometerstand:

|                         |                                    |            |
|-------------------------|------------------------------------|------------|
| 90 Vol. NH <sub>3</sub> | 40 Vol. N <sub>2</sub> O           | 9,2 Vol. O |
| 85 „ HCl                | 35 „ CO <sub>2</sub>               | 7,5 „ N    |
| 65 „ SO <sub>2</sub>    | 35 „ C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 1,75 „ H   |
| 55 „ H <sub>2</sub> S   | 9,4 „ CO                           |            |

\*\*) Eichhorn: Jahresber. f. Agrikulturchem. 1860–61, p. 27 f.; Blumtritt und Reichardt: ebenda 1866, p. 24.

\*\*\*) Vergl. hierüber meine Abhandlung: Landw. Jahrbücher Bd. III. p. 786 und W. Thomson: London, Edinb. und Dublin. Phil. Magaz. 1871. II. p. 448.

†) Vergl. über denselben Gegenstand vorzugsweise die Angaben Filhols' (Pharm. Centralbl. 1852, p. 211).

††) Vergl. Weppen: Annal. d. Chem. und Pharm. Bd. 55 p. 241.

†††) Vergl. ebenda.

Stoffe von hohem Molekulargewicht, die ziemlich schwierig löslich sind, und, wenn sie gelöst sind, leicht wieder mechanisch mit einem Niederschlage niederzureissen, noch schwieriger diffundirbar, und die selbst beim einfachen Filtriren eben dieses Umstandes wegen auf dem Papiere zurückbleiben. Vielleicht, dass der braune Farbstoff der Jauche auf diese Weise durch jede feine Erde niedergeschlagen wird. Für die eigentlichen Pflanzennährstoffe liegt hier kein Analogon.

Wir haben es schliesslich mit einer dritten jener so gründlich untereinander geworfenen Erscheinungen zu thun, in Folge deren thatsächlich auch *Salze der Alkalien und alkalischen Erden niedergeschlagen werden*. Es ist dies die Wirkung der Knochenkohle\*), einer Substanz, die gar nicht mehr strenggenommen als Kohle bezeichnet werden dürfte, denn sie enthält etwa 80%, ja, bis 90% \*\*) Asche. Bei ihr sind offenbar chemische Umsetzungen durchaus nicht ausgeschlossen, und wenn ein solcher Körper eine Reihe von Salzen in sich niederschlägt, was die reine Kohle an sich nicht thut, so ist es mindestens willkürlich, dennoch eine mechanische Absorption zur Erklärung eines solchen Vorgangs anzunehmen. Das Gleiche muss gesagt werden, wenn Peters Absorptionsversuche mit zwar durch Säure extrahirter, aber entfernt nicht aschenfreier Kohle und Kalisalzen anstellt und in gleicher Weise Schlussfolgerungen zieht. Es ist durchaus willkürlich, in diesem Falle mechanische Absorption anzunehmen und um so willkürlicher, wenn Kalk in den abfliessenden Lösungen an Stelle des weggenommenen Kalis angetroffen wird, und die Absorptionsfähigkeit der Kohle durch Imprägniren mit kohlensaurem Kalk wesentlich gesteigert werden kann. Ganz dieselben Einwürfe sind auch Heiden\*\*\*) zu machen, wenn er aus seinen Absorptionsversuchen mit rohem und mit verschiedenen Medien behandeltem Torf einen analogen Schluss macht; denn hier hatte man es nicht allein mit Substanzen zu thun, die einen Aschengehalt unbekannter Zusammensetzung enthielten, sondern mit solchen, die selbst die mannigfachsten chemischen Wirkungen ausüben.

Es ist also alles in allem genommen in dieser Richtung zu sagen, dass bei keinem andern Medium mit Zuverlässigkeit eine rein mechanische Absorption der Art constatirt ist, wie man sie ganz allgemein und arglos für die Ackererde angenommen hat. Für Alkalien, für deren Salze und für die von alkalischen Erden ist bis jetzt niemals eine Fixirung aus einer wässrigen Lösung unter Umständen wahrgenommen worden, wo chemische Wirkungen vollständig ausgeschlossen waren, und Jedermann muss zugeben, dass damit die Theorie der mechanischen Absorption für diese Körper auf schwachen Füßen steht. — Wenn man dagegen die blosse Entfärbung der Mistjauche durch

---

\*) Es verdient hier auch Erwähnung, dass Rousseau gezeigt hat, dass die thierische Kohle in ihrem Reinigungsvermögen für Zuckersaft bis zu einem gewissen Grade durch Gyps ersetzt werden kann; vergl. Landw. Versuchsst. 1862, p. 200; über Doppelsalze von Gyps mit Kalisalzen vergl. Fassbender: Ber. d. d. chem. Gesellsch. 1876, p. 1358.

\*\*) Vergl. Walkhoff: „Der praktische Rübenzuckerfabrikant etc.“ 1872, 2, p. 254.

\*\*\*) Vergl. Düngerlehre I. p. 286. — Ebenso auch Schumacher, welcher merkwürdigerweise bei aus Zucker dargestellten Humussubstanzen chemische Wirkungen für ausgeschlossen hält; vergl. Annal. d. Landwirthschaft Bd. 49, p. 322 und Anm. (\*) auf p. 88.

mechanische Absorption erklären will, so wird Niemand an dieser Annahme Anstoss nehmen, da hinreichend bekannt ist, dass eine Anzahl fein vertheilter Körper von der allergrössten chemischen Verschiedenheit, und für deren Mehrzahl an eine chemische Reaction gar nicht gedacht werden kann, die gleichen entfärbenden Eigenschaften zeigt\*).

Dass bei der Absorption der Ackererde *nebenbei* auch chemische Erscheinungen im Spiele seien, daran hat von Anfang des Studiums derselben an Niemand gezweifelt. Jeder der vielen genannten Experimentatoren hat die Thatsache constatirt, dass bei Absorption eines Salzes, dessen Basis absorbirbar ist, dessen Säure aber nicht, ein Theil dieser letzteren an eine andere vorher der Erde angehörigen Base gebunden, in der abfliessenden Lösung nachgewiesen werden könne. Es kann sich also hier nicht darum handeln, den Chemismus bei den Absorptionserscheinungen nachzuweisen, sondern lediglich darum zu prüfen, ob durch diesen Chemismus auch alle beobachteten Thatsachen zur Genüge erklärt werden können.

Wenn man sich im voraus überlegt, was damit verlangt wird, wenn man die Aufgabe stellt, alle die chemischen Vorgänge in einem so complicirt zusammengesetzten Medium, wie es die Ackererde ist, zu erklären, so dürfte man nicht einmal verzagen an der chemischen Natur der beobachteten Vorgänge, auch wenn deren Aufklärung aus chemischen Gesichtspunkten bis zur heutigen Stunde noch nicht gelungen wäre.

---

\*) Als ich vor Jahren, im Winter 1866/67, über Absorption zu arbeiten begann, war ich in dem allgemeinen Autoritätsglauben befangen, dass rein physikalische Processe bei derselben eine Hauptrolle spielten. Ich nahm mir vor, diese Processe bei völligem Ausschluss aller chemischen Nebenwirkungen an sich in ihrer reinen Gestalt zu studiren, um so Gesetzmässigkeiten auf die Spur zu kommen, die man schon öfters bei der Ackererde (vergleiche Bödecker: Journ. f. Landw. 1859, p. 48) in verdeckter Form angedeutet gesehen zu haben glaubte. Namentlich wollte ich auch diese Gesetzmässigkeiten vergleichungsweise für Kali- und Natronsalze prüfen, da es mir schon von vorneherein auffallend gewesen war, bei einem rein physikalischen Prozesse, diese physikalisch einander so ähnlichen Salze in so verschiedenem Masse betheiligt zu sehen. — So kam ich ursprünglich auf Versuche mit Substanzen, bei denen jede chemische Wirkung völlig ausgeschlossen war. Ich unternahm es zunächst, mir eine poröse Kohle darzustellen, die frei war von allen Aschenbestandtheilen wie anderen Unreinigkeiten. Eine solche kann am einfachsten erhalten werden, wenn man ein russende Petroleumlampe gegen eine Schale mit kaltem Wasser schlagen lässt, den Russ sammelt und ihn im verschlossenem Tiegel längere Zeit zur Rothgluth erhitzt. Mit einer solchen staubförmigen Kohle, die zweifelsohne eine sehr grosse Oberfläche besitzt, wurden nun Absorptionsversuche unternommen ganz in der üblichen Weise und mit einer Reihe von Substanzen, deren Absorbirbarkeit durch Ackererde längst festgestellt ist. Es wurden z. B. verwendet: Chlorkalium, schwefelsaures Kali, phosphorsaures Natron, kaustisches Ammoniak u. a. m. Allein in keinem Falle, mit Ausnahme von Ammoniak, bei dem eine schwache Verdunstung nicht ausgeschlossen war, gelang es mir, eine Absorption festzustellen, obgleich ich die üblichen Concentrationen und Verhältnisse eingehalten hatte; der Titre der Flüssigkeiten erschien, wenn ich selbst erst nach einigen Tagen abfiltrirte, unverändert. Dieselbe Kohle besass aber die Fähigkeit, eine Reihe von gelösten Farbstoffen in sich niederzuschlagen und dieselben Wirkungen auf andere Stoffe von hohem Molekulargewichte auszuüben. Dies zum Beweise, dass die Russkohle porös genug war, um überhaupt Absorptionserscheinungen hervorzurufen.

Um dies anschaulich zu machen, denke man sich folgende Aufgabe gestellt. Man schütte in ein Gefäss nach einander eine Reihe von der Qualität und Quantität nach genau gekannten Reagenzien und lasse einen gewandten und kenntnisreichen Chemiker voraussagen, welcher chemische Umsatz bei der Hinzufügung eines jeden neuen Reagens eintreten wird. Zuerst wird die Aufgabe sehr leicht sein, aber schon beim dritten und vierten Zusatz wird sie sich so compliciren, dass die Weisheit des Chemikers ihr Ende erreicht, und haben wir erst ein Gemisch beisammen, wie es alltäglich in unsern Abflusstöpfen sich bildet, so wird die Aufgabe für menschliche Kräfte ganz und gar unlösbar sein. In einer ähnlichen Lage befinden wir uns anscheinend mit allen unseren Kenntnissen der einzelnen möglichen chemischen Reactionen, einem Gemisch, wie die Ackererde eines ist, gegenüber.

Ganz so schlimm steht es aber thatsächlich nicht. Es gelingt heute mit ziemlicher Leichtigkeit, für die Festhaltung aller einzelnen gelösten salzartigen Bestandtheile in der Ackererde, für die sog. Absorption jener ganzen Reihe von Stoffen, chemische Gründe geltend zu machen. Es ist dies vielleicht bei der Schwierigkeit der Aufgabe ein glücklicher Zufall zu nennen, den wir allein dem Umstande zu danken haben, dass so viele umfassende und in ihrem experimentellen Theile durchweg tüchtige Arbeiten über die in Rede stehenden Erscheinungen in kurzer Zeit angestellt worden sind.

Die folgende kurze Uebersicht möchte den heutigen Stand unserer Kenntnisse auf dem Gebiete der Absorptionsercheinungen am einfachsten und zugleich am vollständigsten ausdrücken.

1. Aus den *Salzen der Alkalien und alkalischen Erden mit starken Mineralsäuren* können die Basen unter Austausch gegen eine andere Base absorbirt werden durch *wasserhaltige Doppelsilicate*, welche in den Thon- und Lehm Böden in grösster Menge enthalten zu sein pflegen. Z. B. um zugleich einem speciellen und praktischen Falle näher zu treten: Ein thoniger Boden, in welchem ein wasserhaltiges Doppelsilicat von Thonerde und Kalk vorkommt, wird in Berührung gebracht mit Chlorkaliumlösung, so entsteht theilweise Thonerde-Kalisilicat und Calcium tritt in äquivalenten Mengen mit Chlor verbunden in Lösung.
2. *Carbonate und Oxydhydrate der alkalischen Erden und Alkalien* können in der Ackererde absorbirt werden durch *Humussäuren*, insofern nämlich die Humate schwerer löslich sind als jene, auch durch *hydratische Kieselsäure*, welche in sauren Ackererden zuweilen vorkommen mag. So wird z. B. kohlen-saures Ammoniak, ein regelmässiger Bestandtheil der Mistjauche, durch humose Erden festgehalten. Aber auch die *oben erwähnten Doppelsilicate* (ja selbst reiner Kaolin) können in derselben Richtung wirksam sein, da sie ja, zumal des doppel-sinnigen Charakters der Thonerde (die Salze mit Säuren und Aluminate mit Basen bildet) wegen, keine bestimmte Sättigungscapacität für Basen besitzen.
3. Von *Säuren* wird nur die *Phosphorsäure* in erheblichem Masse, diese aber sehr vollständig sowohl aus den Salzen wie im freien Zustande absorbirt durch *kohlen-sauren Kalk* und durch *Eisen-oxydhydrat*. Ja auch die mehr-

erwähnten Doppelsilicate können gerade wegen ihrer unbestimmten Sättigungscapacität in den meisten Fällen Theil nehmen an der Phosphorsäureabsorption, und um so eher wird das möglich sein, je basischer das Silicat zur Zeit ist. Die eventuell mit der Phosphorsäure verbundene Base unterliegt hierbei der eben zuvor besprochenen Weise von Absorption.

4. In einer Ackererde, in welcher kohlenaurer Kalk vorhanden ist, verhalten sich die Salze mit starker Mineralsäure z. Th. auch wie freie Basen oder wie Carbonate, da eine theilweise, aber unter Mitwirkung der Absorption fortschreitende Umsetzung der beiden genannten Körper eintritt.

Diese Folgerungen gründen sich fast ganz und gar auf Versuche mit aus der Ackererde isolirten Substanzen oder solchen, deren Existenz in der Erde für gewiss anzusehen wir berechtigt sind. Allein vorläufig ist es für unsern Zweck wichtiger einzusehen, dass die ganze Absorption von Salzen durch chemische Reactionen erklärt werden kann, als eine genau zutreffende Vorstellung von diesen Reactionen in jedem einzelnen Falle zu gewinnen.

In einzelnen Stücken hat freilich auch schon Liebig auf chemische Reactionen bei den Absorptionserscheinungen hingedeutet. So z. B. hat derselbe gezeigt, dass aus Lösungen von kieselurem Kali humusreiche Erden besonders das Kali, aber wenig Kieselure aufnehmen, so dass sich auf die Weise im eingedampften Filtrat Kieselgallerte bilden kann, und dass solche Erden nach der Zerstörung jener Substanzen durch die Glühhitze oder nach Zusatz von kohlenurem Kalk auch grosse Mengen von Kieselure zu absorbiren vermögen, und hat diese Erscheinungen durch den Hinweis auf die saure Beschaffenheit der Humussubstanzen erklärt\*). — Es ist

\*) Wir verdanken diese Kenntnisse z. Th. den schon citirten Arbeiten. Ferner ist hier zu erwähnen Knop: Landw. Versuchsst. 1865, p. 59; P. Wagner: Journ. f. Landw. 1871, p. 89; Warrington: Journ. of Chem.-Soc. 1868. Vergl. auch die von Reichardt (Preuss. Annal. d. Landw. Woch.-Bl. 1870, p. 50) für das Verhalten von Eisenoxydhydrat und Thonerdehydrat den Basen, der Phosphorsäure und den kohlen. Salzen gegenüber gemachten interessanten Mittheilungen, auch die Resultate von Beyer: ebenda 1869, Monatsbl. Aug. Sept., und Eichhorn: Landw. Jahrb. Bd. 4. 1875, p. 1. Auch Brettschneider hat (vergleiche Jahresber. f. Chemie 1866, p. 45) sich für die rein chemische Natur der Absorptionserscheinungen ausgesprochen, jedoch ohne hinlängliche Begründung. Als weiterer Verfechter der chemischen Anschauungen ist dann Eichhorn, dessen einschlagende Arbeit wir vorhin citirten, zu nennen. Von Wichtigkeit für das Verständniss der Ursachen der Basenabsorption ist die Arbeit dieses Forschers: Pogg. Annal., Bd. 105 p. 126 und neuerdings Landw. Jahrb. Bd. 4. 1875, p. 1, ferner eine Arbeit A. Knop's über die Bildungsweise von Granit und Gneiss: Naturw. Verein zu Karlsruhe, 10. März 1871, und namentlich die reiche Arbeit von Lemberg: Ueber Silicatumwandlungen, Dorpat 1877. Endlich hat Mulder in seiner Chemie der Ackerkrume (Uebersetzung v. Müller, Bd. I. p. 387—420 u. 447—514) viel zur Vertiefung der Anschauungen über Absorption beigetragen und van Bemmelen hat durch seine sorgfältigen Detailstudien (Landw. Versuchsst. Bd. 21 p. 184 u. Bd. 23 p. 295) der ganzen Reihe einen würdigen Abschluss gegeben. Derselbe bespricht sehr vollständig die Absorption aus Salzen mit starken Säuren durch basische Zeolithe mit Auswechslung. Ferner findet v. B.: freie hydratische Kieselure absorbiert KHO, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> durch gleichzeitige Erzeugung von KHCO<sub>3</sub> (Dissociation), auf dieselbe Weise Borate und Phosphate. Aehnlich, nur weniger stark verhält sich jene gegenüber anderen Basen. Salze mit starken Säuren werden auf diese Weise



ferner darauf hinzuweisen, dass in Bezug auf Absorption der Phosphorsäure von den meisten Forschern die rein chemische Natur dieser Erscheinung zugestanden worden ist. So führte auch Heiden\*) dieses Festhalten der Phosphorsäure auf rein chemische Erscheinungen zurück, nämlich auf Bildung von unlöslichen Verbindungen derselben mit Eisenoxyd, Thonerde, Magnesia und Kalk, und es wurde auch anderweitig die Niederschlagung der Phosphorsäure aus Superphosphatlösungen durch kohlensauren Kalk durch vielfache Versuche\*\*) festgestellt, obwohl dieser Process nur langsam von Statten geht. Später scheint alsdann die Phosphorsäure durch das Eisenoxyd des Bodens dem Kalke mehr oder weniger vollständig entzogen zu werden\*\*\*).

In Bezug auf die Absorption der Basen ist man also in den neuesten Anschauungen wieder auf etwas Aehnliches zurückgekommen, was Way ursprünglich angenommen hatte†). Unter Anderem sind es wieder gewisse Silicate von variabler Zusammensetzung, denen man auf Grund eingehender Studien jene Rolle ertheilt. — Wir müssen auf diesen Gegenstand noch mit einigen weitem Worten eingehen, da einige der Details sehr viel zum Verständniß der oben aufgestellten Sätze beitragen.

Es sind vorzüglich die Arbeiten Rautenberg's mit Bolus und vergleichungsweise mit Kaolin gewesen, die dieser Ansicht zum Siege verholfen haben. Es wurde gezeigt, dass dem Bolus, einem Silicate, das neben Thonerde eine Reihe von andern

---

fast gar nicht und darum auch nicht durch zuvor mit HCl behandelter und dann ausgewaschener Erde absorbirt, welche freie Alkalien und solche mit schwachen Säuren stark absorbirt. Die mit HCl behandelte Erde kann durch Zumischen von Gyps,  $\text{CaCl}_2$  etc. -Salze mit starken Säuren nicht in ihren Eigenschaften restituirt werden. Wohl aber wirkt  $\text{CaCO}_3$  in dieser Richtung und zwar auf folgende Weise:  $\text{CaCO}_3$  wird durch KCl aufgelöst, es entsteht etwas  $\text{K}_2\text{CO}_3$  und  $\text{CaCl}_2$ . Aus  $\text{K}_2\text{CO}_3$  wird  $\text{KO}$  absorbirt und es bildet sich etwas  $\text{KHCO}_3$ ; sobald  $\text{K}_2\text{CO}_3$  verschwunden, beginnt die Reaction von Neuem. — Eine extrahirte Erde kann auch durch Kochen mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  einen Theil ihres ursprünglichen Absorptionsvermögens zurückgewinnen. — Für die Theorie der Absorption der humusartigen Stoffe ist die Arbeit von Alfred König (Landw. Jahrb. 1882, p. 1) von ebenso grossem Gewicht. — Detmer's Zusammenstellungen sind von den Schlussfolgerungen von van Bemmelen etwas abweichend; vergl. S. 366 seiner Bodenkunde: Ammoniak und Kali werden nach ihm absorbirt durch Kieselsäure und Silicate (besonders wasserhaltige), Humussäure und Humate, Thonerde und Aluminate u. phosphors. Thonerde, Eisenoxydhydrat und phosphors. Eisenoxyd. Aehnlich auch die anderen Basen: Ammoniak kann natürlich auch durch Bildung von phosphors. Magnesia-Ammoniak absorbirt werden. Phosphorsäure wird absorbirt durch Kalk, Eisenoxyd, Thonerde; dann natürlich auch bei Umsetzungen durch Bildung von phosphorsaurem Magnesia-Ammoniak.

\*) Vergl. Düngerlehre I. p. 290.

\*\*) Siehe z. B. Bericht der Versuchsst. Karlsruhe 1870, p. 111.

\*\*\*) Vergl. Peters: Journ. f. Landw. 1870, Jahresber. p. 73 f.; indessen auch P. Wagner: Journ. f. Landw. 1871, p. 89.

†) Eine Ausnahme hiervon macht nur die schon erwähnte Absorption von organischen Farbstoffen durch alle möglichen porösen Stoffe, also auch durch Ackererde, und dann die von Alfred König neuerdings wieder festgestellte Thatsache, dass namentlich Sphagnum-artiger Torf freies Alkali etwas absorbirt unter Umständen, wobei an chemische Wirkung nicht wohl zu denken ist. Vergl. Landw. Jahrb. 1882, p. 1.

Basen enthält, ein bedeutendes Absorptionsvermögen für einzelne Basen zukomme, dass demselben aber dieses Vermögen durch Extraction mit Salzsäure genommen werden könne, durch einen Process also, bei welchem dem Bolus die andern Basen ausser Thonerde grossentheils entzogen werden. Es wurde dagegen gezeigt, dass dem Kaolin, der reinen kieselsauren Thonerde, kein Absorptionsvermögen\*) zukomme, dass er aber ein solches erhalte, wenn er mit Wasserglas, einem kieselsauren Alkali imprägnirt wird. Hierbei bilden sich zeolithartige Doppelsilicate (Lemberg).

Wir finden also in der Ackererde leicht zersetzbare Doppelsilicate, die neben der Thonerde noch eine oder die andere Base, eine alkalische Erde oder ein Alkali oder auch mehrere dieser Basen nebeneinander enthalten\*\*). Diese Silicate haben die Eigenschaft unter dem Einflusse der Massenwirkung, ihre accessorischen Basen (nicht die Thonerde) gegen einander umzutauschen. Ist vorzugsweise Kalk in dem Silicat vorhanden, wie dies für unsere kalkreichen Ackerererden meistens gedacht werden muss, so wirken Kali-, Magnesia- und Ammoniaksalze\*\*\*), in zurücktretenderweise auch Natronsalze, auf diese Verbindungen ein; und es findet nach doppelter Wahlverwandtschaft der Austausch der Basen statt. Kalk tritt alsdann, an die in der Lösung enthaltene Säure gebunden, aus dem Silicate aus und wird in der Lösung vorgefunden, während nun Kali (resp. Ammoniak-, Natron oder Magnesia) an die Stelle des Kalks in das Silicat eintreten. Aus dieser Vorstellung, die wir uns von der Basenabsorption aus Salzen zu machen alle Berechtigung haben, folgt zugleich, dass nun die umgekehrte Reaction, unbeschadet der verschieden grossen chemischen Affinitäten, erfolgen kann†) und dieselbe muss, wenn zu dem veränderten Silicate wieder eine Kalklösung gegeben wird, unfehlbar eintreten.

Etwas abweichend hiervon muss die Absorption der kaustischen Alkalien und Carbonate durch dasselbe Absorbens gedacht werden, die aber in der Natur eine hervorragende Rolle spielt. Hierbei tritt basisches Wasser aus dem Doppelsilicate aus, die Basis ein (Lemberg).

Dabei verdient auch noch der Chemismus, den die Humussubstanzen bei der Ammoniakabsorption ausüben, besonders hervorgehoben zu werden. Man darf sich hierbei nicht dadurch irre machen lassen, dass die huminsauren und ulminsauren

\*) Der Kaolin zeigt nach den Untersuchungen von Rautenberg nur Absorptionsvermögen für freies Ammoniak, nicht für die Salze.

\*\*) Vergleiche in dieser Hinsicht auch die Arbeit Eichhorn's, aus welcher, obwohl sie nicht als Untersuchung über die Absorptionserscheinungen auftritt, in dieser Richtung viel zu lernen ist (Jahresber. f. Agrikulturchem. 1859/60, p. 19). Dieselbe wäre sehr wohl zu einer frühzeitigen Begründung der chemischen Anschauung geeignet gewesen.

\*\*\*) Ueber die Untersuchungen des Absorptionsschemismus zwischen Kali- und Ammoniaksalzen vergl. Knop: Die Bonitirung etc. 1871, p. 33 f., 44 f.

†) Dies beweisen auch die Peters'schen Versuche mit grosser Klarheit, durch welche festgestellt wurde, dass in einer bereits der Kaliabsorption ausgesetzten Erde nun die Natronabsorption eine sehr viel grössere ist als vorher. Vergl. auch die interessanten Versuche von Knop u. Hussakowsky (Kreisl. d. Stoffe II. p. 173), aus denen ganz dasselbe hervorgeht. Endlich gehört hierhin die künstliche Umwandlung des (kalihaltigen) Leucits in (natronhaltigen) Analcim durch Chlornatriumlösung und umgekehrt durch Chlorkaliumlösung (Lemberg).

Alkalien, wie wir früher gesehen haben, lösliche Stoffe sind, und also nicht zur Erklärung der Absorptionerscheinungen benutzbar zu sein scheinen. Es ist daran zu erinnern, dass es auch schwerer lösliche Humusstoffe gibt, die gleichwohl die Rolle von Säuren spielen und namentlich, dass die Humate ähnlich wie die Silicate eine Neigung haben, schwer lösliche Doppelverbindungen zu bilden. Auch ist jene Löslichkeit, wenn andere Salze zugegen sind, keine so gar hohe. Es sind vorzugsweise die Brustlein'schen Versuche, welche diese Beziehung ins Licht stellen und an der chemischen Natur des Vorganges keinen Zweifel lassen.

Was bei den meisten Experimentatoren immer wieder den Gedanken eines mechanischen Processes hervorgerufen hat, das scheint mir die Thatsache zu sein, auf die wir in der nächsten Vorlesung wieder zurückkommen werden, dass die Menge des der Lösung entzogenen Körpers stets sich abhängig zeigte von der Concentration und der Menge derselben. Man meinte, dass dies ein sicheres Zeichen sei für einen rein physikalischen Vorgang, da chemische Processe nicht abhängig zu sein pflegten von den Mengen der auf einander reagirenden Stoffe. Allein man weiss ja, dass dieser Satz nicht allgemein richtig ist, denn sog. chemische Massenwirkungen sind zur Genüge bekannt und treten nur bei den besser studirten chemischen Erscheinungen, wo *grosse* Affinitäten ins Spiel kommen, in den Hintergrund. Aber noch verhängnissvoller ist für diese Art zu argumentiren der Umstand, dass bei der Phosphorsäureabsorption, in Bezug auf welche man die chemische Natur des Vorgangs bereitwillig zugab, ganz dieselbe Abhängigkeit der unlöslich gemachten Säure von der Concentration der angewendeten Salzlösung constatirt war. So fanden Henneberg und Stohmann folgende Zahlen für Phosphorsäureabsorption aus phosphors. Ammoniak je in 9 Stunden\*).

| Phosphorsäure.   |                 |                 |                   |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
|                  |                 | Gegebene Menge. | Absorbirte Menge. |
| 100 Gr. Erde und | 200 Ccm. Lösung | 0,144 Gr.       | 0,072 Gr.         |
| "                | "               | 0,720 "         | 0,244 "           |
| "                | "               | 1,440 "         | 0,396 "           |

Dasselbe zeigen die Zahlen anderer Forscher. Es ist also nicht nothwendig, über die Stichhaltigkeit des gebrauchten Argumentes ein weiteres Wort zu verlieren. Wir werden dagegen in der nächsten Vorlesung zur Betrachtung der praktischen Bedeutung der von uns nun genugsam beleuchteten Erscheinung übergehen.

---

\*) A. a. O.

## Neunundzwanzigste Vorlesung.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Absorptionserscheinungen in ihrer Wirkung.

Wir haben in der letzten Vorlesung die merkwürdigen Erscheinungen in der Ackererde kennen gelernt, welche als Absorption bezeichnet worden sind. Wir haben diese Erscheinungen auf ihre Ursächlichkeit geprüft und sind zu dem Resultate gekommen, dass chemische Processe vollständig ausreichen, um dieselben zu erklären.

Heute wollen wir weit wichtigere Betrachtungen an die Absorptionserscheinungen anknüpfen — Betrachtungen über deren Bedeutung für die Ackererde und für die Pflanzenernährung unter den natürlichen Verhältnissen. Zu dem Behufe müssen wir aber noch ein wenig näher auf das Wesen jener Erscheinungen eingehen.

Namentlich wird — dies ist leicht einzusehen — für uns von Wichtigkeit sein, eine Vorstellung von der Wechselwirkung der sogenannten absorbirten Stoffe mit dem Lösungswasser, resp. Bodenwasser, zu gewinnen. Wir wissen bereits, dass die chemischen Affinitäten, welche die Absorption bewirken, von ziemlich geringer Stärke sind, so dass die Lösungskraft des Wassers mit ihnen in eine erfolgreiche Concurrenz zu treten im Stande sein wird. — Die einschlagenden Untersuchungen haben folgende Sätze ergeben:

1. *Aus einer verdünnteren Lösung wird regelmässig weniger absorbirt als aus einer concentrirteren, auch wenn beide in grossen Mengen anwesend sind.*

2. *Die absorbirten Stoffe können durch Auswaschen mit vielem Wasser theilweise wieder der Erde entzogen werden.*

Diese beiden experimentell festgestellten Sätze sind direct herzuleiten aus dem eben geltend gemachten Gesichtspunkte, dass die ins Spiel kommenden chemischen Kräfte nicht so gross sind, dass die lösenden Kräfte des Wassers vollständig gegen sie verschwinden, und aus dem gleichen Gesichtspunkte ergibt sich dann auch noch der dritte Satz, welcher lautet:

3. *Aus einer grösseren Menge Lösung wird mehr absorbirt als aus einer kleineren Menge von derselben Concentration,*

weil bei Entzug einer gleichen Menge des absorbirbaren Körpers die in grösserer Menge vorhandene Lösung weit weniger erschöpft wird, also die lösende Kraft des Wassers, die selbstverständlich bei steigender Concentration der Lösung eine geringere wird, und die ja der Absorption entgegen wirkt, weniger auszurichten vermag.

Diese Sätze der Relativität der Absorptionsgrösse verdienen in der landwirthschaftlichen Praxis alle Beachtung, wenn ihnen eine solche auch noch kaum hinlänglich zu Theil geworden ist. Es folgt aus denselben unter Anderem auch, dass sehr verdünnte Nährstofflösungen, wie z. B. Bewässerungswässer, ihre Stoffe unter Umständen vor Absorption schützen werden, ja, im Gegentheil, mit Erde zusammengebracht, welche

schon viele Stoffe im absorptiv gebundenen Zustand enthält, diese auslaugen werden, und ohne Zweifel ist dies für die Theorie der Bewässerung eine sehr beachtenswerthe Folgerung, die auch schon experimentell bestätigt worden ist\*).

Man hat wiederholt versucht, diese experimentell feststehenden Sätze noch genauer zu präcisiren und die Abhängigkeit, z. B. zwischen Zunahme der Concentration der Lösung und Menge des absorbirten Stoffes mathematisch zu formuliren. Eine Zeit lang, und namentlich so lange man meinte, es mit einem Vorgang rein physikalischer Natur zu thun zu haben, glaubte man einer solchen Gesetzmässigkeit auf der Spur zu sein, und Bödeker\*\*) hat in der That mit einigem Glück aus den von Henneberg und Stohmann gelieferten experimentellen Daten die Beziehung abgeleitet, dass *die absorbirten Mengen von Kali oder von Ammoniak sich verhielten wie die Quadratwurzeln der Concentrationen der verabreichten Lösungen*. Dies sogenannte Bödeker'sche Gesetz sagt also z. B. aus, dass bei Verdoppelung der Concentration einer Absorptionslösung die absorbirten Mengen sich verhalten müssten, wie  $1 : \sqrt{2}$ , d. i.  $1 : 1,41$ . Es ist von vornherein klar, dass, da die Absorption steigt mit der Concentration, aber wegen der mehr und mehr zunehmenden Sättigung der die Absorption bewirkenden chemischen Kräfte niemals proportional dieser Concentrationssteigerung zunehmen kann, die bei der Verdoppelung der Concentration sich ergebende Absorptionsgrösse bezogen auf die ursprüngliche zwischen 1 und 2 liegen muss, sich aber keiner dieser beiden Zahlen allzusehr nähern kann. Daraus folgt nun schon, dass, wenn man in Bezug auf kleinere Abweichungen ein Auge zudrückt, sich eine gewisse entfernte Uebereinstimmung der experimentellen Daten mit dem Bödeker'schen Gesetze ergeben muss. Wenn man dies berücksichtigt, so kann man sagen, dass sich dieses Gesetz, obwohl in nahezu genügender Uebereinstimmung mit den Zahlen von Henneberg und Stohmann und auch noch mit vielen von Rautenberg\*\*\*) und Peters durch die spätern Versuche durchaus *nicht* bestätigte. So finden sich bei den Zahlen, wie sie aus der Arbeit dieses Letztgenannten hervorgehen, schon Abweichungen, die ich in einfachster Weise durch die Ziffern ausdrücken will, welche die Absorptionssteigerung bei Verdoppelung der Lösungsconcentration bezeichnen und welche beim Zutreffen des Gesetzes  $= \sqrt{2} = 1,41$  sein müssten.

|                    |                                                     |      |
|--------------------|-----------------------------------------------------|------|
| Für schwefelsaures | Kali ( $\frac{1}{20}$ Atom : $\frac{1}{10}$ Atom) = | 1,61 |
| „ doppelkohlsaures | „ „ „ =                                             | 1,67 |
| „ kohlensaures     | „ „ „ =                                             | 1,82 |
| „ Kalihydrat       | „ „ „ =                                             | 1,83 |
| „ phosphorsaures   | „ „ „ =                                             | 1,89 |

Man sieht, dass die Uebereinstimmung, besonders wenn man im Sinne behält, was eben für die mögliche Variation der gefundenen Zahl gesagt wurde, eine sehr

\*) Vergl. Kulturingenieur III. 1871, p. 34.

\*\*) Journ. f. Landw. 1859, p. 48.

\*\*\*) Vergl. Chem. Centralbl. 1863, p. 127.

unvollkommene ist\*). Immerhin werden wir an dem Ausdruck des Gesetzes einen ungefähren Anhalt besitzen für eine in den meisten Fällen hinreichende Beurtheilung der Absorptionszunahme bei Concentrationssteigerungen, und somit ist ihm nicht aller Werth schlechthin abzusprechen.

Uebrigens ergibt sich schon aus einem rein theoretischen Gesichtspunkte, dass jenes Absorptionsverhältniss für wechselnde Concentrationen niemals durch eine constante Zahl (wie 1,41 für die Concentrationsverdoppelung) ausgedrückt werden kann; denn offenbar ist diese Zahl abhängig von der Concentration, von der man ausgeht, sie ist nothwendig eine Function der absoluten, nicht bloss der relativen Concentration; denn, wenn einmal die Concentration sehr gross wird, so wird eine Concentrationsvermehrung nichts Erhebliches mehr leisten können, da die Erde schon durch einen geringen Bruchtheil der gelösten Substanz völlig gesättigt wird. In gleicher Weise muss jene Zahl auch abhängig sein von der absoluten Flüssigkeitsmenge, die in beiden Fällen angewendet wird, und deren Verhältniss zur Erde, wie sich aus demselben Gesichtspunkte ergibt.

Für den zweiten mitgetheilten Satz, der aussagt, dass absorbirte Stoffe wieder durch reines Wasser theilweise in Lösung übergeführt werden können, hat man vergeblich gesucht, Gesetzmässigkeiten ausfindig zu machen. Doch haben alle dahin gerichteten Versuche ergeben, dass die Auflösungsfähigkeit einmal absorbirter Stoffe in reinem Wasser eine ziemlich unbedeutende und eine Zeit lang nahezu proportional dem Auslaugungswasser sei. Dies Verhalten ist leicht verständlich, wenn wir bedenken, dass bei der Auslaugung durch reines Wasser nun nicht der umgekehrte chemische Austausch wie der, durch welchen die Absorption ursprünglich bewerkstelligt wurde, stattfinden kann (wie dies etwa nach der physikalischen Vorstellung eintreten müsste), da im reinen Wasser nicht das chemische Material, nämlich die Bestandtheile der abgegossenen Absorptionsflüssigkeit, zum entgegengesetzten Umsatz vorhanden ist. Man hat es also hier wesentlich mit einem *ganz andern*, unter viel

---

\*) Dasselbe ergibt sich ganz durchgehends, wenn man die von Küllenberg gefundenen Zahlen (vergl. Brettschneider: Mittheilungen des landw. Centralvereins für Schlesien. H. 15, p. 83) auf gleiche Weise berechnet.

|                                        | Zunahme der Absorption für Verdoppelung<br>der Concentration. |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>Kaliabsorption.</b>                 |                                                               |
| Im Maximum für salpetersaures Kali     | 1,85                                                          |
| im Minimum für kohlenaures Kali        | 1,21                                                          |
| <b>Ammoniakabsorption.</b>             |                                                               |
| Im Minimum für schwefelsaures Ammoniak | 1,19                                                          |
| im Maximum für phosphorsaures Ammoniak | 1,65                                                          |
| <b>Natronabsorption.</b>               |                                                               |
| Im Maximum für phosphorsaures Natron   | 1,79                                                          |
| im Minimum für kohlenaures Natron      | 1,28.                                                         |

Noch grössere Abweichungen ergeben sich für Kalk- und Magnesiaabsorption und für Vervielfachung der Concentration, wo das Bödeker'sche Gesetz nach unserer Ausdrucksweise  $\sqrt[4]{4} = 2$  verlangte, ergaben sich für die Kaliabsorption Zahlen, die zwischen 1,72 bis 3,3 schwanken.

ungünstigeren Umständen sich vollziehenden Processe zu thun. (Die annähernde Proportionalität der so in Lösung übergeführten Stoffe mit der Menge des Lösungswassers deutet auf eine einfache Lösung, vielleicht des ganzen bei der Absorption entstandenen Silicates oder auf eine gleichmässige Zersetzung dieses letzteren hin.) Aus diesem Verhalten der Erde, welche absorbirte Stoffe in sich enthält, dem Wasser gegenüber, ergibt sich auch, dass man nicht von einer an absorbirten Stoffen „gesättigten“ Erde sprechen kann, obgleich dies von Seiten der Anhänger der Liebig'schen Anschauungen in Bezug auf Pflanzenernährung in absorptionsfähigen Ackererden geschehen ist\*).

Was endlich die Absorption aus gleich concentrirten, aber in verschiedenen grossen Mengen vorhandenen Lösungen betrifft, so setzt diese Erscheinung sich theilweise aus den beiden eben behandelten zusammen und würde sich ganz aus denselben ergeben, wenn wir es mit einem einfacheren Processe zu thun hätten. Es muss augenscheinlich die gleiche Wirkung haben, ob ich die Concentration verdopple und dann die gleiche Menge reinen Wassers hinzugiesse, oder ob ich gleich von Anfang die doppelte Lösungs- menge, aber von gleicher Concentration verwende. Jedenfalls folgt hieraus, dass die Absorptionssteigerung bei Verdoppelung der Flüssigkeitsmenge kleiner sein muss als bei Verdoppelung der Concentration, denn jene unterscheidet sich von dieser nur durch die weitere Anwesenheit einer eben so grossen Menge reinen Wassers, das selbstredend eine lösende (absorptionsvermindernde) Wirkung geltend machen muss. Henneberg und Stohmann sprechen in der That aus, dass die aus der doppelten Menge von Lösung absorbirten Kali- oder Ammoniakmengen um  $\frac{1}{3}$  grösser seien, als die aus der einfachen Menge, so dass nach unserer vorhin gebrauchten Ausdrucksweise die erstere Menge = 1,2 wäre. Nach dieser Angabe, mit der die Versuchsergebnisse der genannten Forscher gut stimmen, würde also die Anwesenheit der doppelt so grossen Wassermenge, wodurch sich der Versuch mit der doppelten Flüssigkeitsmenge von dem Versuche mit der doppelten Concentration allein unterscheidet, einen sehr bedeutenden Unterschied (nach den Resultaten von H. u. St. 1,41—1,2) hinsichtlich der Absorptionsgrösse bewirken.

Allein es ist auch hier wieder daran zu erinnern, dass diese Zahl keine constante sein kann, indem selbstredend, wenn es sich einmal um sehr grosse Flüssigkeitsmengen handelt, der Effect der Verdoppelung nahezu verschwinden muss, und so auch jene Zahl eine Function des Verhältnisses zwischen Erde und Flüssigkeit, von dem ursprünglich ausgegangen wird, sein muss. Weiter muss die Zahl auch eine Function der Concentration sein, da bei sehr grosser Concentration die Verdoppelung der Lösung unmöglich eine erhebliche Steigerung der Absorptionsgrösse bewirken kann. Aus diesen Gesichtspunkten schon geht hervor, dass auch hier keine allgemein gültige Zahl ebenso wie vorhin für die Concentrationsvermehrung

---

\*) Vergl. Liebig: Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. 121 p. 340; Stohmann: Landw. Versuchsst. 1864, p. 424—428 u. a. a. O.

gegeben werden kann, und wenn man z. B. die Peters'schen Versuche den Berechnungen zu Grunde legt, so ergeben sich sogleich sehr erhebliche Abweichungen\*).

Ogleich wir es nun also in der Wechselwirkung zwischen Lösungswasser und den fixirenden Absorptionskräften der Ackererde mit Verhältnissen zu thun haben, die sich nicht geradezu mathematisch formuliren lassen, so gewinnen wir doch durch das Studium dieser Verhältnisse einen brauchbaren Ueberblick über das Verhalten der löslichen Theile der Ackererde und dann später der durch Düngung neu hinzugebrachten Bestandtheile derselben. Es ist indessen zur Vervollkommenung dieses Ueberblicks durchaus unerlässlich, auch näher auf die einzelnen Stoffe einzugehen, die überhaupt Absorption erleiden können.

Abgesehen von gewissen organischen gefärbten Bestandtheilen der Mistjauche und ähnlicher Massen organischen Ursprungs, die voraussichtlich schon durch mechanische Absorption festgehalten werden können, sind nach unsern bisherigen Erfahrungen von den Stoffen, die überhaupt für die Ackererde in Betracht kommen, alle Basen, nämlich: *Ammoniak*, *Kali*, *Natron*, *Kalk* und *Magnesia*, und von den Säuren: *Kieselsäure* und *Phosphorsäure* (wenn man will, auch *Kohlensäure*) unter Umständen der Absorption zugänglich, während für *Salzsäure*, *Schwefelsäure* und *Salpetersäure* niemals ein Unlöslichwerden in erheblichem Grade beobachtet werden konnte. Also auch unter den nicht absorbirten Stoffen befinden sich zwei wichtige Pflanzennährmittel, darunter eines, dessen Salze sich alle einer ausgezeichneten Löslichkeit erfreuen, die Salpetersäure. Dies ist ein Punkt in mehrerlei Hinsicht in hohem Masse der Beachtung werth. — Einmal wird hierdurch wiederum die wahre Natur der Absorptionserscheinungen in ein helles Licht gesetzt, indem Substanzen, die unfähig sind, schwerlösliche chemische Verbindungen einzugehen, der Absorption nicht zugänglich sind. — Dann lassen sich aus diesem Verhalten speciell für die Ernährung der Pflanze durch salpetersaure Verbindungen naheliegende Folgerungen ziehen.

In der 27. Vorlesung (p. 55) und auch schon im ersten Abschnitt (Vorl. 12) dieses Werkes wurde darauf hingewiesen, dass auf einem von Organismen noch nicht occupirten Terrain keine erhebliche Ansammlung von Stickstoffnahrung stattfinden könne, trotzdem dass ein solcher Boden durch Jahrtausende hindurch mit Ammoniak- und Salpetersäure-haltigen Meteorwässern begossen worden ist. Der Grund für diese Thatsache liegt nun offen da, und damit ist zum grossen Theil der Schlüssel zu dem früher geschilderten Verhalten eines rein mineralischen Bodens dem Pflanzenwachstum gegenüber gegeben. Das Ammoniak des Regenwassers ist zwar absorptionsfähig, trotzdem hiefür die grosse Verdünnung desselben wenig günstig ist. Allein das etwa absorbirte Ammoniak ist natürlich besonders in rein mineralischen Böden, namentlich unter Einfluss niedriger Organismen auch von chemischen Substanzen, z. B. vorhandenen Eisenoxyds, ausserordentlich leicht oxydirbar\*\*), und die so

\*) Es hat keinen Zweck, im Texte näher auf diesen Gegenstand einzugehen. Die nach derselben Art aus den Resultaten von Peters berechneten Zahlen sind für Chlorkalium: Concentr.  $\frac{1}{40}$  Atom im Liter: 1,266; 1,165;  $\frac{1}{20}$  Atom 1,265; 1,166;  $\frac{1}{10}$  Atom 1,272; 1,210.

\*\*) Versuchsst. Bd. III. p. 228 u. Johnson: „Wie die Feldfr. sich nähren.“ p. 293.



entstehenden salpetersauren Salze müssen dann unfehlbar ausgewaschen werden. Von einer irgendwie erheblichen Aufspeicherung der Stickstoffnahrung kann unter diesen Umständen in regnerischen Gegenden natürlich nicht die Rede sein, hat man ja doch auch für unsere gewöhnlichen Ackerfelder die Beobachtung gemacht, dass in Folge der Auswaschung von salpetersauren Salzen in der Brachzeit der Stickstoffgehalt derselben eher ab- als zunimmt\*).

Unter den absorbirten Stoffen treffen wir wieder grosse Verschiedenheiten an. Die Phosphorsäure und die Kieselsäure sind so ausserordentlich fähig, unlösliche oder mindestens sehr schwer lösliche Verbindungen einzugehen, dass sie unter den Verhältnissen, wie sie für die natürliche Ackererde bestehen, nur in sehr geringen Mengen in der Bodenlösung angetroffen werden können. Mannigfaltiger ist das Verhalten der verschiedenen Basen in dieser Hinsicht, und um die Verschiedenheiten zu verstehen, welche sich hier darbieten, ist es nothwendig, noch einige Worte über den Charakter derjenigen Verbindungen zu sagen, durch deren Entstehung und Umformung wir uns im Wesentlichen die Erscheinung der Absorption jener vorstellen.

Die Bildung der leicht (schon durch Salzsäure) zersetzbaren wasserhaltigen Doppelsilicate, die von Mulder etwas abweichend von dem mineralogischen Sprachgebrauch schlechtweg als „Zeolithe“ bezeichnet worden sind, und deren Umformung unter dem Einflusse chemischer Massenwirkung ist es, auf die im Wesentlichen die Basenabsorption aus Neutralsalzen mit gleichzeitigem Austritt einer äquivalenten Menge einer anderen Base zurückgeführt werden konnte. Nun wissen wir aber, dass die verschiedenen Basen, obgleich alle dieser Bildung fähig, doch in sehr verschiedenem Grade dabei ihre Affinitäten geltend machen. Way hat schon versucht, von diesem Gesichtspunkt ausgehend, eine Art Rangordnung der Basen festzusetzen, vielleicht nicht mit grossem Glück und mit nachweisbaren Inconsequenzen, aber jedenfalls ohne den Einwurf Liebig's zu verdienen, dass bei Acceptirung dieser chemischen Anschauung und bei Aufstellung einer solchen Wahlverwandtschaftsreihe der dieser letzteren entgegenlaufende Basenaustausch eine Unmöglichkeit sei.

Wir versuchen nun nicht, eine stichhaltige Wahlverwandtschaftsreihe neu aufzustellen, sondern begnügen uns mit der Angabe, dass unter den fünf genannten Basen Natron und Magnesia am wenigsten Neigung zu jener Bildung zeolithartiger Doppelsilicate zeigen, während Kali, Kalk und Ammoniak in dieser Hinsicht als starke Basen zu betrachten sind. Wir nehmen dieses Verhalten einfach als chemische Eigenthümlichkeit der aufgezählten Basen hin, ohne natürlich die Frage nach der Ursache einer solchen aufzuwerfen.

Aus dieser ganzen Darstellung ist klar ersichtlich, dass es nicht geradezu die Pflanzennährstoffe sind, welche absorbirbar sind, und dass die Nicht-Nährstoffe auch gelegentlich absorbirt werden\*\*) und umgekehrt, obgleich man in populären Schriften die Darstellung im ersteren Sinne liebt. Diese letztere ist aber schon desshalb ge-

\*) Vergl. Liebig: Die Chemie u. s. w. 1862, Einleitung p. 68. Auch später durch andere Forscher bestätigt.

\*\*) Als bestes Beispiel in dieser Richtung dient die Entdeckung Nobbe's von der starken Absorbirbarkeit des Kupfers; vergl. Landw. Versuchsst. Bd. 15. p. 273.

fährlich, weil sie die Meinung an ein teleologisches Walten in der Ackererde, an eine „Polizei“ im Boden, um mit Liebig zu reden, erweckt, eine Anschauung, die sich der ächten Naturforschung immer als feindlich erwiesen hat.

Namentlich ist die Thatsache eines durchgreifend verschiedenen Verhaltens zwischen Kali und Natron von Wichtigkeit und hier besonders hervorzuheben. Von der rein physikalischen Anschauung der Absorptionserscheinungen ausgehend, wäre ein solcher Unterschied schwer begreiflich; bei chemischen Reactionen dagegen sind wir gewohnt, auch physikalisch einander äusserst nahestehende Substanzen verschiedene Rollen spielen zu sehen. — Durch alle Absorptionsversuche ist es in voller Uebereinstimmung mit einander unzählige Male festgestellt worden, dass Kalisalze in ungleich höherem Grade absorbirt werden als die Salze des Natrons, und dies ungleichartige Verhalten steht in nahem Zusammenhange mit Erscheinungen, die aus dem Studium der Verwitterungsprocesse sehr bekannt sind und die auch wir schon einmal mit einem Worte erwähnt haben. Wir haben bei Behandlung jener Processe gesehen\*), dass bei der Verwitterung von Silicatgesteinen das Natron verhältnissmässig rasch austritt, während das Kali dem Silicate länger erhalten bleibt. Daher mehr Kali in den Ackererden als in den Gesteinen, daraus sie sich gebildet haben, und aus derselben chemischen Ursache Rückbildung kalihaltiger Doppelsilicate bei Düngung mit kalihaltigen Düngemitteln in viel höherem Grade, als dies bei natronhaltigen Düngemitteln der Fall sein würde.

Mittelst der Kenntnisse, die wir uns in Bezug auf die Absorptionsvorgänge verschafft haben, sind wir jetzt im Stande, uns eine ziemlich vollständige Vorstellung von deren Wirksamkeit im Boden zu bilden, und von der Art und Weise, wie jene auf die in der Ackererde vor sich gehende Pflanzenernährung einwirken.

Erinnern wir uns, auf welche Weise die Pflanzenwurzel die in ihrer unmittelbaren Umgebung sich vorfindenden Stoffe sich aneignet. Soweit die feinsten Wurzelendigungen mit einer Bodenlösung in Berührung kommen, werden die leicht diffusiblen gelösten Stoffe nach bestimmten, früher erläuterten Gesetzmässigkeiten aufgenommen werden; soweit jene mit festen Bodenpartikelchen in Berührung kommen, werden eigenthümliche lösende Kräfte der Wurzel auf diese sich geltend machen, und die festen Theilchen werden, soweit sie diesen lösenden Kräften erliegen, ebenfalls aufgenommen werden können.

In Folge der Absorptionsfähigkeit der Ackererde sind trotz einer schon weit fortgeschrittenen Verwitterung nur sehr wenig Stoffe in der Bodenlösung vorhanden. Bei Besprechung der Wasserkulturversuche haben wir früher die ausserordentliche Empfindlichkeit der Pflanzenwurzel gegen Lösungen erkannt, die mehr als einige Promille gelöste Salze in sich enthalten. Diese Empfindlichkeit wird erklärlich, wenn wir die bestehenden Verhältnisse der Ackerkrume berücksichtigen, denn dort werden der Wurzel nur verdünnte Lösungen angeboten, und wir müssen aus unsern Vorstellungen über die zuchtwählerische Anpassungsfähigkeit von Organismen an die zufälligen äussern Umstände schliessen, dass sich die Organisation der Pflanzenwurzeln im Laufe der Generationen nach den Verhältnissen in der natürlichen Ackererde

\*) Die fünfundzwanzigste Vorlesung p. 27.

gerichtet hat. — Aus jener Lösung schöpft nun die Pflanze, aber entsprechend der grossen Verdünnung, entgegen dem de Saussure'schen Gesetze, d. h. sie nimmt die überhaupt aufnehmbaren Stoffe in einem weit grösseren Verhältnisse auf, als diese in der Bodenlösung vorhanden sind, und erschöpft so die Bodenlösung in kurzer Zeit an denselben; namentlich wird dies\*) für Kali, Salpetersäure und Ammoniak gelten\*\*)

Die so durch den Uebergang von Stoffen in die Pflanze noch weiter verdünnte Bodenlösung wird nun aber ihre lösenden Kräfte auf die absorbirten, d. h. auf die in jenen lockeren und durch die ganze Feinerde vertheilten Verbindungen befindlichen Stoffe geltend machen und aus diesem Reservoir *nahezu* ihre alte Concentration wieder herstellen, und es ist nun klar ersichtlich, wie die Wechselwirkung weiter verläuft und in welcher Weise die Absorptionsfähigkeit des Bodens dabei wirkt. Wäre dieselbe nicht vorhanden, so würden alle durch Verwitterung aus ihrem alten Zusammenhang gerissenen und nun löslichen Stoffe grossentheils vom Regen mit fortgespült werden, im günstigsten Falle aber in einer verhältnissmässig concentrirten Lösung im Boden vorhanden sein. Diese würde nun vielleicht für die Wurzel geradezu schädlich, jedenfalls aber bald erschöpft sein, und dann wäre die Pflanze einzig und allein angewiesen auf das durch Verwitterung neu in Lösung Uebergeführte.

In Folge der Absorptionskraft des Bodens aber wird das durch die chemische Veränderung bei der Verwitterung disponibel gewordene Material festgehalten, allein ohne dass eine schädliche Concentration der Bodenlösung eintreten könnte. Diese bleibt sehr verdünnt, aber sie bleibt lange Zeit hindurch — so lange als noch Stoffe in jener lockeren chemischen Verbindung, die wir Absorption nennen, vorhanden sind — auf einer ziemlich gleichartigen Sättigungshöhe.

Noch deutlicher ist die Wirksamkeit des geschilderten Verhaltens bei der Zufuhr von sogenannten Düngestoffen von aussen. Diese werden, soweit sie in löslicher Form in den Boden gebracht werden, und soweit sie überhaupt absorbirbar sind, grossentheils in jene losen chemischen Verbindungen übergeführt werden, und die Menge der so gebundenen Stoffe wird nach den erläuterten Gesetzmässigkeiten

---

\*) Siehe die einundzwanzigste Vorlesung.

\*\*) Es ist schwer verständlich, wie dieser Punkt so ganz und gar bei den vielen Berechnungen, welche in Bezug auf die Frage, ob die in den Bodenlösungen enthaltenen Stoffe zu einer normalen Vegetation genügen möchten, mit Zugrundelegung der jährlichen Regenmengen oder der Verdunstungsgrössen angestellt worden sind, übersehen werden konnte, selbst wenn man berücksichtigt, dass zu der Zeit, wo sich jener Streit entspann, die Aufnahmesetze noch sehr unvollkommen gekannt waren. Vergl. Eichhorn: Poppelsd. Zeitschr. H. I. p. 22; Wunder: Landw. Versuchsst. 1863, p. 34; Grouven; Agron. Zeit. 1858, p. 469 u. a. m. Nur Johnson (Journ. of sc. and arts, Vol. 27, July 1859, p. 81) hat diesem Umstand schon damals mit vieler Umsicht Rechnung getragen. Die streitige Frage würde sich für Eichhorn, Wunder und ihre Parteigänger weit günstiger, für Liebig, Zöller und ihre Anhänger weit ungünstiger gestalten haben, wenn man die von Wolf aufgefundenen Aufnahmesetzmässigkeiten berücksichtigt hätte, indem nach denselben selbstredend gerade aus den ausserordentlich verdünnten Lösungen die Nährstoffe in einer verhältnissmässig sehr viel grösseren Concentration assimiliert werden müssen.

eine um so grössere sein, je grösser die der hinzugebrachten ist. Die Bodenlösung, deren hohe, der Düngung entsprechende Concentration für die Pflanze unfehlbar schädlich gewesen wäre, wird so eine verdünntere werden, aber lange Zeit hindurch in ihrem Gehalte constant bleiben, da die absorbirten Stoffe nun, wenn die Bodenlösung durch die Thätigkeit der Wurzel erschöpft, oder auch in Folge des Hinzutretens neuer Regenmengen verdünnt ist, nach und nach diese Lösung wieder zu ergänzen streben. Wird dagegen die Bodenlösung durch Verdunstung von Feuchtigkeit aus der Ackererde allzu concentrirt, so muss nach den geschilderten Gesetzmässigkeiten selbstredend von neuem Absorption eintreten, und die Lösung wird hierdurch weniger concentrirt, als sie lediglich in Folge jener Abdunstung geworden wäre.

Man kann demnach die Wirkung der Absorptionserscheinungen als *eine die Bodenlösung in ihrem Gehalte an Nährstoffen*, z. Th. auch in ihrem gesammten Substanzgehalt, *regulirende* bezeichnen, und schon aus diesem einen Gesichtspunkte ergibt sich die grosse Wichtigkeit, welche die geschilderte Eigenschaft des Bodens bei dessen Function als Pflanzenernährer spielen muss\*).

Es ist nothwendig hinzuzusetzen, dass gewisse Erfahrungen in der landwirthschaftlichen Praxis die so gewonnene Anschauung vollkommen bestätigen. Wir werden nach dieser letzteren zu erwarten haben, dass Bodenarten, denen nur geringe Absorptionskräfte zur Verfügung stehen, auch alle die eben geschilderten Eigenschaften nur in zurücktretendem Grade besitzen werden, und in der That lehrt die landwirthschaftliche Praxis, dass z. B. für Sandböden, die sehr arm sind an beinahe allen jenen chemischen Verbindungen, auf welche die Absorptionsfähigkeit zurück-

---

\*) Etwas von dieser Art der Wirksamkeit der Absorptionskraft ist schon merkwürdigerweise von Davy, dessen Buch über Agrikulturchemie in der deutschen Uebersetzung im Jahre 1814 erschien, erkannt worden, obgleich man nicht sagen kann, dass dieser grosse Forscher schon der Entdecker der Absorptionskräfte des Bodens gewesen sei. P. 211 seiner „Elemente der Agrikulturchemie“ heisst es: „Der Extract aus den sich zersetzenden vegetabilischen Substanzen bildet, wenn er mit Pfeifenthon gekocht wird, eine chemische Zusammensetzung, durch welche die vegetabilische Substanz schwerer auflöslich und zersetzbar wird. Reine Kieselerde und Kiesel sand haben wenig Wirkung hierauf, und derjenige Boden, welcher die meiste Alaunerde und kohlensaure Kalkerde enthält, ist der, welcher die grösste chemische Energie in Erhaltung des Düngers zeigt. Ein solches Erdreich verdient ein reiches genannt zu werden; denn die vegetabilische Nahrung wird lange Zeit in einem solchen erhalten, so dass sie von den Organen der Pflanze aufgenommen werden kann. Kiesel sand im Gegentheil verdient den Beinamen eines armen Bodens, den man ihm gewöhnlich zu ertheilen pflegt; denn die vegetabilischen und animalischen Substanzen, welche in einem solchen Erdreiche enthalten sind, werden von den erdigen Bestandtheilen nicht angezogen und sind daher mehr geeignet, durch die Wirkung der Atmosphäre zersetzt oder durch das Wasser fortgeführt zu werden.“ Und ebendasselbst die Anmerkung A. Thaer's: „Das ist eine auch in der Praxis des Ackerbaus längst gemachte Bemerkung. Der Thon hält die fruchtbaren, die eigentlichen Nahrungstheile der Pflanzen zurück; darum wird er nicht leicht völlig daran erschöpft. Ist er aber einmal daran verarmt, oder wird er unbefruchtet aus tieferen Lagen heraufgebracht, so erfordert er eine grössere Menge von Dünger, um in Fruchtbarkeit gesetzt zu werden, als der sandige Boden. Daher auch die allgemeine Regel, Thonboden stark und selten, Sandboden schwach, aber oft zu düngen.“

geführt werden kann, keine zu starken Düngungen empfohlen werden, sondern dass dort öftere, aber kleinere Düngungen am Platze erscheinen, während für schwerere Böden das Umgekehrte empfohlen wird. Auf Sandböden nimmt man leichter ein sogenanntes „Verbrennen“ irgend einer Saat oder einer Pflanzung nach einer reichlichen Düngung wahr, eine Schädigung des Pflanzenwachstums, die auf die zu hohe Concentration der Bodenlösungen zurückgeführt werden muss. Aus genau demselben Gesichtspunkte erklärt sich der bekannte Erfahrungssatz, dass auf leichten Böden Düngungen, vor der winterlichen nassen Periode gegeben, eine verhältnissmässig geringe Wirkung zeigen — Dinge, die ohne weitere Erläuterung auf das Fehlen oder Vorhandensein der Absorptionskräfte zurückzuführen sind und auf's Schlagendste deren Bedeutsamkeit für die Ernährung der Pflanze unter natürlichen Verhältnissen demonstrieren.

Das Vorhingesagte gilt für die Pflanzennährstoffe: Kali, Kalk, Magnesia, Ammoniak, die wir regelmässig in der Bodenlösung einer fruchtbaren Ackererde anzunehmen haben; es gilt auch für die Phosphorsäure, insofern dieselbe aus einem verwitterten und löslich gewordenen Mineral oder aus einer gegebenen Düngung sehr vollständig absorbiert wird. Allein gerade die chemische Bindung der Phosphorsäure in den meisten Ackererden, selbst in Sandböden, ist so vollständig, dass sehr häufig nichts von ihr in der Bodenlösung nachgewiesen werden kann. In solchen Fällen muss dann die Aufnahme durch die lösende Kraft der Wurzeln selbstredend als die vorzügliche Quelle dieser Stoffe angesehen werden, wie sich dieselbe denn auch zweifelsohne bei der Aufnahme anderer ungelöster Stoffe geltend macht.

Es ist eine sehr eigenthümliche Erscheinung in der geschichtlichen Entwicklung unserer Vorstellungen von der Ernährung der Pflanze in der Ackererde, dass man lange Zeit hindurch geglaubt hat, principiell sich entscheiden zu müssen, entweder *ausschliesslich* für die Aufnahme der Pflanzennährstoffe aus der Ackererde in schon vorher gelöster Form, oder *ausschliesslich* durch Selbstthätigkeit der Pflanzenwurzel aus dem sogenannten absorptiv gebundenen Zustand. Der ganze Verlauf des Streits, der sich an diese ungerechtfertigte Alternative anknüpft, bietet indessen so wenig Interesse, dass wir in der Darstellung desselben alle Ausführlichkeit meiden \*).

---

\*) Liebig hatte nach seiner ersten Bearbeitung der Absorptionerscheinungen, ausser der theilweise neuen Erklärung derselben, von der wir in der letzten Vorlesung gehandelt haben, auch eine Theorie der Pflanzenernährung ausgesprochen. Diese Theorie, die jedoch aus guten Gründen sehr allgemeinen Widerspruch erregte (vergl. Landw. Ber. v. Babo 1858, p. 1—13; E. Wolff: Mittheilungen a. Hohenheim. H. 4. p. 66; Grouven: Agron. Zeit. 1858, p. 469; Schumacher: Landw. Versuchsst. 1862, p. 270) und nur einige leidenschaftliche Vertheidiger fand, sagte aus, „dass die grösste Anzahl der Kulturpflanzen darauf angewiesen ist, ihre mineralische Nahrung direct von der Ackerkrume zu empfangen, und dass ihr Bestehen gefährdet wird, dass sie verkümmern und absterben, wenn ihnen diese Bestandtheile in Lösung zugeführt werden“ (vergl. Annal. f. Chem. u. Pharm. Bd. 105, p. 139); und gerade vorher wird ausgesprochen: „Empfangen die Landpflanzen ihre Nahrung aus einer Lösung, so würden sie von dieser Lösung der Zeit nach und im Verhältniss nur so viel aufnehmen können, als Wasser durch ihre Blätter verdunstet u. s. w.“, was, wie wir wissen, eine falsche Voraussetzung ist. — Die Theorie führt alsdann weiter aus, dass die Landpflanzen

Anders ist es mit den noch übrigen Pflanzennährstoffen, mit der Schwefelsäure und der Salpetersäure. Für diese Stoffe konnte in keiner ihrer Verbindungen eine erhebliche Absorption nachgewiesen werden. Bei der Salpetersäure war dieses Verhalten leicht begreiflich, da dieselbe keine unlöslichen Verbindungen bildet; bei der Schwefelsäure muss es daraus erklärt werden, dass eben in der natürlichen Ackererde keine Gelegenheit ist zur Bildung unlöslicher schwefelsaurer Salze, obwohl sie mit dem einen oder dem andern der in der Ackererde vorkommenden Stoffe, wie z. B. mit dem Eisenoxyd, schwer lösliche, basische Salze zu bilden im Stande ist.

Für die Schwefelsäure, die nur äusserst selten, wie es scheint, unter den pflanzlichen Nährstoffen in's Minimum geräth, hat diese Eigenthümlichkeit keine weiteren praktischen Folgen, wohl aber für die Salpetersäure, und es ergeben sich daraus manche wichtige Düngungsregeln, die einmal für die Düngung von salpetersauren Salzen ungefähr das aussagen, was beim Sandboden überhaupt für jeden Düngstoff als Regel gilt, nämlich nicht vor einer regnerischen Jahreszeit, wo viel Wasser den Boden durchströmt und auslaugt, zu düngen, also z. B. keine Herbsdüngungen vorzunehmen. Eine Herbsdüngung mit Chilisalpeter ist darum immer gewagt und für im Winter unter Wasser stehende Aecker geradezu weggeworfenes Geld wegen der mangelnden Absorbirbarkeit der salpetersauren Salze.

Aehnliche praktische Regeln ergeben sich dann trotz der hohen Absorbirbarkeit des Ammoniaks für alle Stickstoffdüngungen, wenn, wie in fast allen guten Ackererden, unter dem Einflusse von niedrigen Organismen\*) daselbst Gelegenheit zum Uebergang des Stickstoffs der organischen Verbindungen und des Ammoniaks in Salpetersäure gegeben ist. Dies sind indess Punkte, die erst in dem Abschnitt über

---

sich auf Kosten der absorptiv gebundenen Nährstoffe, die in unmittelbare Berührung mit den feinsten Wurzelfasern kommen, ernähren und es werden so im Wesentlichen die Vortheile übersehen, welche die Absorptionserscheinungen auch für die Annahme der Pflanzenernährung aus der Bodenlösung nothwendig bieten müssen. — Zöllner (vergl. Landw. Versuchsst. 1863, p. 40; 1864, p. 45) und Fraas (Ergebnisse landw. Versuche u. s. w. des bair. landw. Vereins, 24, p. 60) haben dann diese Anschauung, gestützt auf Versuche, die aus im Texte schon enthaltenen Gründen nichts in der gewünschten Richtung zu entscheiden vermögen, Jahre hindurch eifrig vertreten. — Allen diesen Anschauungen gegenüber genügt die einfache Bemerkung, dass die Fähigkeit der Pflanzenwurzel, aus Lösungen zu schöpfen, durch eine grosse Anzahl von Wasser- und Sandkulturversuchen in unzweifelhafter Weise dargethan ist, dass aber ebenso sicher feststeht, dass die Wurzel auch feste Körper, die in verdünnten Säuren löslich sind, aufzunehmen befähigt ist, wenn sie mit denselben in unmittelbare Berührung kommt. Es kann also nicht der geringste Grund vorliegen, daran zu zweifeln, dass die Pflanzenwurzel, da das Vorhandensein von Lösungen sowohl wie von solchen leichtlöslichen festen Körpern im Boden feststeht, beide Fähigkeiten in der Ackererde thatsächlich geltend macht. Die Frage kann also nicht lauten, *ob?* auf die eine oder die andere Weise, sondern, *wie viel?* auf die eine oder die andere Weise.

\*) Vergl. Schützenberger u. Müntz: Compt. rend. 1877, T. 84, 85; und später noch viele Veröffentlichungen über den gleichen Gegenstand von Warrington u. A. In dasselbe Capitel gehören grossentheils auch die beobachteten desinficirenden Eigenschaften des Bodens, die grossentheils durch Absorption und nachträgliche Oxydation bewirkt zu werden scheinen. F. Falk: Eulenburg's Vierteljahrsschrift für gerichtliche Medicin. N. F. Bd. 27, p. 83.

Düngung ausführlichere Behandlung finden werden. — Nur will ich noch mit einem Worte darauf hindeuten, wie trotz dieser Nichtabsorbirbarkeit des allerwichtigsten stickstoffhaltigen Pflanzennährmittels die Absorptionskräfte des Bodens unter natürlichen Verhältnissen doch auch für die Stickstoffernährung für die Pflanze in der Ackererde vermuthlich ihre Dienste thun. Es muss nämlich im Auge behalten werden, dass naturgemäss der Stickstoff der Ackererde in überwiegender Menge in Form von zur Zeit unlöslichen organischen Substanzen vorhanden sein wird, da nur sehr geringe Mengen von Salpetersäure durch das Regenwasser in den Boden gelangen. In dem Masse nun, als diese Stoffe durch Verwesung und Oxydation in Ammoniak und dann in Salpetersäure übergehen, kann diese letztere, da ihre Salze sehr rasch und vollständig von der Pflanze aufgenommen werden, zur Assimilation gelangen, und so braucht der entstehende Verlust (bei der Absorbirbarkeit des intermediären Gliedes) nicht so bedeutend zu sein, als man auf den ersten Blick glauben sollte. Freilich enthalten die in nasser Jahreszeit an der Sohle der Ackerkrume austretenden Wässer, die sogenannten Drainwässer, fast regelmässig geringe Mengen von Salpetersäure. Man erkennt aber immerhin, dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen, wo die Zersetzungsproducte verwesender organischer Substanzen die Pflanze der Hauptsache nach hinsichtlich ihres Stickstoffbedarfs ernähren, der Mangel der Absorbirbarkeit der Salpetersäure nicht so viel zu sagen hat. Anders ist es freilich bei einem künstlichen Aufbringen salpetersaurer Salze in grossen Quantitäten. Hier wird ein Verlust kaum zu vermeiden sein, und es ist wie gesagt die Aufgabe einer rationellen Düngung, denselben möglichst einzuschränken.

Im Grossen und Ganzen ist darum doch die nützliche Wirksamkeit der Absorptionskräfte der Ackererde klar erkenntlich. In Folge derselben werden für weitaus die meisten Pflanzennährstoffe und einige andere lösliche Substanzen der Ackererde, die nicht als solche bezeichnet werden können, die Concentrationen der Bodenlösungen gemässigt und lange Zeit hindurch auf einer nahezu gleichen Höhe erhalten, trotzdem, dass durch die Momente der Stoffaufnahme einerseits, durch die des neu aus atmosphärischen Niederschlägen hinzutretenden Wassers andererseits das Bestreben einer Concentrationsänderung fort und fort besteht. Die Absorptionskraft kann in dieser Hinsicht, wie gesagt, als *eine die Bodenlösungen wirksam regulirende* bezeichnet werden.

In zweiter Linie ist daneben deren Wirksamkeit, als *die nützlichen Bodenbestandtheile zurückhaltend*, zu unterscheiden. Diesen Punkt müssen wir noch eingehender beleuchten, als es schon gelegentlich in dem Vorhergehenden geschehen ist. Wir dürfen, um in dieser Hinsicht eine gute Vorstellung zu erlangen, nicht bei der Meinung stehen bleiben, dass, wenn z. B. lösliche absorbirbare Düngestoffe einer Ackererde einverleibt worden sind, und nun diese letztere beregnet wird, sich eine Lösung von einer bestimmten Concentration bildet, diese nach den Gesetzen der Absorption eines Theils ihrer gelösten Stoffe beraubt wird, und nun die restirende Lösung einfach und unverändert durch die tieferen Bodenschichten abfließt und in einer gewissen Tiefe als Drainwasser auftritt; sondern wir müssen immer im Auge behalten, dass die tiefer und tiefer in den Boden eindringende Lösung sich an jedem Orte mit den sie umgebenden Bodentheilen nach eben denselben Absorptions-

gesetzt in's Gleichgewicht setzt und so mehr und mehr der noch übrigen absorbirbaren Stoffe beraubt wird. Wir haben so, wenn der Dünger oben aufgegeben wird, (oder statt des Düngers kann man sich selbstredend auch einen ohne Zuthun der Menschen in die Erde gelangten verwesenden organischen Körper denken) und das Wasser von oben nach unten sickert, in den verschiedenen Höhen der Ackererde sehr verschiedene Mengen durch Absorption festgehaltener Stoffe und sehr verschiedene Concentrationen der Bodenlösung anzunehmen. Oben werden unter den gegebenen Verhältnissen concentrirte Bodenlösungen und grosse Mengen von fixirten Stoffen, unten stufenweise verdünntere Lösungen und geringere Mengen jener Stoffe zu erwarten sein\*), und der Versuch lehrt, dass dem wirklich so ist. Wir werden im Allgemeinen keinen Schluss machen dürfen aus der Concentration dieser Lösungen an einem Orte, z. B. der Drainwässer\*\*) auf die weiter oben vorhandenen Lösungen u. s. f. Nur sehr langdauernder Regen und capillare Wasserbewegung, welche letzte eine bedeutende Rolle in der Ackererde spielt, werden nach und nach einen ungefähren Ausgleich bewirken können.

Nun lehren Thatsachen, dass in der natürlichen Ackererde unter gewöhnlichen Umständen die Absorptionskräfte so kräftig wirken, dass nur langsam eine solche Ausgleichung erfolgt. Es ist hier namentlich an die interessanten Localisirungsversuche der Nährstoffe zu erinnern, die mehr oder minder deutlich zeigen\*\*\*), dass Düngestoffe, die ganz bestimmten Zonen des Bodens einverleibt werden, dort lange Zeit, ganze Vegetationsperioden hindurch unverrückt verbleiben, wie an der dort üppig sich entfaltenden Wurzelverzweigung beobachtet werden kann. So zeigt auch die obere Erdschicht unserer bebauten Grundstücke, die sogenannte eigentliche Ackerkrume, auch wenn lange Zeit keine Düngung mehr erfolgt ist, einen grösseren Reichthum an für das Pflanzenwachsthum verfügbaren Nährstoffen als die tieferen Schichten, der sogenannte Untergrund†). Diese Thatsache lässt sich freilich auch theilweise aus einem andern Gesichtspunkt erklären, auf den mit Recht wiederholt

\*) Es ist Schumacher's Verdienst, zuerst mit Klarheit diese Consequenzen gezogen zu haben (vergl. Landw. Versuchsst. 1862, p. 287).

\*\*) Nur das vollständige Uebersehen dieser Verhältnisse hat den Irrthum ermöglicht, als ob die in einer gewissen Tiefe aus der Ackererde abfliessenden Lösungen, Drainwasser, Lysimeterwässer und dergl. ein Bild verschaffen könnten von der Concentration der Nährstofflösungen in der Umgebung der Pflanzenwurzeln. Diese ganze Anschauung, die von Liebig, Fraas und Zöller besonders vertreten ward, und alle Folgerungen aus derselben lassen sich durch diesen einen Hinweis widerlegen und noch ganz besonders entkräften durch Erinnerung an die Thatsache, dass überhaupt nur Drainwässer fliessen, Lysimeterwässer sich ansammeln, wenn viel Regen fällt, also zu einer Zeit, wo die Bodenlösungen, namentlich da sie nicht genügende Zeit haben, sich mit den Absorptionskräften ins Gleichgewicht zu setzen, sehr verdünnt sind (vergl. hierüber Schumacher: Landw. Versuchsst. 1862, p. 270 und bes. 280).

\*\*\*) Vergl. Nobbe: Landw. Versuchsst. 1864, p. 334; Zöller ebenda p. 261 u. Stohmann: Journ. f. Landw. 1870, Jahresber. p. 79.

†) Siehe die Bemerkung am Schlusse der siebenundzwanzigsten Vorlesung p. 72. Als guter Beleg für die gleiche Thatsache können auch die Versuche H. v. Liebig's gelten (vergl. Jahresber. f. Agrik.-Chem. 1866, p. 290).



aufmerksam gemacht worden ist\*). Die capillare Flüssigkeitsbewegung in den Hohlräumen der Ackererde wirkt zwar innerhalb der Ackererde im Allgemeinen in Bezug auf die Menge absorbirbarer und absorbirter Stoffe concentrationsausgleichend; allein wenn hiezu die Verdunstung an der Oberfläche der Ackererde tritt, so ist daselbst ein Moment für die Ansammlung solcher Stoffe gegeben, das, wie Versuche lehren, sehr wirksam sein kann. Offenbar unterstützt dieser Vorgang, der immerhin *einen Theil*\*\*\*) der von oben nach unten verschwemmten Stoffe wieder nach oben zurückbringt, die Localisation derselben in der eigentlichen Ackerkrume und wirkt so dem Ausgleich in dieser einen Richtung entgegen.

Aus alledem erhellet indess zur Genüge die in zweiter Linie hervorgehobene Wirksamkeit der Absorptionskräfte, die wir als eine gewisse *nützliche Bodenbestandtheile zurückhaltende, vor Auswachsung schützende* bezeichnet haben. Es ist dies die Wirksamkeit, welche als die handgreiflichste von allen am frühesten begriffen und hervorgehoben worden ist, und in Bezug auf welche auch zur Zeit des grimmigsten Streites über die Ursache jener Kräfte und über die Art der Stoffaufnahme durch die Wurzel niemals eine Meinungsverschiedenheit sich geltend gemacht hat. Die Anhänger der Liebig'schen Anschauungen haben z. B. gerade auf diesen Gesichtspunkt das grösste Gewicht gelegt\*\*\*).

In dritter Linie wäre dann noch etwa, ebenfalls in Uebereinstimmung mit den Liebig'schen Ansichten, die Wirksamkeit der Absorptionskräfte insofern zu unterscheiden, als durch dieselben *eine Anzahl von wichtigen Nährstoffen in ungelöster*

\*) Vergl. Pollacci: Journ. d'agricult. pratique. 1862, H. 5, u. Nessler: Bad. landw. Correspondenzbl. 1860, p. 230 u. a. O.

\*\*) Für manche Verhältnisse vielleicht auch mehr als einen Theil, denn die Wanderung löslicher Stoffe von unten nach oben kann offenbar die von oben nach unten überwiegen, obschon mehr Wasser den ersteren Weg geht, — einfach, weil dieses bei dem Weg nach unten keine Zeit hat, sich so vollständig zu sättigen, als bei der langsam erfolgenden capillaren Wassersteigung. Die im Texte berührte capillare Wanderung der Nährsalze nach oben geht nach den Untersuchungen von Joulie für verschiedene Salze mit verschiedener Raschheit von statten. Doch fehlt bei ihm noch ganz die Einsicht in den Grund dieses verschiedenen Verhaltens. Offenbar müssen die Salze am stärksten „klettern“, welche auf die Verdunstung des Wassers den geringsten verzögernden Einfluss besitzen. Nach Joulie stehen Chlorammonium, Kalnitrat, Chlornatrium, Kalinitrat und Kaliphosphat obenan. Compt. rend. T. 86, p. 1200.

\*\*\*)) Aus der ganzen Darstellung dieses Gegenstandes ist wohl ausserdem ersichtlich, dass man trotz jener Möglichkeit, absorptionsfähige Körper zu localisiren, nicht in dem Sinne, wie dies Zöller und Nägeli (Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 121, p. 339) und auch Stohmann (Landw. Versuchsst. 1864, p. 424) thaten, von Vegetationsversuchen mit Nährstoffen im rein absorbirten Zustande sprechen kann, wenn man auch den benützten Torf mit grossen Mengen von Wasser auswäscht. Dass die absorbirten Nährstoffe nicht durch die angewandten Mengen von Waschwasser aufgelöst werden konnten, beweist doch nur, dass ein Theil derselben in einen sehr schwer löslichen Zustand übergegangen war, und wenn man selbst die Concentration der nach dieser Operation noch circulirenden Nährstofflösungen als verschwindend betrachten will, so können doch offenbar durch Kohlensäurebildung im Torf und dergleichen Prozesse während des Vegetationsversuchs wieder Lösungen gebildet werden. Am meisten trifft dieser Einwurf die Versuche der beiden ersteren, welche ihren Torf bis zur Sättigung des Ab-

aber mechanisch und chemisch ausserordentlich zugänglicher Form (sehr fein vertheilt und durch die Wurzel leicht in Lösung überzuführen) zurückgehalten werden und für die Wurzel zur Verfügung stehen. Es ist die dieser Wirksamkeit zu Grunde liegende Aufnahmetheorie durchaus nicht im Widerspruch mit der andern; beide sind nothwendige Folgen sicher festgestellter Erfahrungen. Es erscheint namentlich in einzelnen Fällen, wo die wässrigen Auszüge von Ackererden einen sehr geringen Gehalt an manchen wichtigen Nährstoffen, z. B. der Phosphorsäure zeigen\*), unumgänglich nothwendig, sich die Aufnahme theilweise durch unmittelbare Wurzelthätigkeit zu denken, und auch in diesem Falle sind die Absorptionskräfte jedenfalls von ausserordentlichem Werthe.

Man denke sich in der Ackererde unverwitterte Apatitkryställchen in solcher Menge und in solcher Entfernung von einander liegen, dass die Gesamtmenge der in ihnen enthaltenen Phosphorsäure der Vegetation, mit der die Erde bedeckt ist, zwar weitaus genüge, allein dass der Angriffspunkte viel zu wenige sind, um durch directe Wurzelthätigkeit die Aufnahme einer genügenden Menge zu gestatten, so wird der Pflanzenwuchs unter dem Mangel an Phosphorsäure leiden. Wenn aber nun Umstände hinzutreten, die eine vorübergehende Lösung dieser Kryställchen in der Weise bewirken, dass die gelösten phosphorsauren Salze in Berührung mit dem feinvertheilten Eisenoxydhydrat, kohlensauren Kalk etc. wieder durch Eingehen neuer Verbindungen in ungelöster Form abgeschieden werden, so wird, wenn diese Vorgänge eine gewisse Zeit hindurch stattgefunden haben, die nun sich entwickelnde Pflanzenwelt, wenn auch jetzt nicht mehr Phosphorsäure\*\*) in Lösung vorhanden ist, unter weit günstigeren Bedingungen sich finden wie vorher, da die Vertheilung und die Angriffsfläche eine viel grössere geworden, das einzelne Wurzeltheilchen eine viel grössere Aussicht hat, mit phosphorsauren Salzen in Berührung zu kommen.

Genau dieselbe Vorstellung wird man sich auch z. B. von der Wirksamkeit der Superphosphatdüngungen machen müssen, da die weitaus grösste Menge der so in die Ackererde gebrachten löslichen Phosphorsäure sofort wieder in den unlöslichen Zustand übergeht. Wenn trotzdem die so hinzugebrachte Phosphorsäure thatsächlich gegenüber der vielleicht viele hundert Mal so grossen Menge schon vorhandener Phosphorsäure etwas zu leisten vermag, so kann dies eben nur auf die eben ange-deutete Weise erklärt werden.

---

sorptionsvermögens mit Nährstoffen zu versehen vorgaben — als wenn diese eine constante Grösse wäre — und jedenfalls Nährstofflösungen von erheblicher Concentration ihren Pflanzen verabreichten. Die Stohmann'schen Versuche vermögen dagegen vielleicht zu zeigen, dass auch verhältnissmässig grosse Nährstoffmengen durch directe Wurzelthätigkeit assimiliert werden können.

\*) Vergl. Hoffmann: Landw. Versuchsst. 1863, p. 193, u. Knop: Kreisl. d. Stoffe 11, p. 135; dagegen F. Schulze: Landw. Versuchsst. 1864, p. 409.

\*\*) Ganz und gar unlöslich wird selbst die Phosphorsäure, sonst der unlöslichste und schwerst mobile unter allen Nährstoffen, in den eigentlich fruchtbaren Bodenschichten nicht. Dies lehren u. A. die interessanten Versuche Petermann's über die Dialyse der Ackererde, welche nach ihm eine neue Methode der Bodenanalyse vorbereiten sollen. Vergl. Recherches sur la dialyse. Bruxelles 1882.

Auf diese drei von uns unterschiedenen Gesichtspunkte muss nach dem dermaligen Stande unseres Wissens die Wirksamkeit der Absorption in der Ackererde zurückgeführt werden.

Aus der gegebenen Darstellung vom Wesen und von der Wirksamkeit der Absorptionsvorgänge ist ausserdem noch klar ersichtlich, dass wir kein Mittel besitzen, Bodenlösungen aus Böden von dem Feuchtigkeitsstande einer gewöhnlichen Ackererde zu gewinnen und hinsichtlich ihrer Concentration zu untersuchen, und dass, wo man dergleichen Untersuchungen ins Werk zu setzen vorgab, oder wo man sich in dieser Hinsicht von dem ermittelten Gehalt der Lysimeterwässer an Nährstoffen einen Rückschluss erlaubte, dies immer mit Versündigung gegen den von uns erkannten Satz der Relativität von Bodenlösungsmengen und Concentrationen einerseits und der Absorptionsgrössen andererseits geschehen ist. Wir würden höchstens im Stande sein, bei einer genaueren Kenntniss vom Chemismus der Absorptionserscheinungen aus dem Gehalt der wässrigen Extracte die Concentrationen der wirklich bestehenden Bodenlösungen annähernd zu berechnen, und können auch jetzt schon den Schluss machen, dass unter allen Umständen Böden, welche verhältnissmässig gehaltreiche Extracte, Drain- und Lysimeterwässer geben, *ceteris paribus* auch gehaltreiche Bodenlösungen enthalten müssen. Von diesem Gesichtspunkt aus haben die Drainwässer in ihrer Zusammensetzung ein gewisses Interesse für die Beurtheilung der temporären Fruchtbarkeit eines Bodens, wenn auch der hohe Substanzgehalt der Drainwässer zu gewissen Perioden (kurz nach der Vornahme einer Düngung) ebenso sehr auf den Mangel eines ausreichenden Absorptionsvermögens schliessen lässt.

Die Mittheilung der Resultate wenigstens einiger Drainwasseranalysen wird daher völlig am Platze erscheinen.

Kroker analysirte einige Drainwässer aus der Umgegend von Proskau und fand in 1000 Theilen Wasser folgende Theile von gelösten Bestandtheilen \*):

|                      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Org. Substanz        | 0,025 | 0,025 | 0,016 | 0,006 | 0,063 | 0,056 |
| Kohlens. Kalk        | 0,084 | 0,084 | 0,127 | 0,079 | 0,071 | 0,084 |
| Schwefels. Kalk      | 0,208 | 0,210 | 0,114 | 0,017 | 0,077 | 0,072 |
| Salpeters. Kalk      | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Kohlens. Magnesia    | 0,070 | 0,069 | 0,047 | 0,027 | 0,027 | 0,016 |
| Kohlens. Eisenoxydul | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,001 |
| Kali                 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,006 |
| Natron               | 0,011 | 0,015 | 0,013 | 0,010 | 0,005 | 0,004 |
| Chlornatrium         | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,003 | 0,001 | 0,001 |
| Kieselsäure          | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,005 | 0,006 | 0,005 |
| Summe:               | 0,421 | 0,425 | 0,337 | 0,153 | 0,258 | 0,247 |

1 und 2 ist Drainwasser eines thonigen Bodens mit kalkhaltigem Untergrund, zu verschiedenen Zeiten gesammelt, 3 ein Drainwasser von demselben Boden, gemischt mit dem eines humosen Thonbodens, 4 von einem anderen Boden mit kalk-

\*) Vergl. Jahresber. d. Chem. 1853, p. 742.

haltigem Untergrund. 5 und 6 ist das Wasser aus den Wasserfurchen eines schweren Thonbodens zu verschiedenen Zeiten gesammelt, also kein eigentliches Drainwasser.

T. h. Way hat in einer Reihe von Drainwässern folgende Bestandtheile gefunden\*), die Zahlen bezogen auf 1000 Theile:

|                       |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Kali                  | Spur   | Spur   | 0,0003 | 0,0007 | Spur   | 0,003  | Spur   |
| Natron                | 0,014  | 0,031  | 0,032  | 0,012  | 0,021  | 0,020  | 0,046  |
| Kalk                  | 0,069  | 0,103  | 0,086  | 0,032  | 0,036  | 0,083  | 0,186  |
| Magnesia              | 0,010  | 0,033  | 0,035  | 0,006  | 0,003  | 0,013  | 0,036  |
| Eisenoxyd u. Thonerde | 0,006  | 0,001  | 0,001  | —      | 0,019  | 0,005  | 0,007  |
| Kieselsäure           | 0,014  | 0,006  | 0,008  | 0,017  | 0,026  | 0,009  | 0,012  |
| Chlor                 | 0,010  | 0,016  | 0,018  | 0,012  | 0,018  | 0,017  | 0,037  |
| Schwefelsäure         | 0,025  | 0,074  | 0,063  | 0,024  | 0,018  | 0,045  | 0,138  |
| Phosphorsäure         | Spur   | 0,002  | Spur   | Spur   | 0,001  | 0,001  | 0,002  |
| Ammoniak              | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |

Diese und andere Analysen\*\*) zeigen aufs deutlichste die sehr grosse Verdünnung der unten vom Boden abfliessenden Wässer. Nur ganz vereinzelte Angaben liegen vor, nach welchen die Gesammtheit der gelösten Stoffe grösser wie ein Tausendstel gewesen wäre, und gerade die wichtigsten Nährstoffe finden sich häufig in ganz untergeordneten Mengen vor, wenn selbst die Wässer von Böden, die sich in gutem Düngungszustande befinden, stammen.

Als solche würden diese Drainwässer meistens äusserst ärmliche Nährstofflösungen vorstellen. Allein man kann doch aus ihrem Gehalt einigermaßen ersehen, dass weiter oben im Boden Lösungen von genügender Concentration vorhanden sein können, oder wie sich solche in trocknen Perioden voraussichtlich bilden werden. Als Methode zur directen Beurtheilung der Fruchtbarkeit oder auch nur des Reichthums eines Feldes ist jedoch die Analyse der von der Ackererde ablaufenden Wässer aus bereits erläuterten Gründen nicht zu verwenden.

Wir haben im Eingang der letzten Vorlesung gesehen, dass man lange Zeit hindurch bestrebt gewesen ist, die chemische Analyse des Bodens zu einer Methode, dessen Leistungsfähigkeit der Vegetation gegenüber zu bestimmen, auszubilden, dass aber diese Hoffnungen ziemlich vollständig gescheitert sind. Wir haben auch gesehen, warum dies nicht anders sein konnte. Es ist einfach wegen der Complicirt-heit der Ernährungsverhältnisse der Pflanze im Boden unmöglich, ein Lösungsmittel aufzufinden, das genau das leistet, was die Pflanzenwurzel im Boden und die chemische Thätigkeit daselbst während einer Vegetationsperiode vollzieht, und so die Menge der während dieser Periode disponibel werdenden Stoffe zu bestimmen, ganz zu geschweigen der Verschiedenheit der verschiedenen Pflanzen in dieser Hinsicht.

Es ist nun natürlich, dass man nach der Entdeckung und gründlichen Be-

\*) Aus den Mittheilungen Knop's (Kreisl. d. Stoffe. II. p. 136) umgerechnet.

\*\*) Vergl. ebenda u. p. 137; ferner über die Zusammensetzung von durch Deplacirung erhaltenen Bodenlösungen Schlösing: Compt rend. T. 70, p. 98, in denselben grosse Mengen von Salpetersäure.

arbeitung der Absorptionserscheinungen sich die Frage stellte, ob mit Hinzuziehung dieser Eigenthümlichkeiten der Ackererde, durch die experimentelle Bestimmung von deren Intensität vielleicht, eher ein Urtheil über die Fruchtbarkeit eines Bodens abgegeben werden könnte. Schon Liebig hat diesen Gedanken ausgesprochen, und derselbe ist bis in die neueste Zeit wieder und wieder aufgetaucht\*).

Diese Frage, die einfach deshalb, weil wir es in den Absorptionskräften des Bodens mit nützlichen Bodeneigenschaften zu thun haben, ihre Berechtigung hat, die aber häufig in ganz einseitiger Weise aufgefasst wurde, lässt sich sehr kurz beantworten. Da die Absorptionskräfte nützliche Bodeneigenschaften sind, so sind sie natürlich *physische Elemente des Bodenwerths*; da sie aber nicht die einzigen nützlichen Bodeneigenschaften sind und entfernt nicht alle andern nützlichen Eigenschaften vertreten können, so sind sie selbstredend *nicht die einzigen physischen Elemente des Bodenwerths*. Es muss daher als ein ganz thörichter Gedanke verworfen werden, die Böden *lediglich* nach jenen Kräften zu bonitiren und soweit ich sehen kann, hat sich auch Niemand dieser Thorheit schuldig gemacht.

Es muss weiter ausgesprochen werden, dass, um eine Bonitirung von Böden auf naturwissenschaftlichem Wege vorzunehmen, es unumgänglich erforderlich ist, sämtliche Bodeneigenschaften, die bei der Pflanzenproduction in Betracht kommen, entweder direct experimentell zu bestimmen oder (soweit dies etwa schon möglich ist) deductiv aus den experimentell bestimmten abzuleiten. Wir sind aber gleich von Anfang an, als wir von der Bodenanalyse sprachen, an der Vorausbestimmung der Bodenqualität vollständig des Umstands wegen gescheitert, weil wir kein Mittel besitzen, die für das Pflanzenwachsthum in einer Vegetationsperiode verfügbaren Stoffe vorauszubestimmen, ja ein solches aufzufinden logisch undenkbar erscheint. Zur Kenntniss dieses wichtigsten aller hier ins Spiel kommenden Factoren kann uns die Feststellung der Absorptionskräfte ganz und gar nichts beitragen, denn wenn selbst die im absorptiven Zustande befindlichen Stoffe die allein verfügbaren wären, was ja sicherlich nicht der Fall ist, so besitzen wir ja auch kein Mittel zur Bestimmung dieser ersteren. Damit ist nun im Grunde das Urtheil gesprochen. — Es ist im entgegengesetzten Sinne hinzuzufügen, dass die Absorptionsfähigkeit einzelner Bodenarten für bestimmte Stoffe unter sonst gleichen Umständen um so grösser sein wird, je ärmer die Bodenarten an diesen Stoffen, d. h. ja doch wohl, je unfruchtbarer sie sind. Dies folgt aus den Sätzen der Vertretung der absorbirten Stoffe unter einander. — Abgesehen hiervon kann aber noch in letzter Linie gesagt werden, dass eine möglichst energische Absorption für die Zwecke der Kultur durchaus nicht der günstigste Fall sein *kann*, denn es gibt eine Reihe von nützlichen indirecten Düngemitteln, deren Wirksamkeit vorzüglich in der Abschwächung der Absorptionskräfte besteht; vergl. die achtunddreissigste Vorlesung\*\*).

\*) Biedermann hat (vergl. Landw. Versuchsst. 1869, p. 13, u. 1872, XV. p. 21) wieder die Frage aufgeworfen, ob sich auf Grund der Bodenabsorption nicht eine Bonitirung vornehmen lasse; ebenso Knop: Die Bonitirung etc. Leipzig 1871.

\*\*) Eine Zusammenstellung des Absorptionsvermögens (für Ammoniak) sehr verschiedener Erdarten findet sich bei Knop: Die Bonitirung etc. 1871, p. 40 und Biedermann: Landw. Versuchsst. XV. p. 21.

Wir erweitern also durch Feststellung der Absorptionskräfte einer Ackererde unsere Kenntnisse über die nützlichen Eigenschaften derselben; allein da wir uns die Kenntniss anderer Eigenschaften, die geradezu unentbehrlich sind, nicht verschaffen können, so können die ersteren in praktischer Hinsicht vorerst nichts Erhebliches leisten. Ganz dasselbe lässt sich natürlich von allen noch zu erläuternden nützlichen Bodeneigenschaften sagen, da immer jene grosse Lücke bleibt, die vielleicht niemals wird ausgefüllt werden können.

Wir sind beim Beginn des Studiums der sogenannten Absorptionskräfte des Bodens von dem Gedanken ausgegangen, dass es ohne deren Kenntniss nicht möglich sei, einen klaren Ueberblick über das Verhältniss der chemischen Beschaffenheit des Bodens zu dessen Fähigkeit als Ernährer der Pflanzen zu dienen, zu gewinnen. Diese Vermuthung hat sich nicht nur bestätigt, sondern wir haben auch durch die Behandlung dieses Gegenstandes wirklich schon einen leidlichen Ueberblick bekommen über denjenigen chemischen Zustand einer Ackererde, der die erste Voraussetzung ist zu dessen Fruchtbarkeit. Wir haben gelernt, dass Bodenarten, denen thonige oder humose Bestandtheile abgehen, also Sand-, Kies- und manche Verwitterungsböden, nur auf Augenblicke, nicht aber dauernd fruchtbar zu machen sind, wenn dieselben nicht einer gründlichen Melioration unterworfen werden.

Von noch nicht deutlich Ausgesprochenem haben wir noch hinzuzufügen, dass Erden von saurer Reaction im Allgemeinen weniger fruchtbar, für manche Kulturen, z. B. der von Zuckerrüben, unbrauchbar sind, und dass ein Bruchtheil kohlensaurer Kalk im Boden nicht allein bei den Absorptionerscheinungen eine wichtige Rolle spielt, sondern auch die sicherste Bürgschaft für eine neutrale oder schwach alkalische Reaction abgibt. Stark alkalische Erden, dass dadurch Unfruchtbarkeit entstände, sind seltener und werden nur in Zeiten langer Trockenheit gefährlich \*).

Eisenoxydsalze in der Krume ist für die meisten Pflanzen (am wenigsten für Kopfkohl) durchaus gefährlich \*\*).

Auf den Nachweis solcher Dinge, wie auf den Gehalt an Nährstoffen, die leicht ins Minimum gerathen, wird sich die praktische Bodenanalyse also in den meisten Fällen erstrecken.

---

\*) Ich erinnere an die Sodaauwitterungen in den ungarischen Puszten und die dadurch bedingte vorübergehende Unfruchtbarkeit. Auch einen Fall, dass eine Erde durch den hohen Gehalt an Magnesia unfruchtbar wurde, habe ich daselbst constatiren können (Saliter-Erde).

\*\*) Untersuchung auf diesen Bestandtheil geschieht am besten durch Auskochen der unmittelbar vorher zertheilten Erdklumpchen mit Wasser, dem 1 Tropfen HCl zugesetzt ist, und die Reaction des Filtrats mit Ferridcyankalium.

## Dreissigste Vorlesung.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Bodenwärme.

Man unterscheidet ganz allgemein neben den chemischen Eigenschaften der Ackererde, welche für den Pflanzenbau in Betracht kommen, physikalische Eigenschaften derselben, welche ebenso wichtig für deren Fruchtbarkeit sind. Wir haben dies in einer der letzten Vorlesungen so auszudrücken versucht, dass wir die Ackererde in ihrer Eigenschaft als „Bodenapparat“ von derselben in ihrer Eigenschaft als „Bodenreservoir“ auseinandergehalten haben.

Es ist von vorneherein klar, dass zwei Böden, die hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften, hinsichtlich der Menge von Nährstoffen, welche sie der Vegetation zur Verfügung stellen, einander ganz gleich sind, sich doch dem Pflanzenwachsthum gegenüber sehr verschieden verhalten können. Der Boden ist für die Pflanze mehr als eine blosse Nährstoffquelle, er ist gleichzeitig der Träger und Vermittler einer grossen Reihe von anderen Vegetationsbedingungen.

Wenn wir uns ins Gedächtniss zurückrufen, was es ausser den (in der Reichhaltigkeit ihrer Lieferung von den chemischen Eigenschaften des Bodens abhängigen) Pflanzennährstoffen noch für unerlässliche Vegetationsbedingungen gibt, und welche dieser Bedingungen noch von den Bodeneigenschaften abhängig, d. h. also nicht rein atmosphärische sind, so kommen wir ungefähr zu folgendem Resultate:

Zu allererst wäre daran zu erinnern, dass eine gewisse mechanische Beschaffenheit der Krume schon wegen der Eigenthümlichkeiten der Bewurzelung der angebauten Gewächse erforderlich ist, dass nur in einer pulverförmigen Masse die Wurzeln eindringen, sich weit verzweigen und zugleich den nöthigen Halt gewinnen können, dessen die Pflanze draussen in der Natur durchaus bedarf. — Dies sind indessen Dinge, die so selbstverständlich erscheinen, dass blosse Andeutungen zu ihrer Erledigung genügen.

Die *Wärme*, die einer Pflanze zur Verfügung steht, und von deren Menge und Gleichmässigkeit das Pflanzenwachsthum, wie wir ausführlich dargelegt haben, abhängig ist, wird nicht allein durch klimatische Verhältnisse, sondern auch durch die Eigenschaften des Bodens bedingt. Das physikalische Verhalten des Bodens der ihm zugeführten Wärme gegenüber ist also einer Untersuchung zu unterwerfen.

Einige Nährstoffe atmosphärischen Ursprungs sind in der Reichhaltigkeit ihrer Zuführung ebenfalls von physikalischen Bodeneigenschaften abhängig. In erster Linie ist hier zu nennen das *Wasser*, für welches der behauptete Sachverhalt klar ersichtlich ist, wenn man sich erinnert, dass der Landwirth von trocknen und nassen Böden spricht.

Endlich ist auch von den physikalischen Eigenschaften der Ackererde die Zufuhr des *atmosphärischen Sauerstoffs* zu den unterirdischen Pflanzenorganen, dessen

die meisten Gewächse nicht entrathen können, abhängig. Dies ist indessen ein Verhalten, welches wir als *Durchlüftung* derselben bezeichnen können.

Für die andern atmosphärischen Nährstoffe ist dies Verhältniss weniger hervortretend und keiner besonderen Behandlung werth. Freilich ist die Menge der Kohlensäure, welche in dem Regenwasser gelöst, auf die Grundstücke niederfallend, denselben verbleibt und daselbst der Vegetation und noch mehr chemischen Reactionen in der Ackererde zu Gute kommt, auch von den physikalischen Eigenschaften der Ackerkrume abhängig, und ebenso theilweise die Salpetersäure und das Ammoniak des Regenwassers \*). In einem durchlässigen Boden werden im Allgemeinen mit dem Wasser auch die darin aufgelösten Stoffe verhältnissmässig rasch verloren gehen \*\*).

Wir haben es jedoch hauptsächlich in unsern Betrachtungen der physikalischen Eigenschaften der Ackererde nur mit dem Verhalten derselben gegen die *Wärme* und das *Wasser* zu thun, und wir gehen mithin zur Behandlung dieser speciellen Eigenthümlichkeiten über.

Wenn uns zunächst die Aufgabe zufällt, den Einfluss zu untersuchen, welchen die verschieden geeigneten Böden auf die Temperaturverhältnisse, denen die auf diesen Böden wachsenden Pflanzen unterworfen sind, ausüben, so müssen wir uns vor Allem an die Abhängigkeit erinnern, in welcher das Pflanzenwachsthum von den Temperaturverhältnissen sich befindet und besonders unser Augenmerk auf diejenigen Temperaturgrenzen richten, die bei der praktischen Landwirthschaft fühlbar werden. Nur die Berücksichtigung dieser *realen* Verhältnisse wird unsere Kenntniss

---

\*) Strenggenommen sind chemische und physikalische Bodeneigenschaften in Bezug auf die Pflanzenernährung gar nicht scharf auseinander zu halten. Der Reichthum eines Bodens an Wasser wird ausser durch klimatische Eigenschaften wesentlich nur durch physikalische Bodeneigenschaften regulirt. Allein von der Menge dieses Wassers und der in ihm enthaltenen Kohlensäure muss der Verlauf der chemischen Reactionen in der Krume und somit die Menge und chemische Form von Nährstoffen, die zur Verfügung stehen, wesentlich abhängig sein. Umgekehrt werden ja die physikalischen Eigenschaften von der chemischen Zusammensetzung und dem Verlauf der chemischen Reactionen bedingt sein.

\*\*) Man ist zwar gewohnt, ausser den hier zu besprechenden noch eine ganze Reihe von physikalischen Bodeneigenschaften, als für das Pflanzenwachsthum in Betracht kommend, eingehenden Ermittlungen zu unterwerfen. Man bestimmt das scheinbare und wirkliche specifische Gewicht, die Festigkeit, Zähigkeit, Ausdehnung und Zusammenziehung bei Wasseraufnahme und -abgabe, ja sogar die Adhäsion der verschiedenen Bodenarten an anderen Körpern. Allein man verfährt mit diesen Ermittlungen häufig ziemlich kritiklos und ohne zu bedenken, ob denn eine erwähnenswerthe Beziehung dieser Eigenschaften zu dem Verhalten der Bodenarten dem Pflanzenwachsthum gegenüber thatsächlich besteht, wenn auch nicht geleugnet werden soll, dass es für einen Theil jener Eigenschaften, solche Beziehungen nachzuweisen, möglich ist. Manche derselben kommen für die Möglichkeit einer Pflanzenwurzel, in den Boden einzudringen und sich zu verbreiten, theilweise auch für die Bodenbearbeitung in Betracht u. s. w.; für andere dagegen ist keine klare und einfache Beziehung zu einem derartigen Verhalten zu ersehen. Jedenfalls sind diese Beziehungen aber nicht derart, dass ich einen erheblichen Nutzen von der theoretischen Erläuterung derselben erwarte. Ich verweise die Interessenten auf andere Werke, z. B. E. Wolff: *Anleitung zur chem. Untersuch.* etc. 1867, p. 70—72.



von jener Abhängigkeit, welche wir uns in den beiden letzten Vorlesungen des ersten Theils dieses Buches verschafft haben, zu einer fruchtbaren machen.

Wir haben in jenen Vorlesungen gesehen, dass für einen jeden physiologischen Process eine theoretisch nicht vorauszubestimmende und für verschiedene Pflanzen sehr verschiedene untere und obere Grenztemperatur existirt, jenseits welcher er sistirt wird, dass in gleicher Weise auch die Lebensfähigkeit des ganzen pflanzlichen Organismus durch zwei jene einschliessenden Temperaturgrenzen regiert wird. Allein von diesen beiden Grenztemperaturen kommt für unsere klimatischen Verhältnisse, welche wir ja in erster Linie im Auge behalten wollten, praktisch nur die untere in Betracht. Die obere Grenztemperatur, die einem pflanzlichen Organismus völlig den Garaus macht, scheint auch in den heissesten Länderstrichen überaus selten erreicht zu werden; und wenn es auch nach den vorliegenden und theilweise mitgetheilten Beobachtungen als wahrscheinlich gelten muss, dass unter natürlichen Verhältnissen die Pflanzen manchmal auf Temperaturen erwärmt werden, die für den Verlauf einiger Vegetationserscheinungen weniger günstige sind, so ist ein Eintreten derartiger Zustände doch für unsere Himmelsstriche so verschwindend selten, gegenüber der entgegengesetzten Erscheinung, dass sie geradezu vernachlässigt werden können, und für die heissen Klimate liegen noch zu unvollständige Beobachtungen über das Wärmebedürfniss der dort einheimischen Pflanzen vor, als dass jene Möglichkeit hier eine ausgedehnte Berücksichtigung erfahren dürfte. Ueberall, wo Pflanzen, wenn wir von der künstlich gehegten Flora, die in nordischen Klimaten und auf hohen Bergen zu Hause ist, absehen, nach der wenig exacten Ausdrucksweise des gewöhnlichen Lebens durch Hitze zu Grunde gehen, kann man ruhig der bei starker Hitze sich geltend machenden Trockenheit die Schuld beimessen\*), denn angestellte Versuche lehren, dass die meisten Pflanzen ausserordentlich hohe Temperaturen aushalten können, wenn man die Erwärmung unter gleichzeitiger Abschwächung der Transpiration vornimmt und so die Pflanzen vor Austrocknung schützt.

Andererseits ist Jedermann bekannt, dass die untere Temperaturgrenze, welche dem Gedeihen der Pflanze eine Schranke setzt, unter den realen Verhältnissen unserer Klimate sehr häufig thatsächlich erreicht wird. Manch' eine Pflanzung wird durch Frost beschädigt, und besonders die Winzer und Obstbaumzüchter wissen davon zu erzählen. Und nicht bloss das *Absterben* der Pflanzen in Folge von Kälte kommt hier in Betracht; aus unserer früheren Behandlung geht zugleich hervor, dass eine Reihe von physiologischen *Processen* bei niedriger Temperatur mit einer geringen Intensität verlaufen und zwar bei Temperaturen, die durchschnittlich viel öfter erreicht werden müssen. Es ist in der That kaum nöthig, Beispiele anzuführen. Es ist ja weltbekannt, dass Trauben im mittleren Deutschland in kalten Jahren nicht

---

\*) Nur einzelne Schädigungen, die wir in Folge des Sonnenbrandes an Kulturgewächsen wahrnehmen, werden sich vielleicht nicht auf diesen Gesichtspunkt zurückführen lassen, wie z. B. für „Sonnenbrand“ an Tabakblättern und Weintrauben, sondern wohl auf eine zu rasche Temperaturerhöhung nach vorhergehender Beschattung durch andere Pflanzentheile, oder selbst auf Erreichung der absoluten Tödtungstemperatur. Vergleiche auch Askenasy: Bot. Zeit. Juli 1875.

zur Reife kommen, weil der Zuckerbildungsprocess unvollständig verläuft. Jedermann weiss, dass unser Getreide und jede beliebige andere Pflanze in kalten Perioden kein gedeihliches Wachsthum zeigt, ohne dabei gerade zu Grunde zu gehen, und früher haben wir schon auseinandergesetzt, dass auch die Ausbildung des Chlorophyllorgans und ebenso die Zunahme an organischer Substanz von gewissen Temperaturen abhängig ist, die praktisch häufig nicht erreicht werden. Vor Allem ist es aber der unvollständige Verlauf der Blüthe nicht bloss bei Obstbäumen, sondern auch bei Roggen und anderen Feldfrüchten, dessen hier der praktische Landwirth gedenken wird.

Es ist an dieser Stelle noch besonders hervorzuheben, dass auch die oberirdischen Pflanzentheile der gewöhnlichen landwirthschaftlichen Gewächse, welche also nicht direct vom Boden umgeben sind, doch in ihren Temperaturverhältnissen ganz vorzugsweise von dem Verhalten dieses gegen Wärme abhängig sind, da sie einen grossen Theil ihrer Wärme erst von ihm durch Bestrahlung empfangen. Diese Beziehung geht einfach hervor aus den Eigenthümlichkeiten des Mediums, in welchem sich diese oberirdischen Pflanzentheile befinden, der atmosphärischen Luft. Diese ist fast ohne Absorptionsvermögen für Wärmestrahlen, von sehr geringer Wärmecapacität und deshalb von geringem Einfluss auf die Erwärmung von ihr eingeschlossener Gegenstände. — Die Abhängigkeit der Temperatur der Pflanzen von der des Bodens, auf dem sie wachsen, ist indessen nicht so gross, dass sie nur *allein von dieser* bedingt wäre. Namentlich vermögen die höchsten Pflanzentheile bei nächtlicher Strahlung in den Weltenraum ziemlich selbstständige Temperaturen anzunehmen\*).

Aus dem vorhin Gesagten folgt aber weiter, dass diejenigen Böden, welche durch ihre Eigenschaften hohe Temperaturen begünstigen, bei Gleichheit der übrigen in ihnen enthaltenen Vegetationsbedingungen im Allgemeinen die fruchtbarsten\*\*) sein werden, da sie geeignet sind, die auf ihnen wachsenden Pflanzen denjenigen Temperaturen näher zu bringen, die für ihr Gedeihen die förderlichsten sind, so verschieden das Wärmebedürfniss der einzelnen angebauten Gewächse auch immer sein mag. Wir werden also zu untersuchen haben, welche Bodenarten sich in dieser Hinsicht am günstigsten verhalten, welcher Natur die „warmen“ Böden sind, um auf diese Weise ein Urtheil darüber zu gewinnen, welche Massregeln es gibt, die Bodeneigenschaften in jener Richtung abzuändern.

Als Wärmequelle für den Boden und die in ihm wurzelnden Pflanzen kommen

---

\*) Vergl. über diesen Gegenstand die 22. Vorlesung p. 386. — Es ist ferner nicht ganz ansser Augen zu lassen, dass die Temperatur eines Bodens nicht bloss direct für die auf ihm wachsenden Pflanzen in Betracht kommt, sondern auch für die Vorgänge chemischer und physikalischer Natur, welche in der Ackererde sich abwickeln und von deren Verlauf die Fruchtbarkeit derselben mit abhängt. Diesem Gesichtspunkt wird von Mulder eine etwas übertriebene Wichtigkeit beigelegt; vergl. dessen Chemie der Ackerkrume Bd. III. p. 383.

\*\*) Vergl. in dieser Hinsicht die interessanten Mittheilungen von Gasparin und Creuzé Latouche über die Weinkultur auf hellen und dunkeln Böden in des Ersteren Cours d'agriculture 1843, T. I. p. 179.

möglicher Weise in Betracht: *die Sonnenwärme, die Wärme in Folge chemischer Prozesse in der Ackerkrume* und dann etwa noch *die innere Erdwärme*.

Die Sonne bestrahlt die Erdoberfläche und erwärmt dieselbe je nach der geographischen Breite und nach Durchstrahlbarkeit der Atmosphäre in verschiedenem Grade. Die durch das Bestreben nach Wärmeausgleichung hervorgerufenen, durch die eigenthümliche Configuration der Oberfläche der Erde, durch die Umdrehung dieser letzteren mannigfaltig abgelenkten Luft- und Wasserströmungen modificiren die an jedem einzelnen Orte herrschende Temperatur vielfältig. Alle diese Factoren zusammen bestimmen die *klimatischen* Wärmeverhältnisse irgend eines Ortes. Soweit bleiben specifische Bodeneigenthümlichkeiten noch ganz und gar aus dem Spiel.

Die Neigung eines Terrains gegen die einzelnen Himmelsstriche bringt dann, wie wir schon früher hervorgehoben haben, einen neuen, ausserhalb der klimatischen Verhältnisse liegenden Factor hinzu. Der Südhang eines Thals empfängt von der Sonne, wegen der mehr der Senkrechten sich nähernden Bestrahlung, auf die Flächeneinheit eine grössere Wärmemenge\*) als die Ebene und die Grundstücke von einer anderen Neigung, und in dem gleichen Sinne wirkt auch der daselbst sich geltend machende grössere Schutz vor rauhen Winden. Für eine ganze Reihe von Kulturen ist dieser einzige Unterschied entscheidend, ob dieselben überhaupt möglich sind. Dieser Einfluss ist freilich nicht immer als ein günstiger zu betrachten; denn Boussingault hat darauf aufmerksam gemacht\*\*), dass in Schottland und der Schweiz die Nordabhänge des Gebirges viel fruchtbarer sind, als die Südabhänge und dies naturgemäss aus dem grösseren Temperaturwechsel erklärt, dem solche Lagen (namentlich wo rauhe Winde wehen) ausgesetzt sind. Aehnliche Erfahrungen werden vom Harz mitgetheilt, wo die Waldbestände des Südhangs wegen vorzeitiger Entwicklung dem Erfrieren ausgesetzt sind. — Vermuthlich gilt dasselbe in noch höherem Grade für südlichere Gegenden, wo jene unteren Grenztemperaturen seltener mehr erreicht werden und die grosse Wasserarmuth der von der Sonne ausgedörrten Lagen in Betracht kommt.

In ganz ähnlicher Weise wirken die vor kalten Winden schützenden Terrain-erhebungen auf einer oder mehreren Seiten eines Grundstücks. Beides, die Neigung des Bodens gegen den mittleren Stand der Sonne und dessen Schutz gegen rauhe Winde sind specifische Bodeneigenschaften, welche man auch gelegentlich durch künstliche Massregeln zu erreichen sucht. — In Gegenden, deren physische und wirthschaftliche Verhältnisse zu einer intensiven Weinkultur drängen, z. B. am Rhein und in der bairischen Pfalz\*\*\*), sind kostspielige Erdarbeiten zur Veränderung der Neigung eines Grundstücks nicht ganz ungewöhnlich, und in rauhen windigen Gegenden, z. B. in Flandern, sind schützende, mit Hecken bepflanzte Einfriedigungen überaus häufig†).

\*) An der Oberfläche der Erde kann der hierdurch bewirkte Unterschied leicht 20° C. betragen, wie Malaguti u. Durocher gezeigt haben.

\*\*) Vergl. Écon. rur. II. Édit. I. 635.

\*\*\*)) Daselbst steigt ja auch der Bodenwerth (natürlich nur ganz stellenweise) bis zu 200,000 Mark per Hektare.

†) Der holländische Tabaksbau zwischen den stereotypen Bohnenhecken ist ein hierhin-gehöriges Beispiel.

Neben diesen in der Terraingestaltung liegenden specifischen Bodeneigenschaften kommen nun aber die physikalischen Eigenschaften der *Ackerkrume* selbst in hohem Masse für uns in Betracht, umso mehr, als auf die Abänderung dieser Bodeneigenschaften sich vorwiegend unsere wirthschaftlichen Massregeln beziehen. Alle übrigen Umstände einander gleich gesetzt, wird ein Boden bei Bestrahlung durch die Sonne *um so mehr Wärme zurückhalten, je weniger Licht- und Wärmestrahlen von seiner Oberfläche zurückgeworfen werden, je grösser sein Absorptionsvermögen für Wärme ist.* Alle Strahlen, die nicht zurückgeworfen werden, verbleiben dem Boden, da derselbe nicht erheblich durchstrahlbar, die Wärmeleitung in demselben eine sehr langsame ist, also nicht, wie durch die Luft, Wärmestrahlen durch ihn hindurchgehen können, ohne ihn selbst zu erwärmen. Nichts vermag dieses Verhalten besser zu demonstrieren als die Thatsache, dass auf die Temperaturen von Erdschichten, welche nur sehr wenig tief unter der Erdoberfläche liegen, die Jahreszeiten keinen Einfluss zu üben vermögen. Die obersten Schichten constanter Temperaturen liegen in den Tropen nur wenige Fuss unter der Erdoberfläche, in den den Polen näher liegenden Länderstrichen, wo die Unterschiede zwischen jährlichen Wärmeperioden scharf hervortreten, beträchtlich tiefer; man schätzt 80 Fuss im Maximum\*). Mit diesem Absorptionsvermögen des festen Bodens, das gegenüber dem der Luft ein ungeheures ist, hängt dann selbstredend der bei Sonnenschein so auffällige Temperaturunterschied zwischen Boden und Luft zusammen. Schübler, der sich um die Ermittlung der physikalischen Bodeneigenschaften überhaupt sehr verdient gemacht hat, stellte durch alle Monate des Jahres hindurch vergleichende Beobachtungen über Boden- und Lufttemperatur im Sonnenscheine an, und obgleich wir gegründete Vermuthung hegen müssen, dass die Lufttemperaturen nach den damals üblichen Messungsmethoden\*\*) etwas zu hoch angegeben sind, so konnte doch ein mittlerer Temperaturunterschied von etwa 22° C.\*\*\*) zwischen beiden Medien, im Maximum über 30° C. constatirt werden. Das Gleiche lehrt aber auch die tägliche Erfahrung, wenn wir bei beliebig vielen Graden Kälte in der Februarsonne dennoch starkes Thauen eintreten sehen, und im Grunde schon die jedem Kinde bekannte Thatsache, dass wir im Sonnenschein eine stärkere Wärme empfinden als im Schatten, da eben unser Leib, unsere Kleider feste Körper von starkem Absorptionsvermögen sind, und von einer erheblichen Temperaturdifferenz der mit einander communicirenden Luft in der Sonne und im Schatten selbstverständlich nicht die Rede sein kann. — Auf dieselbe Thatsache ist endlich die grössere Kälte in grösserer Höhe der Atmosphäre zurückzuführen.

\*) Vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffe I. p. 469; ebenso Bischof: Geologie Bd. I. p. 79. Ueber diesen ganzen Gegenstand auch umfassende Zusammenstellungen bei Meister: Die Temp. d. Erdb. etc. 1860.

\*\*) In Folge der schwer zu vermeidenden Strahlung fester Gegenstände gegen den im Schatten aufgehängten Thermometer; vergl. die 22. Vorlesung.

\*\*\*) Dem entsprechend wurden in heissen Ländern Maximaltemperaturen des Bodens von 70° C. beobachtet; vergl. Knop: Kreisl. d. Stoffe I. p. 466; übrigens will Schübler in Deutschland (Tübingen) ein beinahe ebenso hohes Maximum, 67° C. beobachtet haben (vergl. dessen Grundsätze der Agrik.-Cem. 1830, II. p. 91, u. Sprengel: Die Bodenkunde etc. 1837, p. 300).

Verschiedene feste Körper haben aber nun ein verschiedenes Absorptionsvermögen. Jedermann weiss, dass wenn man sich in einem schwarzen Rocke der Bestrahlung durch die Sonne aussetzt, man ein intensiveres Gefühl von Wärme empfindet, als wenn man dies in einem hellfarbigen von sonst gleicher Beschaffenheit thut. Man kann sich auch bei Bodenarten leicht durch vergleichende Beobachtung von der sehr verschiedenen Befähigung, Wärme zu absorbiren, überzeugen, wenn man dieselben neben einander in der Sonne ausbreitet und vergleichende Untersuchungen anstellt. Es ist dies zwar keine ganz exacte Methode, da wegen der Verschiedenheit der specifischen Wärme der einzelnen Bodenarten, bei gleicher Wärmeabsorption die Temperaturerhöhung eine verschiedene sein kann. — Allein nimmt man trockene Böden, oder Böden von annähernd gleichem Wassergehalt, so sind die Unterschiede der specifischen Wärme nicht erheblich genug, dass sie den Sinn der Beobachtungsergebnisse zu ändern im Stande wären.

Schübler hat nun solche Beobachtungen mit Hilfe kaum in die Erde eingesenkter Thermometer angestellt und im directen Sonnenschein bei einer Lufttemperatur von 25° C. folgende Temperaturen für die einzelnen von ihm verwendeten getrockneten Bodenarten gefunden:

|                       |       |                       |       |
|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| Graugelber Quarzsand  | 44,7° | Weisse feine Kalkerde | 43,0° |
| Weissgrauer Quarzsand | 44,5° | Schwarzbrauner Humus  | 47,4° |
| Hellgrauer Gyps       | 43,6° | Gartenerde            | 45,2° |
| Magerer Thon          | 44,1° | Bläulicher Thon       | 45,0° |
| Fetter Thon           | 44,5° | Ackererde von Hofwyl  | 44,2° |
| Graugelber Thonboden  | 44,6° | Ackererde vom Jura    | 43,7° |

Die Unterschiede sind, wie man sieht, keine sehr bedeutenden, aber doch vortrefflich zu constatirende. Es ist leicht zu erkennen, dass die dunkeln Bodenarten sich am stärksten, die hellen am langsamsten erwärmen\*). Man braucht nur die Temperatur des schwarzbraunen Humus mit der des Gypses und der Kalkerde zu vergleichen.

Die besprochene Eigenschaft hat ohne Zweifel ihre praktische Bedeutung und die dunkle Farbe kann als eines der Momente angesehen werden, um deretwillen die stark humosen Bodenarten werthvoller sind als andere. Ja zuweilen erscheint es wirtschaftlich ausführbar, die Böden absichtlich dunkler zu färben. Die glänzenden Resultate, welche ein rheinbaierischer Rebgutbesitzer von seiner Methode, seinen hellen Boden mit Basaltschutt zu überfahren, gehabt hat, sind ohne Zweifel diesem Umstande zuzuschreiben\*\*).

---

\*) Dasselbe lehren auch die neuen und sorgfältigen Versuche von E. Wollny (vergl. z. B. Forschungen a. d. Geb. d. Agrik.-Phys. Bd. 4, p. 331).

\*\*) Ich erinnere auch an den von de Saussure mitgetheilten Gebrauch der Bewohner Chamouni's, die auf ihre mit Schnee bedeckten Felder schwarzen Schieferstaub ausstreuen, um denselben in der Sonne rascher zum Schmelzen zu bringen. Aehnliche, indess anders gedeutete Beobachtungen theilt Senft aus der Rhön mit; vergl. Landw. Jahresbericht 1867—68, p. 44. Auch die beliebten Russdüngungen im Frühjahr auf Sand zu Roggen gehören vielleicht zu einem kleinen Theile hierher; der Hauptzweck derselben ist freilich Stickstoffzufuhr. Mehrere hierhingehörige Angaben auch bei v. Gohren: Agrikulturchemie 1877, p. 95.

Mit noch grösserer Deutlichkeit ergibt sich dieselbe Thatsache aus Versuchen desselben Forschers, zu welchen die nämlichen Erdarten, die an der Oberfläche durch etwas Russ geschwärzt und vergleichungsweise mit etwas Magnesia weiss gemacht waren und so dem Sonnenschein ausgesetzt wurden, benutzt wurden. Die Resultate waren:

| Erdarten.             | Weisse Oberfläche. | Schwarze Oberfläche. | Temperaturunterschied. |
|-----------------------|--------------------|----------------------|------------------------|
| Graugelber Quarzsand  | 43°,3              | 50°,9                | 7°,6                   |
| Weissgrauer Quarzsand | 43°,3              | 51°,1                | 7°,8                   |
| Hellgrauer Gyps       | 43°,5              | 51°,3                | 7°,8                   |
| Weisse feine Kalkerde | 42°,9              | 50°,5                | 7°,6                   |
| Schwarzbrauner Humus  | 42°,6              | 49°,4                | 6°,8                   |
| Bläulicher Thon       | 41°,3              | 48°,9                | 7°,6                   |
| Ackererde vom Jura    | 42°,9              | 50°,5                | 7°,6                   |

Diese Versuche zeigen noch besser, wieviel bei der Erwärmung in der Sonne von der Färbung der bestrahlten Oberfläche abhängt, und wie dagegen die übrigen Eigenthümlichkeiten des Bodens, specifische Wärme, Wärmeleitungsfähigkeit als die Erwärmungstemperatur mit bestimmend in den Hintergrund treten\*). Die schwarze oder weisse Färbung der Oberfläche hat im Durchschnitt über 7° C. Temperaturunterschied bewirkt, während der bedeutendste Unterschied zwischen Böden mit gleichgefärbter Oberfläche, nämlich zwischen Gyps und Thon mit schwarzer Oberfläche, nur 2°,4 beträgt.

Wollte man nun allerdings den Gegenstand streng theoretisch behandeln, so müsste man hervorheben, dass die Absorptionsfähigkeit der festen Körper für Wärmestrahlen nicht allein durch diese äusserlich erkennbare Färbung bedingt ist, dass namentlich neben substantiellen Eigenthümlichkeiten, welche nicht unmittelbar durch unsere Sinne wahrgenommen werden können, die mechanische Beschaffenheit der absorbirenden Oberfläche wesentlich in Betracht kommt. Allein für unsern speciellen Zweck muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass alle Ackererden mehr oder weniger feinpulverige Körper sind, von ziemlich gleicher Rauheit der Oberfläche, und dass es für denselben genügt, in Bezug auf Wärmeabsorption auf den einen Gesichtspunkt: *hell* und *dunkel*, hinzuweisen. Derselbe ist dazu so unmittelbar verständlich, dass man keine besondere Anstrengungen zu machen braucht, ihn dem Gedächtniss einzuprägen. Ein heller Körper ist eben deshalb *hell*, weil er nur dunkle Wärmestrahlen absorbirt, die leuchtenden, gleichfalls der Wärmewirkung fähigen sehr vollständig zurückwirft; — ein dunkler Körper erscheint deshalb *dunkel*, weil er auch diese letzteren absorbirt und zur Wärmewirkung verwendet. Dass er sich also bei Bestrahlung stärker erwärmt, ist ebenso wie seine dunkle Färbung ein äusserlich wahrnehmbares Symptom eines und desselben Vorgangs.

Von der Absorptionsfähigkeit eines Ackerbodens, welche durch dessen Färbung im Wesentlichen bedingt wird, ist nun aber die Temperatur, bis zu welcher sich ein solcher Boden im Sonnenschein erwärmt, nicht *allein* abhängig und dass wir soeben

\*) Humboldt fand auf den canarischen Inseln einen Temperaturunterschied von 14° für schwarzen und weissen Sand. Vergl. v. Gohren: Agrikulturchemie 1877, p. 95.

die Temperatur als einen brauchbaren Massstab haben gebrauchen können, liegt darin, dass man die übrigen Eigenschaften der benutzten Böden so gleichartig wie möglich gewählt hat. Zufuhr einer gewissen Wärmemenge entspricht ja durchaus nicht einer gewissen Temperaturerhöhung. Es sind, um zu letzterer zu gelangen, noch wesentlich 3 Momente zu berücksichtigen nothwendig: *die spezifische Wärme der Ackerkrume* (oder deren Wärmecapazität), *der Verbrauch von Wärme* durch Leistung von Arbeiten in der Ackererde und *die Wärmeleitung*.

Wir haben zwar vorhin hervorgehoben, dass die eigentlichen festen Bestandtheile der Ackererde nicht so verschiedene spezifische Wärmen besitzen\*), dass hierdurch ein sehr merklicher Einfluss auf die Temperaturerhöhung bei Bestrahlung ausgeübt werden könnte. Allein es ist zu berücksichtigen, dass die Ackererde nicht aus diesen festen Theilen allein besteht, dass sie in der Form, in welcher sie zum Pflanzenbau dient, stets tropfbar flüssiges Wasser in sich enthält. Das Wasser zeichnet sich aber durch seine hohe spezifische Wärme andern Stoffen gegenüber ganz besonders aus. Während man dem trocknen Erdboden ungefähr durchschnittlich eine spezifische Wärme von 0,2 beilegt\*\*), besitzt das Wasser, dessen Wärmecapazität ja als Einheit solchen Berechnungen zu Grunde gelegt wird, eine solche von 1, also eine ungefähr *fünfmal so grosse*; d. h. es ist annähernd fünfmal so viel Wärme dazu erforderlich, um Wasser über eine gewisse Temperaturhöhe zu erwärmen, als dies mit der trocknen Erde der Fall ist, und absorbiren beide, Wasser und Erde, bei einer Bestrahlung von Aussen die gleiche Wärmemenge, so ist die Temperaturerhöhung der Erde fünfmal so gross als die des Wassers.

Wenn man dagegen, was rationeller erscheint, die spezifische Wärme auf ein gleiches Bodenvolum bezieht, so sind die Unterschiede wegen der grösseren Schwere des Bodens minder gross und etwa auf  $\frac{1}{2}$  zu 1 zu beziffern.

Ich will hier beiläufig erwähnen, dass auf dies verschiedene Verhalten des Wassers und der festen Bestandtheile der Erde bei Erwärmung und Abkühlung grossentheils die auffälligen Unterschiede zwischen See- und Continental-Klima zurückgeführt werden können, indem das Wasser mit seiner grossen Wärmecapazität den Temperaturschwankungen, wie sie die verschiedenartige Bestrahlung herbeizuführen bestrebt ist, grossen Widerstand entgegensetzt, die feste Erde denselben Folge leistet. Dasselbe Verhalten macht sich nun auch in der feuchten Ackererde geltend und bewirkt in derselben eine erheblich langsamere Erwärmung, da bei Absorption der gleichen Wärmemenge die Feuchtigkeit der Ackererde eine viel grössere Menge dieser Wärme beansprucht, um ihre Temperatur zu erhöhen, als die festen Bodentheilchen.

\*) In Bezug auf die verschiedene Wärmecapazität trockner und lufttrockner Erdarten hat Pfaundler (Poggend. Ann. Bd. 129, p. 102, n. Jahresber. f. Agrik.-Chemie 1866, p. 54) vergleichende Zahlen mitgetheilt, aus denen hervorgeht, dass nur sehr humose Erden beträchtlich höhere spezifische Wärmen besitzen als die übrigen sonst ziemlich gleichmässig sich verhaltenden Erdarten. Vergl. auch Knop: Die Bonitirung etc. 1871, p. 27; ferner v. Liebenberg: Untersuch. über die Bodenwärme 1875. Wenn man jedoch, was das Rationellere ist, die spezifische Wärme auf die Volumina bezieht, so sind die humosen Erden wieder im Rückstand.

\*\*) Vergl. v. Liebenberg: Untersuch. über die Bodenwärme 1875, p. 25.

Zugleich wirkt noch ein anderer Umstand in derselben Richtung. Wir haben soeben einen zweiten bei Ermittlung der wirklichen Temperaturerhöhung zu beachtenden Punkt, die Leistung der Wärme im Boden, die dieselbe sonst etwa vollziehe, hervorgehoben. Ich habe dabei die Verdunstung des Wassers, die bei gesteigerter Temperatur mit grösserer Energie von Statten geht, im Auge gehabt. Eine feuchte Ackererde wird nicht blos wegen der grossen specifischen Wärme des Wassers sich langsamer erwärmen als eine trockene, sie wird auch durch die in diesem Falle mögliche und bei steigender Temperatur steigende Verdunstung einen wirklichen Wärmeverlust erfahren, der sie noch weniger einer raschen Erwärmung zugänglich macht.

Schübler's Versuche lehren auch in diesem Falle, dass dem wirklich so ist, wie die Theorie voraussehen liess, und ich theile einige seiner Zahlen mit, die unter denselben Verhältnissen, wie die vorhin benutzten, also bei einer Lufttemperatur von 25° C. im directen Sonnenschein ermittelt worden sind.

|                       | Feucht.  | Trocken. |
|-----------------------|----------|----------|
| Graugelber Quarzsand  | 37,2° C. | 44,7° C. |
| Hellgrauer Gyps       | 36,2°    | 43,6°    |
| Fetter Thon           | 37,2°    | 44,5°    |
| Weisse feine Kalkerde | 35,6°    | 43,0°    |
| Schwarzbrauner Humus  | 39,7°    | 47,3°    |

Man sieht aus der Vergleichung beider Zahlenreihen, dass, während sich die trocknen Böden durchschnittlich 20° über die Temperatur der Luft erhoben hatten, die feuchten Böden im Durchschnitt nur 13° wärmer geworden sind. Dieser bedeutende Unterschied\*) muss auf die beiden betonten Gesichtspunkte zurückgeführt werden, und nun erscheint uns die landläufige Erfahrung leicht verständlich, welche die nassen Böden zugleich als die kalten, die trocknen als die warmen bezeichnet und gerne von *nasskalten* Böden spricht, obschon unter Erwägung der praktischen bestehenden Wärmeverhältnisse die Unterschiede nicht so gross werden, um allein zu dieser Charakterisirung zu berechtigen und der Landwirth unter einem kalten Boden auch einen unthätigen Boden versteht.

Zugleich lehren jene Zahlen mit grosser Deutlichkeit, dass die Unterschiede in den Erwärmungsverhältnissen, welche durch den Wassergehalt bewirkt werden, *hervorragendere* sind, als die, welche durch die Färbung der Bodenarten entstehen. Ein nasser dunkler Boden erwärmt sich in der Sonne nicht so rasch, als ein trockner heller, obschon er grössere Wärmemengen absorbirt. In den Schübler'schen Versuchen hat weisse, aber trockene Kalkerde eine Temperatur von 43° angenommen, während dunkler, aber feuchter Humus unter den gleichen Verhältnissen nur auf nahezu 40° erwärmt werden konnte, und dies sind die äussersten Zahlen, welche in dieser Richtung bei natürlichen Bodenarten ermittelt worden sind.

---

\*) Neuere Versuche über diesen Gegenstand haben die Schlussfolgerungen nur etwas complicirt, aber nicht wesentlich modificirt. Vergl. namentlich E. Wollny: Forschungen etc. Bd. 4, p. 190. Dasselbst auch die ganze Literatur.



An dieser Stelle sind auch zweckmässig die praktischen Beobachtungen zu erwähnen, welche lehren, wie sehr namentlich im ersten Frühjahre die Vegetation auf Wiesen leidet, wenn das Horizontal- oder das künstlich aufgestaute Wasser zu nahe an die Grasnarbe kommt. Hierbei treten, zumal im Frühjahre, Schädigungen ein, die nur durch die schwierigere Erwärmungsfähigkeit desselben erklärt werden können, wie sie auch durch Auffüllen um kaum ein paar Zoll beseitigt werden können. Daher denn auch sehr auffällige direkte Folgen einer vorgenommenen Tieferlegung des Grundwassers, auch wo von der Beseitigung eines eigentlichen Zustandes der Versumpfung nicht die Rede ist.

Wenn wir ferner uns in unseren Betrachtungen nicht auf eine dünne Bodenschicht, die ausser allem Zusammenhang mit tiefer liegenden Schichten gedacht wird, beschränken wollen, sondern die wirkliche Sachlage in's Auge fassen, nach welcher die oberste absorbirende Fläche mit einer sehr grossen Bodenmasse in Beziehungen des Temperatúraustausches steht, müssen wir auch in dritter Linie die *Verhältnisse der Wärmeleitung* in der Ackererde berücksichtigen, da von diesen die schliessliche Temperatur der Erdoberfläche und der tiefern, für das Pflanzenwachsthum noch in Betracht kommenden Schichten abhängig sein wird. — Um eine Vorstellung von dieser Wärmeleitungsfähigkeit zu gewinnen, können wir wieder von der specifischen Wärmeleitungsfähigkeit der einzelnen festen Bestandtheile einer Ackererde absehen, obgleich nachgewiesen ist, dass z. B. verschiedene Felsarten die Wärme mit sehr verschiedener Geschwindigkeit fortleiten. Wenn man z. B. in der Tiefe von einigen Metern an Orten, wo verschiedene Felsarten unter gleichen Bedingungen sich nebeneinander befinden, periodische Temperaturbeobachtungen anstellt, so kann man leicht das Eindringen der jährlichen Temperaturschwankungen bis zu sehr verschiedenen Tiefen und die Erreichung des jährlichen Temperaturmaximums zu sehr verschiedenen Zeiten in ein und derselben Tiefe constatiren, — Beweise genug für die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit der Felsarten, die übrigens einfach durch das directe physikalische Experiment festgestellt werden kann. Weit auffälliger sind dann ohne jeden Zweifel die Unterschiede der Wärmeleitungsfähigkeit zwischen den mineralischen Bestandtheilen der Ackererde und den verwesenden organischen Resten in derselben. Letztere als von Natur poröse Substanzen müssen natürlich die Wärme weniger leiten.

Allein wir können für unsern Zweck von allen jenen specifischen Unterschieden der einzelnen festen Bestandtheile der Ackerkrume absehen und lediglich auf deren poröse Structur und Wassergehalt hinweisen. Die poröse Beschaffenheit, die staubförmige Vertheilung einer Masse erschwert die Wärmeleitung in derselben ganz ausserordentlich, weil die Berührung der einzelnen Theilchen eine höchst unvollkommene ist, und die Luft keine erhebliche Fähigkeit besitzt, die Wärme fortzuleiten. Die schlechte Wärmeleitung von Wolle, Federn und dergleichen Mitteln, durch die wir Menschen uns vor rascher Abkühlung nach Aussen schützen, beruht weit mehr auf dieser feinen Vertheilung als auf der specifischen Unfähigkeit der einzelnen festen Theilchen jener Stoffe, die Wärme zu leiten. Ein fester Fels hat daher einer Staubmasse gegenüber eine sehr hervorragende Fähigkeit, die z. B. bei der Bestrahlung absorbirte Wärmemenge in sein Inneres fortzuführen, und die letz-

tere wird sich *ceteris paribus* an ihrer Oberfläche im Sonnenschein auf eine weit höhere Temperatur erheben können, als ein solcher Felsblock. Dies Verhalten konnte auch in der Natur an Granitfels und danebenliegendem, durch Verwitterung zertrümmertem Granitsand nachgewiesen werden (Beobachtungen Humboldt's am Orinoko). Die lose Masse nahm an ihrer Oberfläche eine etwas höhere Temperatur an als der massive Fels.

Nun genügt in der That der gemachte Hinweis, dass ein jeder Ackerboden ja aus einer sehr feinertrümmerten Masse besteht, die, wenn sie auch wie Geröllböden noch viele gröbere Gesteinstrümmen einschliesst, doch an sich keine solchen Unterschiede in der Wärmeleitungsfähigkeit zeigt, dass sie für unseren Zweck sehr in Betracht kommen könnten. Höchstens kann man darauf hinweisen, dass sehr feine Bodenarten, ganz besonders auch humose im trockenen Zustande, die schlechtesten Wärmeleiter sind. Diese werden sich also auch am wenigsten tief erwärmen, was für die Vegetation tief wurzelnder Pflanzen vielleicht von Wichtigkeit ist. Jedenfalls hat Wollny (Forschungen Agrikulturphysik I, 1) nachgewiesen, dass durch diese Eigenschaften die höhere Erwärmungsfähigkeit der dunkeln humosen Erde wieder ausgeglichen werden kann. Steinige und feste Erden sind dagegen von grosser Leitungsfähigkeit\*).

Dann bleibt noch der Einfluss des Wassers auf die Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens zu besprechen übrig, da dasselbe in freilich sehr wechselnden Mengen ein constituirender Bestandtheil einer jeden fruchtbaren Ackererde ist. Das Wasser hat bekanntlich an sich keine hervorragende Fähigkeit, die Wärme weiter zu leiten. Der leicht anzustellende Versuch, welcher darin besteht, dass man Eis, welches durch eine durchlöchernte Scheibe am Boden festgehalten wird, in einem hohen Gefässe mit warmem Wasser übergiesst und die einzelnen sich bildenden Flüssigkeitsschichten nicht weiter durch Umrühren mit einander in Berührung bringt, lehrt, dass das Eis unter diesen Umständen sehr langsam schmilzt. Die unten sich bildenden Schichten von eiskaltem Wasser haben keine hervorragende Fähigkeit, den darüber liegenden wärmeren Schichten Wärme zu entziehen und so von Neuem Eis zum Aufthauen zu bringen, und es wird also auf diese Weise die geringe Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers deutlich demonstriert. Lässt man dagegen die Eisstücke oben in dem mit warmem Wasser gefüllten Glase schwimmen, so tritt ein rasches Schmelzen ein, da nun die erkalteten Wassertheile durch ihre Schwere nach Unten sinken, wärmere vermöge ihrer grösseren Leichtigkeit an ihre Stelle treten, und es also bei dieser Zusammenstellung einer Wärmeleitung gar nicht bedarf, da die natürliche Circulation die Vermischung der verschieden warmen Flüssigkeitstheilchen und damit die gleichmässige Vertheilung der Wärme bewirkt.

Diese beiden Versuche sind nun zugleich im Stande, uns eine ungefähre Vorstellung von der Rolle des Wassers bei der Wärmeleitung im Boden zu verschaffen. Ist der Boden nur eben feucht, d. h. sind alle Wassertheilchen mit grossen capillaren Kräften festgehalten und dadurch die Circulation derselben erschwert, so wird

---

\*) Pott: Landw. Versuchsst. Bd. 20, p. 273; auch Wollny: Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik Bd. II, p. 162.

das Wasser keine erhebliche Rolle hinsichtlich der Wärmeleitung spielen können. Ein nur eben feuchter Boden wird sich hinsichtlich der Vertheilung der Wärme in einzelnen Bodenschichten ungefähr wie ein trockner, also wie ein schlechter Wärmeleiter verhalten<sup>\*)</sup>. Anders muss aber die Sache sich gestalten in einem wirklich nassen Boden, wo das Wasser einigermassen zu circuliren vermag, und hier können wir Anwendung von den eben erwähnten Versuchen machen. Wird ein solcher nasser Boden von oben durch Bestrahlung erwärmt, so werden die warmgewordenen Wassertheilchen desselben keine Veranlassung finden, eine Bewegung hervorzubringen, sie finden sich bereits in der möglichst günstigen, in der stabilen Gleichgewichtslage.

Tritt dagegen von oben her eine Erkaltung des Bodens ein, sei es nun durch kalte Winde oder durch Wärmestrahlung in den Weltenraum, von der wir gleich ausführlicher zu sprechen beabsichtigen, so werden die erkalteten oberen Flüssigkeittheilchen das Bestreben haben, ihren Ort mit tiefer liegenden wärmeren auszutauschen; die Erkaltung des Bodens wird sich in Folge dessen in grössern Tiefen fühlbar machen als die Erwärmung desselben, aber auch in Folge davon, weil so grössere Massen daran Antheil nehmen können, keine solche Extreme erreichen können wie jene. Das Ebengesagte gilt indessen nur bis zu einer Abkühlung auf  $+ 4^{\circ} \text{C.}$ , weil von da an abwärts das Wasser wieder ein grösseres Volum einzunehmen beginnt.

Ob das angedeutete Verhalten in der Praxis irgend eine Rolle spielt, ist bei der grossen Complicirtheit der einschlagenden Verhältnisse schwierig anzugeben. Ebenso wenig lässt sich entscheiden, ob eine hohe Wärmeleitungsfähigkeit der Ackererde oder eine niedrige im Allgemeinen nützlich für den Pflanzenbau erscheint. — Wir können aber hervorheben, dass für die Erwärmung des Bodens unter dem Einflusse der Bestrahlung durch die Sonne die Wärmeleitung wegen der in dieser Hinsicht ziemlich gleichartigen Beschaffenheit der verschiedenen Bodenarten und, weil das Wasser bei der Erwärmung von Oben keine sehr die Wärmeleitung begünstigende Rolle spielen kann, nicht wesentlich in Betracht kommt, so dass es wenigstens für unsere Zwecke genügt, die beiden andern Gesichtspunkte, Färbung und Wassergehalt, in jener Hinsicht allein zu berücksichtigen.

Bei unserer bisherigen Betrachtung haben wir in erster Linie die Erwärmung des Bodens in Folge der Bestrahlung durch die Sonne im Auge gehabt. Der entgegengesetzte Process dieser Erwärmung, der für das Gesamtergebniss von der gleichen Wichtigkeit erscheint, ist die *Abkühlung* desselben von Oben her durch

---

<sup>\*)</sup> Die relative Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers zu der der einzelnen Bodenelemente ist ungenügend bekannt, doch kann sie in allen Fällen als kleiner angenommen werden als die der mineralischen Bestandtheile des Bodens; vergl. auch Knop: Die Bonitirung etc. 1871, p. 25. Dennoch ist die Wärmeleitung eines feuchten Bodens erheblich vergrössert, da die am schlechtesten leitenden Lufttheilchen einigermassen verdrängt sind, dem Boden also gleichsam seine Porosität genommen ist. Hiermit in Uebereinstimmung befinden sich die später von Littrow angestellten Versuche (Detmer's Centralbl. d. Agrik.-Chem. 1875, II. 63; auch Haberlandt: Wissensch. prakt. Untersuchungen 1877, p. 20; endlich E. Pott: Landw. Versuchsst. Bd. 20, S. 273.

*Ausstrahlung in den Weltenraum.* Auch hier werden wir wieder die spezifische Befähigung der einzelnen den Boden constituirenden Elemente und so der einzelnen Bodenarten, nach Aussen hin Wärme durch Strahlung abzugeben, einer Untersuchung zu unterwerfen haben.

Vielleicht können wir bei dieser Betrachtung von einem physikalischen Gesetze Nutzen ziehen, das eine sehr einfache Beziehung zwischen Absorptionsvermögen und Ausstrahlungsvermögen der Wärme ausspricht. Dieses Gesetz sagt aus, dass das Absorptionsvermögen irgend eines Körpers (worunter man also das Verhältniss der von ihm absorbirten Strahlen zu den auf ihn fallenden Strahlen versteht) in einer constanten Beziehung zum Ausstrahlungsvermögen eines solchen Körpers steht, so dass zwei Körper von gleichem Absorptionsvermögen auch ein gleiches Ausstrahlungsvermögen besitzen, *vorausgesetzt, dass die Strahlen, um die es sich in beiden zu vergleichenden Füllen handelt, von gleicher Temperatur sind.*

Dieses physikalische Gesetz würde uns geradezu zu dem Schlusse berechtigen, dass dieselben Bodenarten, welche sich bei Bestrahlung durch die Sonne am raschesten erwärmen, bei der Umkehrung des Strahlungsverhältnisses, wo dem erwärmten Boden ein kalter Weltenraum gegenüberliegt, auch am raschesten Abkühlung erleiden, also die Böden von der wechselndsten Temperatur sein würden, wenn es sich in beiden Fällen um Strahlen von gleicher Brechbarkeit handelte. Dem ist nun aber nicht so; — was der Boden empfängt, sind grossentheils leuchtende, sogar ultra-leuchtende Strahlen, und nur zum Theil sogenannte Wärmestrahlen; — was er im Fall der Ausstrahlung abgibt, sind nur Wärmestrahlen von ganz niedriger Temperatur und geringer Brechbarkeit. Für solche Verhältnisse ist die Anwendung jenes Gesetzes nicht mehr ohne weiteres zulässig. Während z. B. der Kienruss Strahlen aller möglichen Temperaturen sehr vollkommen absorbirt und deshalb auch Strahlen aller möglichen Temperaturen sehr vollständig emittirt, wie an dem verhältnissmässig raschen Erkalten eines mit heissem Wasser gefüllten und berussten Theekessels dem eines metallisch blanken gegenüber deutlich ersehen werden kann, verhält sich das Bleiweiss den leuchtenden Strahlen gegenüber, wie seine Farbe lehrt, ziemlich passiv, absorbirt aber Strahlen von  $100^{\circ}$  mit grosser Begierde und ebenso rasch wie der Russ, und daraus folgt dann das eigenthümliche Verhalten jenes Stoffes bei der Ausstrahlung.

Denken wir uns nun z. B. eine Ackererde, gebildet aus einem Stoffe, der die Eigenschaften des Bleiweisses in Bezug auf Wärmestrahlung besässe\*). Eine solche würde die Strahlen der Sonne, die grossentheils von hoher Temperatur sind, sehr wenig vollständig absorbiren, bei Nacht aber eine möglichst hohe Wärmestrahlung unterhalten, weil es sich jetzt nur noch um Strahlen von sehr niedriger Temperatur, um dunkle Wärmestrahlen handelt. Aus diesem herausgegriffenen Beispiel ist klar

---

\*) Bodenarten von gerade umgekehrten Eigenschaften, die verhältnissmässig stark absorbiren, aber langsam ausstrahlen, scheinen nach einer Bemerkung von Senft (vergleiche Landw. Jahresber. 1867—1868, p. 43 zu existiren. Wenigstens spricht derselbe von mit Eisenoxydhydrat durchzogenem Sand, der sich in der Sonne rasch erwärmt, aber lange die Wärme halten soll, wenn wir es anders hier mit einer exacten Beobachtung zu thun haben.

ersichtlich, dass es für die uns vorliegenden Verhältnisse nicht erlaubt ist, von jenem Gesetze ohne Weiteres Gebrauch zu machen.

Eigentliche Versuche über die Grösse der Wärmeausstrahlung gleichwarmer, aber substantiell verschiedener Erdarten mit dem Melloni'schen Apparate und der thermoelektrischen Säule hat in neuerer Zeit v. Liebenberg (a. a. O.) ausgeführt. Aus denselben ergibt sich eine merkwürdige Gleichheit der verschiedensten und selbst verschieden feuchten Bodenarten für das Ausstrahlungsvermögen dunkler Wärmestrahlen. Aeltere Versuche von Schübler und von Meister begnügten sich damit, die Erkaltungsgeschwindigkeit in Gefässen von Eisenblech oder Glas vergleichungsweise zu messen — ein Vorgang, für den nicht das Strahlungsvermögen, sondern die Wärmeleitung der substantiell verschiedenen Erden, ferner deren spezifische Wärme, und da sich die Messungen auf gleiche Volumina beziehen, auch noch das spezifische Gewicht derselben in Betracht kommt, der also sehr complicirter Natur ist und, wie gesagt, keinen Schluss auf das relative Strahlungsvermögen gestattet\*).

\*) Schübler war es auch hier wieder, der dergleichen Versuche angestellt hat und aus den Zeiten, welche die Erden bedurften, um, vorher auf 63° C. erwärmt, auf 21° C. (bei einer Zimmertemperatur von 16°) zu erkalten, die (diesen Zeiten proportionalen) Zahlen berechnete, welche er in seiner Ausdrucksweise als „wärmehaltende Kraft“ der einzelnen Erdarten bezeichnete.

Auf diese Weise von Schübler ermittelte Zahlen sind z. B. folgende:

| Erdarten.          | Wärmehaltende Kraft<br>die des Kalksand = 100 gesetzt. |
|--------------------|--------------------------------------------------------|
| Kalksand           | 100,0                                                  |
| Quarzsand          | 95,6                                                   |
| Gypserde           | 73,8                                                   |
| Lettenartiger Thon | 76,9                                                   |
| Lehmartiger Thon   | 71,8                                                   |
| Reiner grauer Thon | 66,7                                                   |
| Humus              | 49,0                                                   |
| Ackererde          | 70,1                                                   |

Diese verschiedene wärmehaltende Kraft der verschiedenen Ackererden hat also ganz und gar nichts mit deren Ausstrahlungsvermögen zu thun, da die Zahlen unter Anwendung einer und derselben strahlenden Oberfläche, der des Eisenbleches, in welches alle Bodenproben eingeschlossen waren, erhalten wurden, sondern wir bekommen nur auf diese Weise eine Vorstellung von dem Zusammenwirken aller übrigen vorhin genannten, bei der Abkühlung mitwirkenden Factoren und zugleich von Eigenthümlichkeiten, welche ebenso bei der Erwärmung, aber natürlich im umgekehrten Sinne, in Betracht kommen. Sehr wichtig ist desshalb die naive Bemerkung Schübler's, dass sich die wärmehaltende Kraft der einzelnen Bodenarten im Allgemeinen verhalten hätte, wie deren spezifische Gewichte. Daraus würde sich mit grosser Bestimmtheit ergeben, dass die Wärmeleitungsfähigkeit und die spezifische Wärme der einzelnen Bodenarten, wie wir dies auch schon früher angenommen haben, nicht sehr erheblich verschiedene sind, und dass, wenn man allen Bodenarten künstlich ein gleiches Strahlungsvermögen verschafft, einzelne nur desshalb schneller erkalten, weil sie auch bei Gleichheit der Temperatur und Gleichheit der spezifischen Wärme wegen ihrer geringeren Masse eine geringere Wärmemenge in sich enthalten. Würde man die spezifische Wärme statt, wie man gewohnt ist, auf gleiche Massen, auf gleiche Volumina beziehen, so würde sich bei den in Rede stehenden Versuchen eine ungefähre Proportionalität der wärmehaltenden Kraft und der so berechneten spezifischen Wärme ergeben. Die „wärmehaltende Kraft“ des Bodens ist mit

Wir brauchen daher dies Emissionsvermögen nicht weiter als einen die eigenthümliche Bodenwärme beeinflussenden Factor zu berücksichtigen.

Das bisher über das Verhalten des Bodens der Wärme gegenüber Gesagte noch einmal zusammenfassend, können wir also aussprechen, *dass dunkle, specifisch leichte und wasserarme Bodenarten sich in der Sonne am raschesten erwärmen, und dass wenigstens die letzteren beiden beim Aufhören der Bestrahlung am schnellsten erkalten*; in diese letztere Kategorie gehört auch Erde, die durch Behäufelung der Strahlung mehr zugänglich gemacht ist\*). Die dunkeln Böden haben dagegen an sich namentlich im Sommer eine erhöhte Durchschnittstemperatur, und das Gleiche gilt auch von den trockenen Böden wegen des Wärmeverlusts bei Wasserverdunstung der nassen. Umgekehrt können wir behaupten, *dass helle, specifisch schwere und wasserreiche Bodenarten sich in der Sonne am langsamsten erwärmen, und dass die letzteren beiden sich in der Nacht am langsamsten abkühlen\*\*)*. Dazu kommt, dass für die feuchten Bodenarten noch ein absoluter Wärmeverlust in Folge der Wasserverdunstung in Betracht kommt, *welcher ihre mittlere Temperatur noch weiter herunderdrückt*. Böden, mit einem feuchten Untergrund, in denen fortwährend Gelegenheit gegeben ist zur capillaren Leitung und Verdunstung, sind wohl die kältesten von allen.

Auf wie tiefe Schichten sich der Temperaturwechsel unter sich verändernden äussern Verhältnissen erstreckt, ist dann ausser von der Grösse dieses Wechsels noch von der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens abhängig, wobei die Möglichkeit der Circulation von Wasser in Betracht kommt.

*Böden von hoher Durchschnittstemperatur, aber von möglichst geringen Schwankungen*, welche also für den Pflanzenbau hinsichtlich der Wärmeverhältnisse am geeignetsten erscheinen, sind *trockene, dunkle\*\*)*, *von hohem specifischen Gewicht*, wie Basalt-, Melaphyr-, Dolerit-, Thonschiefer-Böden, so wie auch Sandböden in gutem Düngungszustande; und diese Eigenschaften werden noch eine Steigerung erfahren, wenn sie am Südhang gelegen sind. Auch die praktische Erfahrung lehrt, dass solche Böden für die Weinkultur, bei der es in unsern Klimaten vorzüglich darauf ankommt, eine möglichst hohe Temperatur zu erreichen, am meisten sich eignen.

*Böden von niedriger Durchschnittstemperatur aber von grossen Temperaturschwankungen würden solche sein, die mit einer hellen Farbe und grossem*

---

anderen Worten nichts anderes als die specifische Wärme gleicher Bodenvolumina, und man erhält annähernd gleiche Zahlen, wenn man die von Schübler gegebenen durch die entsprechenden specifischen Gewichte dividirt. Daraus geht zugleich nach kurzer Ueberlegung hervor, dass wasserreiche Bodenarten, welche zugleich schwerer sind als wasserarme, und eine grössere specifische Wärme als diese besitzen, eine grössere „wärmehaltende Kraft“ als diese, Humusböden die entgegengesetzten Extreme zeigen müssen.

\*) Vergl. Wollny: Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik Bd. III. p. 117.

\*\*) Dies wird auch durch die neueren Wollny'schen Versuche bestätigt, die freilich beweisen, dass dunkle Erden des Nachts nicht wärmer mehr sind als hellere unter übrigens gleichen Umständen.

\*\*\*) Vergl. auch Senft: Georgika Bd. I. p. 322.

*Wassergehalte ein kleines spezifisches Gewicht* vereinigten. Derartige Böden sind zum Glück selten. Am ersten würden diese Eigenschaften gleichzeitig in leichten, hellen und feuchten Dolomit- und feinen Kalkböden gefunden werden können. Am kältesten sind wohl im Bereiche des Grundwassers gelegene Thonböden. Am wechselndsten ausgetrocknete Moorböden.

Endlich kann es ein gewisses praktisches Interesse haben, die *absoluten Wärmemengen* kennen zu lernen, welche verschiedene Böden ganz unabhängig von der Temperatur in der Zeit der Ausstrahlung verlieren, denn hiervon wird im wesentlichen die nächtliche Temperatur der oberirdischen Pflanzentheile, z. B. der reifenden Trauben abhängig sein. Die *grössten Wärmemengen* werden offenbar Bodenarten abgeben, die *bei gleicher Temperatur am meisten Wärme besitzen* (die von grosser spezifischen Wärme) und die *am besten die Wärme leiten*, d. h. also vom Wassergehalt abgesehen, grobe Verwitterungsböden und Sandböden, weniger thonige und noch viel weniger humose Böden. Eigentliche Moorböden liefern im Gegentheil bei der nächtlichen Ausstrahlung in Folge schlechter Wärmeleitung und ihrer geringen Masse so wenig Wärme für die oberirdischen Pflanzentheile, dass dieselben in den Frühjahrsnächten eines kühlen Klimas dem Erfrieren ausgesetzt sind. Als praktische Belege hierfür sind die häufigen Frostschäden an Buchweizen und anderen Pflanzen auf Moorböden anzuführen und die Beschränkung derselben durch Aufführen von Sand\*).

Bei unsern bisherigen Betrachtungen haben wir ausser Augen gelassen, dass der Boden nicht unter allen Umständen selbst die strahlende Oberfläche zu bilden braucht, und hierdurch werden noch einige Modificationen in dessen Verhalten gegen die Wärme bewirkt, die für den Pflanzenwuchs unter Umständen von Wichtigkeit sind und eine kurze Besprechung erheischen.

Ich habe dabei vor allem die Wirksamkeit einer schützenden Schneedecke vor Augen. Diese letztere ist wegen ihrer äusserst porösen Beschaffenheit, die sie unsern Kleidungsstücken nicht unähnlich erscheinen lässt, ein sehr schlechter Wärmeleiter und verhindert daher eine äussere Abkühlung, sei es nun, dass eine solche durch Ausstrahlung gegen den klaren Himmel oder durch kalte Luftströmungen veranlasst wird, sich bis in die Erde fortzupflanzen. Auf diese Weise werden die im Boden befindlichen oder aus demselben etwas hervorragenden, aber gleichfalls vom Schnee bedeckten empfindlichen Pflanzentheile, z. B. die der Winterfrucht, auch bei sehr grosser Kälte vor dem Erfrieren geschützt, das ohne eine solche Schneedecke unfehlbar eintreten würde. Daher kommt es, dass der Landwirth zu Beginn des Winters den Eintritt des Frostes fürchtet, wenn nicht vorher Schnee gefallen ist\*\*). Eine ähnliche Rolle spielt bekanntlich die natürliche Streudecke im Walde.

---

\*) Vergl. hierüber die Bemerkungen Märcker's u. Landw. Jahrb. Bd. 4, 1875, p. 941.

\*\*) Bozet hat (Compt. rend. T. 40, p. 298) Beobachtungen über die Bodenwärme unter Schnee im Vergleich mit der eines von Schnee entblössten Terrains bei einer Lufttemperatur von mehreren Graden unter Null gemacht, woraus der im Text erläuterte Nutzen einer Schneedecke hervorgeht. Später sind dergleichen Versuche mehrfach wiederholt, ohne jedoch neue Gesichtspunkte zu Tage zu fördern.

Man sieht aus dieser Darstellung, dass der Schutz, welchen eine Decke von Schnee für angebaute Felder gewährt, durchaus derselben Natur ist wie das Einbinden in Stroh, Vergraben in Erde und überhaupt das Bedecken mit schlechten Wärmeleitern, von welchen gärtnerischen Massregeln wir früher gesprochen haben. Es ist dabei immer wieder daran zu erinnern, dass, wenn auch alle diese Schutzmittel nicht auf längere Dauer völlig vor niedrigen Temperaturen zu schützen vermögen, doch auf diese Weise alle raschen Uebergänge vermieden werden, und dass es bei der Erhaltung von Pflanzen bei niedriger Temperatur auch auf Vermeidung dieser Uebergänge sehr wesentlich ankommt\*).

Ausser der Wärme, welche die Ackererde von der Sonne empfängt, aber in so ausserordentlich verschiedener Weise verwerthet, kommen nun aber noch die eingangs dieser Vorlesung erwähnten beiden andern Wärmequellen in Betracht, *die Wärme, welche in Folge von chemischen Processen in der Ackererde entsteht, und die innere Erdwärme.*

Die erstere dieser beiden auf ihre Ergiebigkeit zu untersuchenden Quellen ist neuentstehende Wärme, welche bis dahin nicht als Wärme, sondern in Form von chemischer Spannkraft vorhanden gewesen ist. Unter den Substanzen, die wir in der Ackererde antreffen, besitzen nur *organische Stoffe* solche Kräfte in erheblichem Massstab, mag nun der Boden unter rein natürlichen Verhältnissen sich befinden, oder mag derselbe eine Düngung empfangen haben; und folglich werden wir nur organische Stoffe als möglicherweise wärmeerzeugend ins Auge zu fassen haben\*\*). Dieselben werden eine Wärmeerzeugung auf zweierlei Art bewirken können, einmal durch wirkliche Verbindung mit Sauerstoff, durch eigentliche Verbrennung. Der fortdauernde Sauerstoffverbrauch, den man durch Untersuchung der in den Poren der Ackererde enthaltenen Luft leicht beweisen kann, in einem guten, organische Reste enthaltenden Boden zeigt, dass eine solche Verbrennung thatsächlich stattfindet, und diese Verbrennung, z. Th. unter Einfluss von niedrigen Organismen, muss selbstredend mit Wärmeerzeugung verbunden sein. Zweitens wird eine solche Wärmeerzeugung stattfinden können durch Umlagerung der organischen Substanzen, ohne Zutritt eines von aussen stammenden Elements, wenn dadurch die vorhandenen Affinitäten in höherem Grade gesättigt werden, nach Analogie einer Gährungserscheinung ohne Sauerstoffzutritt. Derartige Erscheinungen treten z. B. in einem Misthaufen ein\*\*\*), der sich in seinem Innern durch einen hierhingehöri-

---

Fortsetzung zur Anm. \*) auf voriger p.: Nach den Untersuchungen von Fleischer (Biederm. Centralbl. 1885 p. 298) erhöht die Uebersandung selbst die Durchschnittstemperatur von Moorböden, was wohl auf den geringeren Wassergehalt der oberen Sandschicht zurückzuführen sein wird.

\*) Ich verweise hier auf das in der zweiundzwanzigsten Vorlesung Mitgetheilte. Ueber den Schutz einer Rasendecke gegen das Eindringen des Schnees in den Boden vergl. E. u. H. Becquerel: Compt. rend. T. 92, p. 1253. Vergl. auch E. Wollny: Der Einfluss der Pflanzendecke etc. Berl. 1877.

\*\*) Von der Wärmeerzeugung durch Wassercondensation soll in einer Anmerkung der nächsten Vorlesung andeutungsweise die Rede sein.

\*\*\*) Studien über diese Gährungserscheinungen, wobei grosse Mengen von Sumpfgas erzeugt wird, sind von Dehérain gemacht worden. Vergl. Compt. rend. 1884 T. 98 p. 377.



Vorgang stark erwärmt, scheinen aber mehr den sogenannten hochorganisirten Stoffen, welche sich noch, wie beispielsweise Zucker und Eiweiss, in der chemischen Form befinden, in der sie in den Organismen enthalten sind, eigenthümlich zu sein und den schon zersetzten, halbverwesten Substanzen, wie den Humusstoffen, nicht mehr zuzukommen. Wärmeentwicklung ohne eigentliche sichtbare Oxydation, wenn auch mit reichlicher Kohlensäurebildung, wird daher auf dem Ackerlande nur im frischgedüngten Zustande eintreten können. Es ist dieser Hinweis nicht ganz bedeutungslos, da gerade dieser Process rascher um sich zu greifen, wahrscheinlich durch seine eigene Wärmeentwicklung erheblicher gesteigert zu werden pflegt als die Oxydationserscheinung, und so mehr Wärme auf einen Schlag zu entwickeln, eine grössere Temperaturerhöhung als diese zu bewirken vermag.

Für beiderlei Vorgänge indessen, welche die im Boden enthaltene organische Substanz der Zerstörung entgegenführen, gilt der Satz, dass sie durch die Erhöhung der Temperatur selbst gesteigert werden, d. h. also, je höher schon die Temperatur ist, eine um so grössere Temperaturerhöhung sind sie zu bewirken bestrebt. Wir haben es also in der Wärmeerzeugung durch chemische Processe in der Ackererde nicht mit einem regulatorischen Vorgange zu thun, der Temperaturextreme mässigt und namentlich bei niedriger Temperatur, wo am meisten Wärmebedarf vorhanden ist, in Thätigkeit tritt, wie dies z. B. mit dem Verbrennungsprocess im Körper des höheren Thieres der Fall ist, sondern mit einem, der erst bei höheren Temperaturen ausgelöst wird und so *die Temperaturextreme verschärft*. Schon hieraus geht hervor, dass die Bedeutung dieser Wärmeproduction durch die Umsetzung und Verbrennung von organischer Substanz nicht allzu erheblich sein kann.

Dazu kommt weiter die *äusserst geringe Wärmequote*, welche bei der grossen Vertheilung der organischen Substanz durch die Ackererde und deren langsam verlaufende Zersetzung auch nach einer frischen Stallmistdüngung auf die Zeiteinheit fällt. Unsere Vorstellung von der erwärmenden Wirkung verwesender Stoffe ist meistens der Wahrnehmung einer sehr gesteigerten Temperatur in einem Misthaufen oder einem Mistbeete entnommen, wo der Verwesungsprocess durch Zusammenhäufung und die dadurch ermöglichte gegenseitige Temperatursteigerung ausserordentlich begünstigt wird. Es ist freilich ganz richtig, genau dieselbe Wärmemenge, die wir so bemerken, muss auch nach Vertheilung eines solchen Misthaufens über eine grosse Oberfläche nach und nach zum Vorschein kommen, aber es ist sehr fraglich, ob bei dem nun langsam verlaufenden Process, bei den nun ungünstigen Strahlungsverhältnissen von einer erheblichen *Temperaturerhöhung* die Rede sein kann. Man weiss ebenso mit voller Bestimmtheit, dass ein Baumstamm die gleiche Summe von Gesamtwärme entwickelt, ob ich ihn im Ofen verbrenne, oder ob ich ihn langsam im Walde vermodern lasse, und doch ist im letzteren Falle eine Wärmeentwicklung kaum bemerkbar, einfach, weil sie sich auf eine viel grössere Zeit vertheilt. Ganz ähnlich sind die Verhältnisse für die Verwesungserscheinungen in der Ackererde, nur dass hier noch mehr der vergrösserte Raum als die verlängerte Zeit auf Verkleinerung der Wärmequote wirkt. Man berechne einmal die Verbrennungswärme einer Durchschnittsdüngung und der durchschnittlich verbleibenden Wurzelrückstände und vertheile die erhaltene Wärmesumme auf ein ganzes Jahr

und auf ein ganzes Feld, und ich glaube, dass nicht viel für die Zeiteinheit übrig bleiben wird\*), auch wenn man günstige Wärmestrahlungsverhältnisse annimmt und ganz unberücksichtigt lässt, dass die Wärmeentwicklung just zu der Zeit eintreten wird, wo der Boden schon an sich warm ist\*\*).

Wenn trotz diesem Resultate, das mir ziemlich festzustehen scheint, dennoch von der erwärmenden Wirkung einer Stallmistdüngung gesprochen wird, so darf diese z. Th. nur bildlich genommen werden und so weit sie in Wirklichkeit besteht, weniger auf Kosten der chemischen Zersetzung des Stallmistes, denn auch für kürzere Verwesungszeiten würden jene Berechnungen noch ziemlich ungünstig ausfallen, sondern hauptsächlich auf die Aenderungen, die eine solche Düngung für die physikalischen Eigenschaften der Ackererde bewirkt, gesetzt werden. Es kommt hier der Schutz vor nächtlicher Wärmestrahlung, den eine obenaufgebrachte Stallmistdüngung zu geben vermag, hauptsächlich aber die dunkle Farbe in Betracht, welche die verwesenden Bestandtheile des Mistes nach kurzer Zeit annehmen, — Eigenschaften, die also in mehrfacher Weise für erhöhte Bodentemperatur sorgen.

Die *innere Erdwärme* endlich können wir mit einigen Worten abthun. Dass eine solche Wärmequelle besteht, ist nicht zu bezweifeln und braucht nicht erst aus der plutonistischen Hypothese hergeleitet zu werden, sondern geht einfach aus der bekannten Erfahrung hervor, dass beim Hinabsteigen in die Tiefe der Erdkruste unter allen Umständen eine wenn auch unregelmässige Temperatursteigerung beobachtet werden kann, sobald man einmal den Punkt, bis zu dem die Schwankungen der Sonnenwärme zu dringen pflegen, überschritten hat. Allein es kann ebenso wenig ein Zweifel darüber bestehen, dass bei den ungünstigen Wärmeleitungsverhältnissen der Erdkruste nichts Erhebliches von dieser inneren Erdwärme dem Pflanzenwuchs zu Gute kommt. Zudem ist die geringfügige Wärmequelle für alle Böden nahezu gleich ergiebig.

Es ist hier nur eines jener Ausnahmefälle Erwähnung zu thun, wo die gesteigerte Wärmeproduction in Folge eines localen geologischen Phänomens dem Pflanzenwuchs zu Gute kommt. Man erzählt z. B. von dem „brennenden Berge“ in Duttweiler, unter dem ein Steinkohlenflöz seit Jahren im Brand steht, und der in Folge dessen eine gesteigerte Temperatur besitzt, dass auf demselben mit Vortheil Kunstgärtnerien betrieben werden, und Aehnliches wird zweifelsohne von manchen vulkanischen Gegenden zu berichten sein. Allein dies ist eben ein Ausnahmefall, der das oben Ausgesprochene nur zu bestätigen vermag.

---

\*) Für diese Auffassung sprechen auch vollständig die Temperaturbestimmungen von Peters in Erden, denen vergleichungsweise verwesende Stoffe zugesetzt waren und nicht; vergl. Jahresber. f. Agrik.-Chemie 1862—1863, p. 6.

\*\*) Ich betrachte die ausführl. Arbeit von Fr. Wagner (Wollny's Forschungen, Bd. 5, p. 373) im Wesentlichen als eine experimentelle Bestätigung der im Texte mehr auf Grund der Herleitung aus Bekanntem dargestellten Sachlage.

## Einunddreissigste Vorlesung.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Bodenfeuchtigkeit.

Wir haben in der letzten Vorlesung hervorgehoben, dass unter denjenigen physikalischen Eigenschaften der Ackererde, welche für den Pflanzenbau von hervorragender Wichtigkeit sind, neben dem Verhalten gegen die Wärme ganz besonders *das Verhalten derselben gegen das Wasser* eine Beachtung verdient. Bei der Behandlung dieses Gegenstandes, dem die heutige Vorlesung gewidmet sein soll, werden wir manche Parallelstellen zu dem eben dargestellten Verhalten zu verzeichnen haben, wodurch uns die Raschheit des Ueberblicks über diese neuen Verhältnisse wesentlich erleichtert werden wird.

Wie ein Boden durch seine specifischen Eigenschaften im Stande ist, die Temperatur, welche den auf ihm wachsenden Pflanzen zu Gebote steht, sehr wesentlich abzuändern, und man desshalb von warmen und kalten Böden innerhalb eines und desselben klimatisch gleichen Länderstriches zu sprechen berechtigt ist, gerade so vermag er auch die Menge von Wasser, welche er den Pflanzen zur Verfügung stellt, selbstständig zu reguliren, und erwirbt sich durch diese specifischen Eigenthümlichkeiten den Beinamen eines *feuchten* oder *trocknen* Bodens innerhalb von Länderstrichen, die genau die gleiche Regenmenge besitzen.

Auch in Bezug auf diese Eigenschaften des Bodens haben wir, wie angedeutet, mehrere ganz verschiedene Factoren zu unterscheiden, aus denen sich das Gesamtverhalten gegen Wasser zusammensetzt. Wir können als solche nennen: *Die Wassercapacität*, die *capillare Wasserleitung* und die *Durchlässigkeit des Bodens für Wasser*.

*Das Condensationsvermögen des Bodens für Wasser*, welches seit Schübler noch neben den genannten Eigenthümlichkeiten regelmässig seine Stelle gefunden hat, ist endgiltig aus der Reihe der nützlichen Bodeneigenschaften zu streichen. Allerdings ist an der Thatsache nicht zu rütteln, dass die meisten trocknen Ackererden hygroskopische Eigenschaften in hohem Masse besitzen, sondern nur die praktische Verwerthbarkeit dieses Vermögens ist auf das Entschiedenste zu bestreiten. In jedem Falle aber bedarf der Gegenstand einer Erörterung.

Eine grosse Reihe fester Körper hat in sehr verschiedenem Grade die Fähigkeit, gasförmiges Wasser auf ihrer Oberfläche als tropfbare Flüssigkeit niederzuschlagen und mit einer gewissen Widerstandskraft vor der wieder eintretenden Verdunstung zu schützen. Es ist hier nicht unsere Aufgabe, die Wirkungsweise dieser Kraft zu untersuchen; es genügt, zu bemerken, dass die Anziehung, mit welcher wir es hier zu thun haben, mit den Adhäsionskräften zu derselben Flüssigkeit im Zusammenhang steht\*), mithin als eine Oberflächenwirkung erscheint, und

\*) Vergl. die wichtige Abhandlung von W. Thomson: Lond. Edinb. u. Dubl. Philos. Magaz. 1871, II. p. 448; auch meine Ausführungen: Landw. Jahrb. Bd. III, 1874, p. 785.

desshalb erst in sehr porösen Körpern erhebliche Werthe annehmen kann. Das auf diese Weise in porösen festen Körpern verdichtete Wasser verhält sich genau wie sonst capillar festgehaltenes Wasser und es erscheint sehr natürlich, dass man früher annahm, dasselbe könne geradeso von einer Pflanzenwurzel aufgenommen werden wie das durch den Regen oder durch Begiessen in die kleinen Zwischenräume des Bodens gelangte\*).

Versuche, ob natürliche und künstliche Bodengemische, wenn sie durch Pflanzen an Feuchtigkeit soweit erschöpft sind, dass diese stark nothleiden, in diesem Zustande, wo sie noch ansehnliche Mengen von Wasser in sich einschliessen, ein Condensationsvermögen besitzen, haben dagegen einer anderen Anschauung Platz gemacht.

Das potentiell bestehende Condensationsvermögen trockener Ackererden kommt unter den realen Verhältnissen zum Wohl der Pflanzen nicht in Betracht, weil diese im Verlaufe einer Periode grosser Trockenheit schon viel zu weit heruntergekommen sind, um davon Nutzen zu ziehen, noch ehe die Erden auf dem Condensationspunkt angekommen sind. Es steht damit wie mit einer wohlthätigen Sammlung zur Zeit einer Hungersnoth, nachdem dieselbe schon ihre Opfer gefordert hat. Was helfen die in Wahrheit vorhandenen wohlthätigen Bestrebungen, wenn sie naturgesetzlich erst post festum sich regen? — Im Gegentheile finden wir durch den Versuch, dass eine Ackererde *ceteris paribus* um so *weniger* Wasser den in ihr wurzelnden Pflanzen zur Verfügung stellt, je *grösser ihr Condensationsvermögen* ist, so dass man versucht sein könnte, diese Grösse oder vielmehr den bei der Verdunstung der Pflanzen noch gehegten Wasserrest, der aber in einer bestimmten Beziehung zu jener steht, als einen unangreifbaren, todtten Fonds von dem Wasservorrath einer Ackererde in Abzug zu bringen\*\*). Allein diese Correctur hat wenig praktische Bedeutung, da durch ein merkwürdiges Zusammentreffen die am stärksten conden-

\*) Der Beweis dieses Verhaltens schien durch einen sehr einfachen Versuch beigebracht zu sein. J. Sachs (vergl. dessen Handb. d. Exper.-Phys. d. Pfl. p. 174) hatte gezeigt, dass man in Blumentöpfen wachsende Pflanzen durch lange Perioden hindurch ohne Begiessen völlig turgescent erhalten kann, wenn man eine hygroskopische Bodenart wählt und diese durch eine leicht zu bewerkstellende selbstverständliche Vorrichtung in eine nahezu dampfgesättigte Atmosphäre bringt, die oberirdischen Pflanzentheile aber ausserhalb derselben lässt. Trotz der unter diesen Umständen ganz erheblichen Transpirationsgrösse scheint doch das so verbrauchte Wasser durch Condensation von Wasserdampf durch den Boden gedeckt werden zu können. — Das Resultat dieses Versuchs schien dann ausserdem bestätigt zu werden durch die jährliche Wasserbilanz einer natürlichen Ackerfläche, insofern diese wahrscheinlich machte, dass die Regenmenge, welche auf eine Ackerfläche niederfällt, obgleich sie weitaus nicht völlig von den auf dieser wachsenden Pflanzen ausgenutzt werden kann, ein geringeres Wasserquantum repräsentirt, als auf derselben Ackerfläche von diesen Pflanzen verdunstet wird. (Siehe Heiden: Düngerlehre p. 185; vergl. auch Schleiden: Für Baum und Wald. 1870, p. 46; ferner Pfaff: Naturforscher. 1871, p. 85, auch Landw. Versuchsst. Bd. 15, p. 103.) Aus alledem schien übereinstimmend zu folgen, dass die wasseranziehende Kraft des Bodens auch für unsere wasserreicheren Klimate nothwendig als ein Factor der Wasserzufuhr für die Pflanzen mitwirkt.

\*\*) Bestätigung dieser Auffassung durch die Arbeiten von M. Fleischer: Biederm. Centralbl. 1885, p. 297.

sirenden Ackererden auch meistens die von grosser Wassercapacität sind, und es vermuthlich Verwirrung anrichten würde, wollte man diese Bodenarten wegen einer im Grunde doch nicht sehr ausgiebigen Correction mit einem Makel in Bezug auf die Wasserversorgung belegen.

Hieraus ergeben sich natürlich auch Folgerungen für die Wasserbilanzen ganzer Ackerflächen\*). Im Durchschnitt wird ohne alle Widerrede von einer jeden Ackerfläche wahrscheinlich in allen Klimaten ungleich mehr verdunstet als condensirt, und wenn eine oberflächliche Bearbeitung den Boden in trockenen Perioden erstaunlich feucht erhält, so geschieht dies eben durch Abschwächung der ersteren, nicht durch Beförderung der zweiten Thätigkeit; und ebenso wirkt eine bodenbeschattende Pflanzendecke. Die Pflanzen sind also in ihrer Transpiration auf das niedergefallene Meteorwasser sammt Thau angewiesen und zwar nur auf den Bruchtheil dieser Wassermengen, der ihnen nach Abzug der selbstständigen Verdunstung der Ackererde und der in den Untergrund abfliessenden Wässer zur Verfügung bleibt\*\*). Soviel über das Condensationsvermögen\*\*\*).

Wichtiger wie das Condensationsvermögen (die wasseranziehende Kraft) ist für

---

\*) In der That hat neuerdings Haberlandt für Getreide sehr viel niedrigere Transpirationsgrössen auf Grund von Versuchen herausgerechnet als früher (siehe die vor. Anm.) angenommen. Vergl. Landw. Jahrb. 1876, p. 85. — Das Resultat des eben erwähnten Sachs'schen Versuches muss jedenfalls durch Thaubildung innerhalb der Erde, wozu durch unvermeidliche Temperaturschwankungen reichlich Gelegenheit gegeben ist, erklärt werden.

\*\*) Nach dem geführten Nachweis von der untergeordneten Bedeutsamkeit des Condensationsvermögens der Ackererde unter den natürlichen Verhältnissen haben natürlich auch die Angaben über die Grösse dieses Vermögens für die einzelnen bodenconstituierenden Bestandtheile das unmittelbare Interesse verloren, und wir übergehen daher jene von Schübler und dann namentlich von Knop mitgetheilten Versuchsreihen mit Stillschweigen. Nur so viel sei erwähnt, dass besonders die sehr porösen organischen Reste des Bodens und in zweiter Linie die thonigen Bestandtheile der Ackererde und nicht der Sand oder gar die Gesteinsfragmente der Sitz der Wasserverdichtung sind. Bei sehr humosen Erden kann sogar in Folge der Condensation eine sehr merkbare Wärme entwickelt werden. — Neben diesen Substanzen haben wir dann namentlich noch gewisse hygroskopische Salze, wie den salpetersauren Kalk, ins Auge zu fassen, durch deren Zuthat in geringen Mengen man Ackererden ein erhöhtes Condensationsvermögen verschaffen kann, während Auswaschen mit Wasser dem entsprechend in entgegengesetzter Richtung wirkt (W. Wolf: Landw. Jahrb. II. p. 415).

\*\*\*) Dass die sogenannte „wasseranhaltende Kraft“ Schübler's nicht der Ausdruck einer einheitlichen Thätigkeit, sondern eine complicirte Erscheinung ist, die sich aus sehr verschiedenartigen Thätigkeiten zusammensetzt, darauf habe ich schon in der ersten Auflage dieses Buches (B. II. p. 136) hingedeutet. Nur wenn man von der Kraft spricht, welche überwunden werden muss, damit die letzten Theile Wasser einer Erde an die Luft abgedunstet werden, also die Theile, welche durch den Condensationsvorgang erworben werden können, so hat man es mit einem einheitlichen Begriffe zu thun; aber diese Kraft ist mit dem Condensationsvermögen selber identisch, nur in der entgegengesetzten Richtung thätig. Die wasseranhaltende Kraft aber eines mit Wasser gesättigten Bodens ist so wenig eine einheitliche Erscheinung wie die Fähigkeit eines noch im Felsen festsitzenden Steines, den Berg hinunterzufallen. Die Austrocknung desselben ist von den Condensationskräften in ihren ersten Stadien durchaus unabhängig. Dies ist an sich klar und kann leicht durch Versuche demonstriert werden.

uns die früher sogenannte wasserfassende oder wasserhaltende Kraft, welche wir besser als *Wassercapacität* bezeichnen.

Auf den Doppelsinn des Begriffes einer wasserhaltenden Kraft oder einer Wassercapacität ist hier von vorneherein aufmerksam zu machen, weil die Nichtbeachtung desselben eine fruchtbare Behandlung verhindert. Da die Erfüllung der engen Hohlräume eines porösen Körpers davon abhängig ist, wie hoch die Wassersäulen sind, so ist offenbar die Menge von Wasser, welche in einem solchen Medium festgehalten wird, eine andere, wenn eine höhere oder niedrigere Säule von diesem Medium auf ihre Fähigkeit geprüft wird, Wasser in ihren Poren zurückzuhalten. Die Bestimmung dieses Vermögens ist früher in sehr kurzen Säulen von Erde vorgenommen worden, und auf solche beziehen sich die älteren Angaben über wasserhaltende Kraft; während die Verhältnisse in der natürlichen Ackererde fast durchweg solche sind, dass man es für das Pflanzenwachsthum mit den oberen Schichten relativ langer Erdsäulen zu thun hat. Wir können die wasserhaltende Kraft, auf die früher übliche Weise ermittelt, als *grösste* oder *volle Wassercapacität* bezeichnen und zunächst besprechen, welcher sodann eine praktisch ungleich bedeutungsvollere *kleinste* oder *absolute Capacität* gegenübergesetzt werden soll.

Auf Grund von Bekanntem lässt sich behaupten, wenn man die Wassercapacität, d. i. die Menge von einer Einheit Erdmasse aufgenommenen Wassers auf gleiche Volumina bezieht, so werden einfach *die Summen der capillaren Hohlräume der Volumeneinheit, ausgedrückt in dem Gewichte der sie erfüllenden Wassermassen, diese Grösse ausdrücken*. Wenigstens wird dieser Satz richtig sein, sofern wir von der auch bei manchen Erden beobachteten Volumveränderung in Folge der Anfeuchtung absehen. Bei dieser Ausdrucksweise ist nur noch unklar, was unter capillaren Hohlräumen zu verstehen ist, denn capillar bedeutet hier nichts als zur capillaren Flüssigkeitsaufsaugung befähigt, und bekanntlich ist diese Aufsaugung abhängig von den Anziehungskräften zwischen Flüssigkeit und Wandsubstanz, so dass nothwendig beim Variiren mit der aufzusaugenden Flüssigkeit und der Wandsubstanz auch der Begriff eines Capillarraums ebenso variiren muss\*). — Factisch liegt nun glücklicherweise die Sache wesentlich einfacher, obgleich diese Betrachtung für eine einigermaßen gründliche Erörterung des Gegenstandes unerlässlich erscheint. Die in Frage kommende Flüssigkeit ist zunächst nur *Wasser* (oder diesem in Bezug auf Molekularwirkungen sehr nahestehende verdünnte Lösungen), also eine einzige Flüssigkeit; und für diesen vereinfachten Fall lehren die bis dahin über Capillaraufsaugung ausgeführten physikalischen Untersuchungen, dass, wenn die Wandsubstanz nur *benetzbar* ist, die capillaren Hubhöhen nur abhängig sind von der Weite der verwendeten Röhren, nicht aber von der sonstigen Natur der Wandsubstanz. Man hat wohl gesucht, diese theoretisch kaum vorauszusehende Thatsache sich so zurecht zu legen, dass man annahm, in einer jeden benetzungsfähigen Röhre würden zunächst nur die Wände mit einer sehr dünnen Wasserhaut von sehr grosser Höhe überzogen, in welcher Wasserröhre alsdann erst die eigentliche capillare Aufsaugung

\*) Die Abhängigkeit der Wassercapacität von der Capillaranziehung erhellt auch daraus sehr deutlich, dass jene, wie Haberlandt gezeigt hat, mit der Temperatur des Wassers sehr abnimmt.

eines soliden Wassercylinders begönne, der nun natürlich gleichen Anziehungskräften unterliegend auch eine gleiche Höhe annehmen müsse. Aber auch andere theoretische Betrachtungen führen ohne grossen Zwang zu einem ähnlichen Ergebniss.

Wir haben uns hier mit der empirisch erhärteten Thatsache abzufinden und allein die Frage aufzuwerfen, ob die gewöhnlichen Ackerbodenconstituenten benetzungsfähig sind, worauf wir, von einigen sehr seltenen und praktisch unwichtigen Fällen abgesehen, mit Ja antworten können. Folglich würde ein Capillarraum thatsächlich bei verschiedenen gearteten Böden einerlei Bedeutung haben. Bei gleichartiger Gestaltung der Gesteinstrümmer und mithin der zwischen ihnen befindlichen Hohlräume ist also die mineralische Natur jener nicht von Bedeutung für die wasserhaltende Kraft. Wir können diesen Satz auch wie folgt formuliren:

1. *Die volle Wassercapacität feiner erdartiger Gemische ist eine Function der relativen Raumerfüllung der festen Bodenelemente.*

Praktisch wird sich bei einem sehr feinen Bodengemische, das also lediglich capillare Hohlräume von solcher Enge in sich einschliesst, dass bis oben hin die Schwere des Wassers durch die Adhäsionskräfte überwunden wird, die Wassercapacität auf das Volum — sie auf gleiche Gewichte zu beziehen, gibt ohnehin ein schiefes Bild von der Sache\*) — einfach *aus dem specifischen Gewicht der einzelnen Bodenelemente* (d. i. das specifische Gewicht des Bodens nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise) und aus dem *scheinbaren specifischen Gewicht des Bodens* (auch genannt dessen Volumgewicht) berechnen lassen. Die letztere Grösse von der ersteren abgezogen, gibt eben die Summe jener Hohlräume an, gemessen an dem specifischen Gewicht der Bodenelemente. Wenn wir also die so erhaltene Differenz durch diese letztere Grösse dividiren, so haben wir die Wassercapacität selber. Wenn C die Wassercapacität ist, G das scheinbare specifische Gewicht des Bodens, G<sub>1</sub> das wirkliche der Bodenelemente, so ist

$$C = \frac{G - G_1}{G_1} = 1 - \frac{G}{G_1}.$$

Am meisten empfiehlt sich dabei die procentische Ausdrucksweise, wonach der gefundene Ausdruck mit 100 zu multipliciren wäre. — In Volumina ausgedrückt ist die Wassercapacität unabhängig von dem specifischen Gewichte der Bodenelemente, da die Grösse C der Grösse G<sub>1</sub> proportional ist.

Mit dieser berechneten Wassercapacität lässt sich, wie gezeigt worden\*\*), die Erfahrung in guten Einklang bringen, indem bei sehr verschiedenen Mineralpulvern die Rechnung mit dem Ergebniss der Versuchsanstellung stimmt. Durch Versuche lässt sich dann auch der Satz erhärten:

2. *Die volle Wassercapacität erdartiger Gemische steigt im Allgemeinen mit der Feinheit des Pulvers*, weil der Zufall hier seltener die günstigste geometrische Ineinanderfügung gewährt, *ferner mit der gleichmässigeren Korngrösse des Pulvers*, weil hierbei eine Zwischenlagerung kleinerer

\*) Der Schöpfer unserer bisherigen Anschauungen über das Verhalten der Ackererde gegen Wasser, Schübler, hat noch ein erhebliches Gewicht auf die Volumenbeziehung gelegt und nur von den Nachfolgern ist dieser Gesichtspunkt leider mehr und mehr in den Hintergrund gedrängt worden. Vergl. Schübler: Grunds. d. Agrikulturchemie 1838, p. 66.

\*\*) Landw. Jahrb. Bd. III, 1874, H. 5.

Theilchen nicht möglich ist, *endlich natürlich mit der Porösität der festen Elemente.*

Die Verschiedenheit der vollen Wassercapacität für Feinerden kann also nur aus *drei* Gesichtspunkten erklärt werden. Entweder durch *verschiedene Feinheit der Bodenelemente*. Feine Partikelchen sind schwieriger zur günstigen Aneinanderlagerung zu bringen. Aus diesem Grunde werden Thonböden, deren Elemente durch chemische Verwitterung in feinste Trümmer zerschlagen sind, eine etwas grössere volle Wassercapacität zeigen als feine Sandböden.

Oder durch *ungleichartige Mischung verschiedener Korngrössen*, weil die kleineren Theilchen sich in die grösseren Lücken hineinlagern. Aus diesem Grunde werden am Orte ihrer Entstehung verbliebene Verwitterungsböden aus Mengegesteinen eine geringere Wassercapacität zeigen, als verschwemmte Böden mit derselben mittleren Korngrösse, also z. B. feinere Sandböden.

Endlich durch *verschieden starke Porösität der Bodenelemente*. Böden, die poröse Theilchen in sich enthalten, werden im Allgemeinen eine grössere Wassercapacität besitzen als solche mit durchaus massiven Theilchen. Hieraus erklärt sich die verhältnissmässig grosse wasserhaltende Kraft humoser Böden mit noch unvollständig verwesenen Pflanzenresten, Böden aus Kalksinter-ähnlichen Mineralien etc. So beschaffene Böden können — entgegengesetzt der vorhin gegebenen Regel — natürlich durch feine Zertrümmerung an Lockerheit einbüssen und dadurch dann auch die wasserhaltende Kraft eine Einbusse erleiden. Solche Fälle sind mehrfach constatirt worden\*).

Alle diese Umstände sind indessen in der Natur nicht verschieden genug, um die in der Praxis wahrgenommenen sehr grossen Unterschiede in der Wassercapacität natürlicher Ackererde hervorzurufen.

Die Schübler'schen Zahlen\*\*), die noch immer in erster Linie als demonstratives Material dienen, sind beispielsweise in unserer Weise ausgedrückt:

|               |         |
|---------------|---------|
| Quarzsand     | 37,9 ‰, |
| Kalksand      | 44,1 „  |
| Gyps          | 38,2 „  |
| lettiger Thon | 51,4 „  |
| reiner Thon   | 62,9 „  |
| Humus         | 69,8 „. |

Humussubstanzen und Ackererden, denen solche beigemischt, erheben sich nur deshalb zu einer so erheblichen, die des Sandes beinahe um seine eigene Grösse übersteigenden Höhe, weil wir es hier mit der Beimengung von porösen Theilen zu thun haben. Natürliche Thone und thonreiche Erden zeigen in manchen Fällen ein ähnliches Verhalten, weil wir es mit äusserst feinen, aber doch gleichmässig grossen Theilchen zu thun haben, die unter gewöhnlichen Umständen nur locker auf einander gelagert sind, oder durch die Wassertheilchen selber aus einander gehalten werden. Quarzsand, Kalksand und Gypserde zeigen eine fast gleich grosse Wassercapacität.

\*) Vergl. z. B. A. Vogel: Landw. Centralbl. 1858, I. p. 430.

\*\*) Nach meinen Versuchen mit Mineralpulvern waren die Zahlen in allen Fällen nicht sehr verschieden, und man möchte auf Grund von ihnen aussprechen, dass die volle Wassercapacität gewöhnlicher mineralischer Feinerden sich nicht gar weit von 40% entferne.



Eine eingehendere Berücksichtigung als die bei allem Verdienst der Initiative doch antiquirten Zahlen von Schübler verdienen, behufs einer Vergleichung, die Ergebnisse der Meister'schen Versuchsanstellungen, schon weil wir es hier mit ihrer Constitution nach genau definirten Bodenarten zu thun haben. Nach Meister absorbirten:

|                                                   |                                          |
|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Thonboden                                         | 50,0 <sup>0</sup> / <sub>100</sub> Vol., |
| Lehmboden                                         | 60,1 " "                                 |
| Humusboden                                        | 70,3 " "                                 |
| Torfboden                                         | 63,7 " "                                 |
| Gartenerde                                        | 69,0 " "                                 |
| Kalkboden                                         | 54,9 " "                                 |
| Kreideboden                                       | 49,5 " "                                 |
| Gypsboden                                         | 52,4 " "                                 |
| Sandboden (82 <sup>0</sup> / <sub>100</sub> Sand) | 45,4 " "                                 |
| Sandboden (64 <sup>0</sup> / <sub>100</sub> Sand) | 65,2 " "                                 |
| Quarzsandboden                                    | 46,4 " " .                               |

Die Zahlen sind für die rein mineralischen Bodenarten in der That nicht sehr verschieden; und zwar bieten die Sandböden, die Thonböden und die Kalkböden unter sich je nach ihrer näheren Constitution ungefähr die gleichen Unterschiede dar, und nur die drei verzeichneten humosen Böden zeigen beinahe durchweg etwas höhere Zahlen, was aus schon erörterten Gründen leicht verständlich ist.

Nachdem wir so die wasserhaltende Kraft im älteren Sinne des Wortes erörtert haben, ist es an der Zeit, darauf aufmerksam zu machen, dass dieselbe für die praktischen Verhältnisse in der Ackererde nicht allein massgebend ist. Man hat bisher eine derartige Bestimmung hauptsächlich desshalb vorgenommen, weil die Bestimmung der Wassercapacität in sehr niedrigen Säulen von Erde am bequemsten war, und man zu beachten unterliess, dass die Höhe dieser Säulen von erheblichem Einfluss auf das Resultat ist. Es ist aber sehr leicht zu ersehen und geht z. Th. auch aus unserer bisherigen Darstellung hervor, dass in unserer Ackererde, selbst wenn diese nur bis zur Tiefe einiger Zolle kultivirt sein sollte, der Regel nach sehr hohe Säulen von porösen Medien zur Wirksamkeit kommen. Ausnahmen gibt es freilich, wo z. B. das Horizontalwasser nahe der Oberfläche sich befindet, oder wo undurchlässige Schichten vorhanden sind. Ackererden der Art spielen eine ganz besondere Rolle dem Wasser gegenüber und bleiben einstweilen ausser Beachtung.

Sehr deutlich wird das angedeutete Verhältniss, wenn man längere senkrecht aufgestellte Röhren, welche nach unten mit Filtrirpapier oder Leinwand geschlossen sind, mit verschiedenen Erden füllt und eine überschüssige Menge von Wasser oben aufschüttet. Man kann dann deutlich sehen (oder im zweifelhaften Falle durch Vornahme von Wasserbestimmungen leicht constatiren), dass in den untersten Schichten sich capillare Wassersäulen halten, während sie oben abfliessen. Dies gilt, wie ausdrücklich bemerkt werden muss, nicht allein für den Fall, dass die Röhren unten in Wasser eintauchen, wo das Resultat als ein nach den bekannten Capillaritätsgesetzen selbstverständliches erscheint, sondern auch bei Vornahme des Versuchs in

freier Luft. Dieser Fall ist es sogar, den ich der praktischen Verhältnisse halber vorzugsweise ins Auge fasse\*).

Während dabei in den höheren Schichten einer grösseren Erdmasse, bis zu welcher capillare Wassersäulen nicht mehr hinauftragen, eine volle Unabhängigkeit von der Natur und den Zufälligkeiten des unteren Abschlusses sich zeigt und daselbst auch unabhängig von den weiteren Verschiedenheiten der Höhe eine constante Wassercapacität gefunden wird, ist dies für die untersten Schichten nicht der Fall.

Nach dem Gesagten ist nun leicht zu verstehen, warum wir neben einer Wassercapacität, in der erst besprochenen Weise ermittelt, eine *absolute* oder *kleinste Wassercapacität* zu unterscheiden haben, welche oberhalb der Ausdehnung jener continuirlichen capillaren Wassersäulen festgestellt werden muss. *Absolut*, weil sie nur abhängig ist von der Natur des das Wasser zurückhaltenden porösen Mediums, — *kleinst*, weil sie das Minimum von Wasser ist, welches von ihm unter allen Umständen beim Darbieten eines Ueberschusses festgehalten wird.

Worauf dabei besonders hingewiesen werden muss, das ist der praktische Werth der Ermittlung dieser absoluten Wassercapacität, weil auf den in guter Kultur stehenden Ackerflächen die Verhältnisse ganz augenscheinlich so liegen, dass im Wesentlichen von dieser Eigenthümlichkeit die Ausnutzung einer gefallenen Wassermenge abhängig ist\*\*).

Was dann den praktischen Werth dieser Begriffsunterschiede angeht, so erscheint derselbe nicht gar gross, wenn man nur mit sehr feinen Bodenarten zu thun hat, bei denen allerdings die Bestimmung auf die eine oder die andere Weise nicht viel dazu beiträgt, die Resultate zu verändern. Die Bestimmung der absoluten Wassercapacität tritt aber in ihr Recht, sobald man zu groben kiesigen Bodenarten übergeht. Sie zeigt in diesem Falle die jedem Praktiker geläufigen Unterschiede für die verschiedenartigen Bodenarten, welche bisher grösstentheils nur auf künst-

---

\*) Dies letztere Verhalten ist freilich nicht so unmittelbar aus den bekannten physikalischen Gesetzen abzuleiten, aber wir wissen von hier Einschlagendem, dass die Höhe freier capillarer Wassersäulen von der Gestalt der dieselben nach oben und unten abschliessenden Menisken abhängig ist, und dass diese unter Anderem von der Beschaffenheit der porösen Medien an der Stelle, wo der Meniscus sich bildet, bestimmt wird. Man erkennt hieraus, dass die Natur der Scheidewand (Leinwand, Filtrirpapier, Drahtnetz), welche das Herausfallen der Erde nach unten verhindert, für die Länge der Wassersäulen, welche bestehen bleiben, gar sehr in Betracht kommen muss, sowie dass auch Zufälligkeiten bei der Gestaltung der Menisken eine Einwirkung in gleichem Sinne besitzen müssen.

\*\*) Für einige Bodenelemente wurde die absolute Wassercapacität von mir bestimmt. Glasröhren von etwa 1,7 cm Weite wurden unten mit Leinwand zugebunden und einen Meter hoch mit den Gesteinspulvern, die mässig festgerüttelt wurden, angefüllt. Die Glasröhren bestanden aus 2 Stücken, welche mit einem kurzen Stück Kautschukröhre aneinander befestigt wurden. Das untere Stück war nahe 0,75 M. lang, so dass noch 0,25 M. des oberen Stückes mit Pulver angefüllt war. So beschickt wurde rasch viel Wasser oben aufgegossen und zwar so viel, dass vorübergehend die Gesamtwassercapacität der ganzen Erde in Anspruch genommen war. Dann wurde gewartet, bis das überschüssige Wasser völlig abgeflossen war, sogleich der Kautschukverband geöffnet, dort von der befeuchteten Erde herausgenommen, gewogen und nach dem Trocknen bei 100° wieder gewogen. Die so auf das Gewicht sich

liche Weise (wie durch Zugrundelegen des Gewichts als Einheit) construirt werden konnten; und es leuchtet ein, wie gross die Unterschiede z. B. für Sand- und Thonböden, für welche Meister nach seinen zuverlässigen Bestimmungen der vollen Wassercapacität gar keine durchgehenden Unterschiede auffinden konnte, ausfallen werden. Ein grober Sandboden nähert sich meinem Quarzboden von 0,3—0,9 mm (siehe Anmerkung auf voriger Seite), ein ächter Thonboden meinem Thonsteinboden, Korngrösse unter 0,3 mm. Der erstere hat eine absolute Wassercapacität von 13,7 % Vol., der letztere von 40,9 % Vol. Dies sind Unterschiede, beim Anblick derer der Praktiker ausrufen wird, das ist es, was wir beobachten.

Was die Methode betrifft, so habe ich später die folgende am einfachsten gefunden: Ein prismatisches Zinkgefäss mit Siebboden von  $\frac{1}{4}$  Quadratdecimeter Grundfläche und 20 cm Höhe (das also  $\frac{1}{2}$  Liter Erde fasst) wird erst zur Hälfte mit Erde gefüllt (unter Aufstampfen), dann Wasser übergossen, bis dies unten abläuft; dies alles ohne zu wägen. Dann wird gewogen, mit trockener Erde weiter gefüllt, wieder gewogen, bis zur Sättigung Wasser übergossen und zum dritten Male gewogen. Das ermittelte Wassergewicht zum ermittelten Erdgewicht gibt die absolute Wassercapacität zunächst aufs Gewicht und kann dann leicht mit Hülfe des Volumgewichts aufs Volum ausgedrückt werden\*).

ergebende Wassercapacität wurde dann mit Hülfe des Volumengewichts des Pulvers auf die Volumeneinheit umgerechnet.

So fand ich für Quarz

|            |          |           |             |             |
|------------|----------|-----------|-------------|-------------|
| Korngrösse | 0,9—27mm | 0,3—0,9mm | unter 0,3mm | Durchmesser |
|            | 7,0 %    | 13,7 %    | 44,6 %      |             |

und für die gleiche Korngrösse bei verschiedenen Mineralpulvern

|        |                         |            |         |
|--------|-------------------------|------------|---------|
|        | Korngrösse 0,3—0,9mm.   |            |         |
| Quarz. | Thonstein.              | Kalkspath. | Holz.   |
| 13,7 % | 24,5 %                  | 11,7 %     | 45,6 %. |
|        | Korngrösse unter 0,3mm. |            |         |
| Quarz. | Thonstein.              |            |         |
| 44,6   | 40,9.                   |            |         |

Damit will ich die volle Wassercapacität in einigen Fällen zusammenhalten:

|                 |                       |            |         |
|-----------------|-----------------------|------------|---------|
|                 | Korngrösse 0,3—0,9mm. |            |         |
| Wassercapacität | Quarz.                | Thonstein. | Holz.   |
| voll            | 49,0 %                | 46,8 %     | 76,4 %  |
| absolut         | 13,7 „                | 24,5 „     | 45,6 „  |
|                 |                       |            | 11,7 „. |

Man erkennt also, dass die absolute Wassercapacität in diesen Fällen wirklich sehr beträchtlich kleiner ist als die volle Wassercapacität; ferner, dass die absolute Wassercapacität verschieden fein und verschieden poröser Bodentheilchen ausserordentlich und in einem bestimmten Sinne verschieden ist, während für die volle Capacität das erste Moment gar keinen einheitlichen, das zweite keinen sehr erheblichen Einfluss besitzt. Diese blosse weitere Zertrümmerung ist z. B. im Stande, dem Quarz innerhalb weniger Siebnummern die sechsfache absolute Capacität zu verschaffen. Natürlich, denn für diese Capacität kommen allein die feineren Capillarräume, die hier häufiger vorhanden sind, nicht bloss das Gesamtvolumen der Hohlräume in Betracht, weil sich nur in jenen die discontinuirlichen capillaren Wassersäulen zu halten vermögen.

\*) Details und Vorsichtsmassregeln findet man in den Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik Bd. III, p. 150 beschrieben.

Endlich möchte ich darauf hindeuten, dass die absolute Wassercapacität noch eine andere praktische Bedeutung besitzt, die nicht sogleich ins Auge fällt. Diejenigen Hohlräume nämlich, welche bei der Sättigung der Erde mit Wasser leer bleiben, werden natürlich mit Luft erfüllt sein, und die Grösse dieser Räume in der Volumeneinheit der Erde wird ein Mass derselben, zumal in feuchten Klimaten, wo es sich häufig um eine Ausnutzung der Wassercapacität handelt, für die Durchlüftung abgeben und damit für eine Reihe wohlthätiger directer und indirecter Einflüsse auf die Vegetation. Wenn wir das Volumgewicht der trockenen Erde zugleich mit der absoluten Wassercapacität von dem Volumgewicht der nassen Erde abziehen, so erhalten wir eine Zahl, welche jene luftgefüllten Hohlräume in Wassergewichten misst, also zugleich die Anzahl von Cubikcentimetern Luft darstellt, welche in der Volumeinheit Boden im Minimum nach einer vollkommenen Anfeuchtung noch vorhanden sind. Man kann diese Grösse als *Luftcapacität* bezeichnen. Uebrigens kommt der praktische Agrikulturchemiker selten in die Lage, die eine oder die andere dieser Bestimmungen zu thun, da man durch den blossen Anblick eines Bodens einen genügenden Einblick darüber gewinnt, ob derselbe eine grosse Wassercapacität besitze, und die Luftcapacität steht zu dieser Grösse ja in directer (umgekehrter) Beziehung.

Was die Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit durch die Wassercapacität angeht, so kann ungefähr Folgendes gesagt werden:

Die Wassercapacität wirkt freilich nicht regulirend (sie drückt ja nur die Grösse aus, mit der eine Bodenart den gefallenen Regen auszunutzen vermag) und es ist von vorneherein klar, dass eine grosse Wassercapacität des Bodens in einem regnerischen Klima, in einer feuchten Jahreszeit vielleicht schädlich wirken mag, während sie im Allgemeinen und besonders in einer regenarmen Gegend oder Periode nur nützlich ist.

Um aber ein vollständiges Urtheil zu haben, ist es nöthig, etwas näher auf die Nachtheile einzugehen, die eine zu grosse oder eine zu geringe Menge von Wasser in der Ackererde zur Folge haben. Die Nachtheile, welche eine zu grosse Trockenheit der Ackerkrume für den Pflanzenbau mit sich bringt, liegen auf der Hand. Kennen wir ja doch aus unseren Untersuchungen im theoretischen Theil dieses Werks die hohe und mannigfaltige Bedeutung des Wassers für das Pflanzenleben. Dasselbe ist nicht bloss Nahrungsmittel der Gewächse, sondern auch das unentbehrliche Transportmittel für weitaus den grössten Theil aller andern pflanzlichen Nährstoffe, und sogar die Production von organischer Trockensubstanz ist innerhalb gewisser Verhältnisse von der Menge zugeführten Wassers abhängig (Hellriegel). Es ist daher nicht nöthig, auch nur ein Wort über die Schädlichkeit einer hervorragenden Trockenheit einer Ackererde für den Pflanzenbau zu verlieren.

Um so merkwürdiger erscheint uns auf den ersten Blick die Möglichkeit eines schädlichen Wasserüberflusses. Wissen wir doch, dass — ganz abgesehen von der Lebensweise vieler Sumpfpflanzen — unsere Kulturgewächse ganz vortrefflich fortgebracht werden können, wenn man sie in wässrigen Lösungen geeigneter Zusammensetzung erzieht, wo also ihre ganze Wurzel einzig und allein mit tropfbarer Flüssigkeit in Berührung ist, und feste Erdtheilchen ganz und gar ausgeschlossen sind.

Indessen kann uns auf die Dauer nicht verborgen bleiben, dass die Verhältnisse

in einer solchen Nährstofflösung wesentlich anderer Natur sind als in einer mit Wasser übersättigten Ackererde, einfach weil dort die Aufmerksamkeit des Versuchsanstellers dafür Sorge trägt, dass die Uebelstände, welche hier unfehlbar zu Tage treten, beseitigt werden. Als solche Uebelstände machen sich kenntlich *die durchschnittlich niedrige Temperatur*, welche nassen Bodenarten nach unsern Auseinandersetzungen in der letzten Vorlesung eigenthümlich ist, und die überall da für das Pflanzenwachsthum schädliche Folgen haben wird, wo es sich um kühle Klimate und wärmebedürftige Kulturen handelt; weiter *die grosse Verdünnung der Nährstofflösungen im Boden*. Dann ist in einer mit Wasser stets gesättigten Ackererde, in der alle Poren mit Wasser gefüllt sind, und keine mehr für die Circulation von Luft übrig bleiben, der Zutritt des Sauerstoffs mehr oder minder ausgeschlossen oder, wie wir das soeben ausgedrückt haben, es ist keine genügende Luftcapacität vorhanden, und wenn wir auch vielleicht noch nicht das Recht haben zu behaupten, dass die so verringerte Sauerstoffmenge nicht für den Sauerstoffbedarf der Pflanzenwurzel, die ja wie alle vegetirenden Pflanzentheile eine Athmung unterhält, genüge, da es eine grosse Reihe von Pflanzen gibt, die trotz diesem Zustande der Ackererde recht wohl gedeihen, so können wir doch mit Bestimmtheit aussprechen, dass weitaus die meisten unserer Kulturgewächse in einem solchen Boden aus andern Ursachen leiden. In den mit Wasser durchtränkten Böden schlägt die Verwesung der in der Erde enthaltenen organischen Substanzen eine schädliche Richtung ein. Es bilden sich die sogenannten sauren Humuskörper von chemisch nicht näher studirter Beschaffenheit, dabei werden gleichzeitig Eisenoxydsalze reducirt zu Oxydulsalzen — Veränderungen, wie wir sie z. B. in den Moorböden antreffen, und von denen wir so viel mit Gewissheit sagen können, dass sie von den meisten unserer Kulturgewächse nicht ertragen werden.

Die geschilderte Erscheinung ist in der Praxis nur zu gut bekannt. Eine Wiese, die an irgend einer Stelle dauernd mit Wasser durchtränkt ist, zeigt an derselben eine ganz andere, schon von weitem zu erkennende Vegetation, die der „sauren“ Gräser — (nach den Eigenschaften des Bodens, auf dem sie wachsen, so genannt). Diesen Gräsern, denen kein erheblicher Futterwerth\*) zukommt, ist also die so veränderte Beschaffenheit des Bodens nicht schädlich. Ebenso gedeiht von den Kulturgewächsen der Reis und auch wohl das Zuckerrohr auf einem solchen mit Wasser imprägnirten (sumpfigen) Terrain, z. Th. weil diese Pflanzen in den weiten Hohlräumen ihrer Stengel und Wurzeln einen genügenden Vorrath von athembarer Luft antreffen; alle übrigen Kulturpflanzen und also alle unsere heimischen Kulturgewächse gehen in einem solchen zu Grunde.

Aus dieser Darstellung ist erkenntlich, dass auch ein Uebermass von Wasser im Boden schädlich zu wirken vermag. Die Eigenschaft eines Bodens, sich beim Regen sehr vollkommen mit Wasser zu sättigen, erscheint somit als ein zweifelhafter

---

\*) Einen Zusammenhang zwischen diesem geringen Futterwerthe mit der Eigenschaft, bei Ausschluss der Luft leben zu können, hat auf den Rath des Verfassers E. Freiberg aufzuspüren unternommen. Die betreffende Arbeit (vergl. Landw. Versuchsst. Bd. 23, p. 463) ist indessen nicht zum völligen Abschlusse gekommen.

Vortheil, und man sollte meinen, dass es ganz von klimatischen Bedingungen und örtlicher Lage abhängen müsse, ob in dieser Eigenschaft ein Vortheil oder ein Nachtheil zu ersehen wäre. Indessen ergibt die praktische Erfahrung, dass selbst in einem von Natur so feuchten Land wie Holland die Wassercapacität der natürlichen Erden niemals so gross wird, dass allein dadurch etwas von diesen geschilderten Uebelständen eintreten könnte. Die Schädigung tritt erfahrungsgemäss erst dann ein \*) wenn durch die Anwesenheit von undurchlässigen Schichten *stehendes* Wasser im Boden erscheint — ein Gegenstand, den wir nun mit in das Bereich unserer Betrachtungen ziehen wollen.

Unter Durchlässigkeit des Bodens für Wasser versteht man die Filtrationsfähigkeit namentlich der tieferen Bodenschichten, welche es verhindert, dass ein Boden sich über seine Wassercapacität hinaus mit Wasser sättigt.

Ein constituirender Bestandtheil der Ackererde hat nämlich im reinen Zustand die entgegengesetzte Eigenschaft und theilt dieselbe manchen Bodenarten mit, welche vorwiegend diesen Bestandtheil enthalten. Reiner *Thon* hat bekanntlich die eigenthümliche Fähigkeit, mit etwas Wasser zusammen eine sogenannte „plastische“ Masse zu bilden, eine Masse, welche die eingeschlossenen Wassertheilchen mit solcher Energie festhält, dass es auch einem sehr bedeutenden hydrostatischen Drucke nicht gelingt, dieselben durch andere Wassertheilchen zu verdrängen. Jedenfalls hängt diese Eigenschaft mit der grossen Enge der Poren zusammen; denn es ist bekannt, dass ein und derselbe thonige Boden um so undurchlässiger wird, je enger sich seine Theilchen an einander schliessen, und vermuthlich kann selbst die Undurchlässigkeit als der bis ins Unendliche vermehrte Filtrationswiderstand in Folge der dicht aneinander schliessenden reibenden Flächen aufgefasst werden.

Solche thonige Massen treten häufig da im Untergrund auf, wo der Boden unter wechselnden Bedingungen aus süssem Wasser sich abgesetzt hat. In den oberen Bodenschichten ist alsdann schon durch die mechanische Bearbeitung des Ackerlandes eine Vermischung der verschiedenen Schichten eingetreten; in den unteren dagegen kann z. B. Sand und Thon in wechselweisen Lagen vorhanden sein, und der Boden ist alsdann ein undurchlässiger. Oder man hat es auch wohl mit einem durch und durch thonigen Boden zu thun, z. B. mit einem Kleyboden, der durch seine ganze Masse ein ziemlich undurchlässiger ist und nur in der bebauten Schicht durch Bearbeitung, Vermischung mit Pflanzenresten, oder geradezu durch Ueberführen mit Sand seine plastische Beschaffenheit einigermassen verloren hat.

Wie wird sich nun ein solcher undurchlässiger Boden durch die Eigenthümlichkeit seiner Wasseraufspeicherung dem Pflanzenwachsthum gegenüber verhalten? — Sein Verhalten lässt sich vielleicht am zutreffendsten so bezeichnen, dass man sagt, ein undurchlässiger Boden habe fast eine jede Fähigkeit, seinen Wassergehalt zu reguliren, ihn von äusseren Umständen unabhängig zu machen, eingebüsst. Regnet es stark, so wird sich ein undurchlässiger Boden nicht bloss bis zur Sättigung seiner

---

\*) Theoretisch allerdings früher, wie u. A. aus den von Sorauer zu Dahme angestellten Versuchen an Gerste hervorgeht. Allein unter praktischen Verhältnissen wird eben nur an einzelnen regnerischen Tagen die ganze Wassercapacität in Anspruch genommen.

wasserhaltenden Kraft mit Feuchtigkeit imprägniren, das überschüssige Wasser aber abfliessen lassen; er wird vielmehr über die Capacität seiner Krume hinaus nasser und nasser werden, bis es dem Himmel gefällt, mit dem Regen inne zu halten; — seine wasserhaltende Kraft ist gleichsam unendlich gross geworden.

Aus dieser einfachen Betrachtung gehen nun sofort die Eigenschaften hervor, die ein undurchlässiger Boden dem Pflanzenwachsthum gegenüber zeigen muss. Derselbe hat jede Fähigkeit verloren, einen schädlichen Ueberfluss an Wasser abzuwehren. Daraus folgt, dass er in einer regenreichen Gegend, in einer nassen Jahreszeit ein für das Pflanzenwachsthum sehr ungünstig geeigenschafteter ist, dass er dagegen in trockenen Gegenden oder Zeiten sich nicht erheblich von irgend einem durchlässigen, sonst ähnlich gearteten Boden unterscheiden wird. Im ersteren Falle wird er alle die Misstände zeigen, welche wir für Böden von zu grosser wasserhaltender Kraft schon zu schildern versuchten.

In einem undurchlässigen Boden werden in regenreichen Zeiten sich alle Poren mit Wasser anfüllen, vielleicht gar noch eine Wasserschicht über der Erde sich ansammeln, eine wahre Sumpfbildung eintreten. Alle die früher geschilderten Misstände: Mangel von Sauerstoff in der Umgebung der Pflanzenwurzel, Bildung von sauren Humussubstanzen, sehr grosse Verdünnung der Nährstofflösung, Reduction der im Boden enthaltenen Eisenoxydverbindungen u. s. w. greifen Platz und machen den Boden mehr oder minder unbewohnbar für unsere einheimischen Kulturgewächse.

Aus der gemachten Schilderung geht hervor, dass die Durchlässigkeit des Untergrunds für regenreiche Klimate, wie die der gemässigten Zone, ein absolutes Erforderniss ist. Man sucht daher, wo dieselbe nicht vorhanden ist, sie künstlich zu beschaffen, zuweilen durch Heraufpflügen der thonigen Schicht durch Untergrundspflüge, meistens aber durch Legung von Drainröhren, durch welche das über die wasserhaltende Kraft der Ackerkrume hinaus sich ansammelnde Wasser abfliessen kann. Das Drainiren des Bodens, namentlich des Wiesengeländes, spielt mit die erste Rolle unter den landwirthschaftlichen Manipulationen, die als Meliorationen, d. i. dauernde Qualitätsverbesserungen von Grundstücken bezeichnet werden. Ganz den Resultaten dieser Manipulation entsprechend nennt man dann auch Böden, die von Natur einen ausgezeichnet durchlässigen Untergrund, z. B. Kies, Geröll oder sonst grobe Gesteinsmassen, die grosse Räume zwischen sich leer lassen, besitzen, natürlich drainirte Böden.

Ich darf übrigens nicht unerwähnt lassen, dass diese natürliche Drainage auch in unserem Klima unter Umständen zu weit gehen kann. Wenn eine Ackerkrume eine geringe wasserhaltende Kraft besitzt und wenig tiefgründig ist und dann im Untergrund eine solche steinige Masse ohne alle wasserhaltende Kraft folgt, so ist das Wasserquantum, das ein solcher Boden zurückzuhalten vermag, vielleicht so gering, dass es für trockene Perioden nicht lange vorhält. Sogar bei Weinbergen in Gebirgsgegenden auf felsigem zerklüftetem Terrain hat man Erfahrungen gemacht, welche auf die Misstände eines zu stark drainirten Bodens hinweisen und welche namentlich in sehr geringen Quantitäten des Ertrages bestehen. Hier ist es freilich nicht die Durchlässigkeit allein, welche schädlich wirkt, sondern nur die im Zusammenhange mit einer zu geringen Wassercapacität der oberen Bodenschichten. — Für

wenig tiefgründige und namentlich sandige Böden wird also unter Umständen eine mässige Undurchlässigkeit des Untergrunds vortheilhaft sein. Eine absolute Undurchlässigkeit wird in der Praxis immer als schädlich angesehen.

Ausser dem Drainiren gibt es aber noch mehrere andere in der Praxis brauchbare Mittel, um einer thonigen Ackererde die nöthige Durchlässigkeit zu verschaffen, wenn diese auch mehr solche sind, die in dem betreffenden Falle mit Geduld längere Zeit fortgesetzt werden müssen als eine einmalige entscheidende Massregel. Um deren Bedeutung zu verstehen, ist es jedoch unerlässlich, noch etwas näher auf die eigentliche Ursächlichkeit der Undurchlässigkeit solcher Erden einzugehen.

Die Thontheilchen schliessen nur dann enge an einander und verursachen dadurch die fragliche Erscheinung, wenn sie in verhältnissmässig reinem Zustande vorhanden sind. Zwar eine geringe Menge Sand verhindert dieselbe nicht, offenbar weil die Thontheilchen neben und um diese verhältnissmässig grossen Mineralstückchen sich frei genug bewegen, um doch ihrer Adhäsion zu einander zugeben zu können. Dagegen wirken fein vertheilte organische Stoffe, wie sie durch regelmässige Düngung mit natürlichem Dünger in den Boden gelangen (nicht eine einmalige Zufuhr von Torfmulm), in diesem Sinne, und darum ist der Boden frisch eingedeichter Seepolder, worin neben den Thon- und Sandtheilchen grosse Massen von mikroskopischen Foraminiferen und anderen kleinen Lebewesen abgelagert sind, im Anfange von durchaus befriedigender Durchlässigkeit. Auch die Muschelschalen und andere Kalktheilchen des Meeresschlammes wirken in dieser Richtung und auch für die Melioration der älteren Lehm Böden wird mit mehr Vortheil Kalk verwendet als Sand.

Ganz neue Studien\*) über diese Verhältnisse haben darauf hingewiesen, dass feiner Thon aus Salzlösungen in viel poröserem Zustande niederfällt als aus reinem Wasser und dass das gefährlichste Moment für das Undurchlässigwerden, das sogenannte Dichtschlammern, der Uebergang von Salzwasser zu Süsswasser ist. Dabei befinden sich die Thontheilchen einen Augenblick im labilen Gleichgewicht und kommt eine Erschütterung (in Folge von Bodenbearbeitung) hinzu, so nehmen sie um so sicherer die festeste Gleichgewichtslage an, welche eben die ist, welche die Undurchlässigkeit bedingt. — Hieraus erklären sich die schweren Schädigungen, welche zumal ältere Kleyböden erleiden, wenn sie einer Ueberschwemmung durch Seewasser ausgesetzt gewesen sind, und welche mit Nichten alle aus der giftigen Wirkung der Meeressalze zu erklären sind.

Hülfsmittel in allen diesen Fällen sind regelmässige Düngungen mit organischen Düngemitteln (Stallmist), periodische Meliorationen mit Kalk, Anbau reichbewurzelter Gewächse (Weissklee), im letzteren Falle auch Unangerührtlassen des langsam sich entsalzenden Bodens.

Als ein weiterer Grund der Undurchlässigkeit ist das Vorkommen von Ortstein (Oer holl.) von ziemlicher Erheblichkeit. Dasselbe wird auf eisenhaltigen Sandböden, die lange unkultivirt gelegen haben, beobachtet und ist der Landwirthschaft und vielleicht noch in höherem Grade der Forstwirthschaft hinderlich. Wenige Decimeter tief, häufig

\*) Durham: Chem. News V. 30, Nr. 767, p. 57 u. Ad. Mayer: Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik Bd. II. p. 251.

A. Mayer, Agrikulturchemie II. 3. Aufl.



aber viel tiefer trifft man auf eine wahre continuirliche Steinschicht, die unter allen Umständen reich ist an Eisenoxyd und Oxydul, aber auch noch andere Bestandtheile, zumal Sandkörner in sich einschliesst.

Die Ursache dieser Bildung ist ziemlich deutlich. Wenn in einem eisenreichen Boden durch die Verwesung organischer Substanzen regelmässige Gelegenheit gegeben wird zur Reduction des Eisenoxyds in die weit löslicheren Oxydulverbindungen, dann sickern diese in Wasser gelöst nach unten, bis sie auf eine Schicht stossen, wo Abwesenheit von organischen Stoffen die oxydirende Wirkung von überall anwesendem Sauerstoff in den Vordergrund treten lässt. Dann scheidet sich Eisenoxydhydrat ab, welches die anwesenden festen Stoffe verkittet. Basische Stoffe wie Kalk wirken in derselben Richtung, weil sie dem Oxydulsalz die lösende Säure entziehen und das Hydroxyd zur Oxydation disponiren. Daher man häufig hohle Ortsteine oder Roseneisensteine findet, die einen Kern von Kalkstein einschliessen oder eine Ortsteinschicht als Decke eines Mergellagers.

Die Wirkung ist nicht allein Undurchlässigkeit für das Wasser, sondern auch die Pfahlwurzeln von Lupinen und Kiefern stossen auf diese Schicht und alsbald kann man an der sistirten Entwicklung der oberen Pflanzentheile den Schaden erkennen, der unsichtbar im Untergrunde seinen Sitz hat. — Die einzig mögliche aber auch endgültige Melioration ist das Herausheben der Ortsteinschicht, der an der Luft (?) durch Oxydation des noch übrigen Eisenoxyduls bald in Pulver zerfällt und keine weitem Nachtheile mehr im Gefolge hat.

In ganz ähnlicher Lage wie ein Boden mit undurchlässigem Untergrund, also der Versauerung und Versumpfung ausgesetzt, befindet sich ein Boden, in welchem das Horizontalwasser so hoch steht, dass die Entwicklung der Wurzeln dadurch gehindert wird. Bei näherer Beleuchtung fällt aber dieser Umstand mit schon Behandeltem zusammen, indem ja irgend eine Undurchlässigkeit im weiteren Sinne des Worts Veranlassung hiezu bietet. Als höchster Stand des Wassers unter der Krume, von dem keine Schädigungen mehr zu erwarten sind, ist etwa ein Meter unter der Oberfläche anzusehen\*) und ist dieser Stand nicht zu erreichen, dann hat man für Tieferlegen der Gräben mit natürlicher oder künstlicher Wasserabfuhr zu sorgen, Massregeln, die mit dem Drainiren die grösste Aehnlichkeit aufweisen.

Ein weiteres Verhalten des Bodens dem Wasser gegenüber, das für unseren Zweck in Betracht kommt, ist die *capillare Wasserleitung* in demselben, das Analogon der Wärmeleitung, doch praktisch von grösserer Wichtigkeit als diese. Die capillare Wasserleitung, welche auch als wasseraufsaugende Kraft bezeichnet worden ist, wird gemessen durch die Geschwindigkeit, mit der eine getrocknete Erde, die z. B. in eine nach unten offene Glasröhre gefüllt ist und an dem einen Ende mit Wasser in Berührung gebracht wird, sich bis zu einer gewissen Höhe vollsaugt, oder durch die Höhe, die das Wasser in einer solchen mit Erde gefüllten Röhre in einer gewissen Zeit oder im Maximum erreicht.

Es ist eine auf diese Weise leicht zu constatirende Thatsache, dass die Fortleitung des Wassers in verschiedenen Ackererden mit verschiedener Energie erfolgt\*).

\*) Obschon dies von der Art der Pflanze und auch der des Bodens abhängig ist. Vgl. die interessanten Mittheilungen Fleischers (Biederm. Centralbl. 1885, p. 296,7.).

Ausserdem ist seit lange bekannt, dass die anfängliche Geschwindigkeit in der Fortleitung innerhalb eines ausgetrockneten Bodengemisches keineswegs massgebend ist für die endgültig zu erlangenden Höhen der capillaren Aufsaugung. Diese Unregelmässigkeit ist vermuthlich daraus zu erklären, dass bei Bodengemischen, in welchen die Aufsaugung verhältnissmässig langsam voranschreitet, schliesslich aber doch grosse Werthe erreicht, wie in vielen Thonböden, die feineren Hohlräume wohl eine grössere endliche Steighöhe ermöglichen, inzwischen aber durch die grössere Reibung die Geschwindigkeit des Aufsteigens vermindern, und ausserdem — und dies gilt vor Allem für humose Böden — dass die Vorbereitung für die Benetzungsfähigkeit, vielleicht in Folge des Verlaufs geringfügiger chemischer Veränderungen unter dem Einflusse des condensirten Wasserdunstes, einige Zeit in Anspruch nimmt\*\*).

In Glasröhren für wirkliche Ackererden erlangte Zahlen sind z. B. folgende von Meister ermittelte, woraus man eine Vorstellung über den Verlauf und das Endresultat der Erscheinung sich bilden mag. Dabei waren die mit trocknen Erden gefüllten Röhren auf nassen Sand gestellt.

#### Saughöhe des Wassers

| Erdarten.   | nach $\frac{1}{2}$ Stunde, | nach $5\frac{1}{2}$ Stdn., | nach $6\frac{1}{2}$ Stdn., | nach $21\frac{1}{2}$ Stdn., |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Thonboden   | 340 mm                     | 1100 mm                    | 1150 mm                    | 2000 mm                     |
| Humus       | 400                        | 1100                       | 1140                       | 1770                        |
| Gartenerde  | 290                        | 950                        | 980                        | 1610                        |
| Quarzsand   | 440                        | 920                        | 970                        | 1170                        |
| Torfboden   | 260                        | 500                        | 570                        | 1140                        |
| Sandboden   | 450                        | 620                        | 660                        | 900                         |
| Gypsboden   | 120                        | 400                        | 400                        | 820                         |
| Kreideboden | 60                         | 330                        | 540                        | 700                         |

Aus diesen Zahlen kann gefolgert werden, dass den Thonböden die grösste Fähigkeit der capillaren Wasserleitung zukommt, dass sich dann etwa die humosen Erden und dann die Sandböden anreihen, und dass den Gyps- und Kreideböden jene Fähigkeit im geringsten Grade zukommt. Zugleich erkennt man die sehr verschiedene relative Aufsaugungsgeschwindigkeit. Die ersten richten sich nach dem Vorhandensein von capillaren Räumen von engsten Dimensionen, die letztere ist in weiteren Capillaren grösser, Lockerheit der Erde verändert wenig an diesen Dingen, weil sie auf das Bestehen feinsten Capillaren wenig Einfluss hat. Nur wird — und dies ist, wie wir noch weiter unten sehen werden, ein Gesichtspunkt von erheblicher

\*) Vergl. Meister: Jahresber. f. Agrik.-Chem. 1859—1860, p. 42; Nessler: Bad. landw. Correspondenzbl. 1860, p. 226.

\*\*) A. Wolf hat in sehr beachtenswerthen Versuchen (über die Bestimmung der wasserhaltenden Kraft des Bodens, Jena 1870, p. 21) nachgewiesen, dass ähnliche Anomalien auch bei verschiedenen engen Glascapillaren nachzuweisen sind, so zwar, dass die Aufsaugung in der engeren Röhre anfangs geradezu langsamer erfolgt, um dann später die in der weiteren zu überholen. Diese Thatsache ergibt für den uns vorliegenden Fall eine Erklärung, wie ich sie im Texte angedeutet habe. Die Steighöhe ist umgekehrt proportional dem Durchmesser capillarier Röhren, die Reibung umgekehrt proportional mit der 2. Potenz desselben.

praktischer Bedeutung — in losem Grunde weniger Wasser in der Zeiteinheit fortgeleitet.

Nachdem wir uns eine dürftige Vorstellung von der Befähigung verschiedener Bodenarten, das Wasser in ihren capillaren Zwischenräumen zu leiten, verschafft haben, handelt es sich darum, eine Einsicht in die Art der Wirksamkeit dieser Bodeneigenschaften zu gewinnen, — ein Urtheil darüber zu erlangen, ob und wann wir es in denselben mit nützlichen oder schädlichen Eigenthümlichkeiten zu thun haben.

Die capillare Wasserleitung wird sich selbstredend nur da geltend machen können, wo durch irgend eine äussere Ursache eine Verschiedenheit in dem Wassergehalt der einzelnen Bodenschichten eintritt, da sie in nichts Anderem besteht als in der Ausgleichung dieser Verschiedenheit. Der Anstoss zu einer ungleichartigen Wasservertheilung in der Ackererde wird unter natürlichen Verhältnissen meist von obenher kommen. Es fallen atmosphärische Niederschläge auf den Boden, welche die obersten Schichten durchnässen, oder der Boden trocknet von oben her ab, und diese Schichten werden so zuerst des Wassers beraubt. Ein Durchnetzen von einem feuchten Untergrund her ist ein bei weitem seltenerer Fall, ein Trocknen von unten her geradezu undenkbar.

Sehen wir nun zu, wie in diesen möglichen Fällen die verschiedene Befähigung, das Wasser zu leiten, wirken muss. Fällt auf eine Ackererde, in welcher die capillare Wasserleitung nur langsam vor sich geht, ein Regenguss, so wird das Wasser nicht rasch eindringen, sondern zum grossen Theil oben abfliessen und höchstens hie und da in Pfützen sich sammeln, ohne eine Durchfeuchtung der Erde bewirkt zu haben, ähnlich wie wir dies häufig an Haufen von Chausseestaub nach einem starken Regenguss staunend wahrnehmen, wenn wir sie mit dem Fuss zertheilen. Es kann kein Zweifel daran sein, dass ein solches Verhalten der Ackererde unter manchen Umständen und namentlich in trockenen Klimaten, wo es sich darum handelt, von einem gefallenen Regen möglichst viel Nutzen zu ziehen, schädlich wirken würde, wenn auch bei einer Ackererde, die ja niemals die Lockerheit von angehäuften Staub besitzt, eine so ausserordentlich schlechte Leitungsfähigkeit nicht erwartet werden darf.

Ganz im umgekehrten Sinne aber werden sich Böden von geringer Leitungsfähigkeit für Wasser verhalten, wenn von oben her eine Austrocknung erfolgt. In diesem Falle trocknen die oberen Bodenschichten rasch ab; allein diesen wird das Wasser von unten nur langsam mitgetheilt, so dass ein so beschaffener Boden weit länger den austrocknenden Einflüssen in seinen tieferen Schichten zu widerstehen vermag \*). Hier wirkt eine geringe Leitungsfähigkeit für Wasser also entschieden günstig, da es sich in diesem Falle ja unter keinen Umständen um ein Uebermass von Wasser handeln kann. Während also beim Regnen eher eine bedeutende Leitungsfähigkeit der Ackererde als eine für das Pflanzenwachsthum förderliche Eigen-

---

\*) Von dem Aufsteigen und der oberflächlichen Ansammlung der im Bodenwasser gelösten Stoffe mit diesem Wasser haben wir einmal früher gesprochen. Vergl. Bd. II. p. 106, Anm. \*\*).

schaft angesehen werden darf, so ist ohne Zweifel doch in trockenen Perioden eine geringe Leitungsfähigkeit vorzuziehen\*).

Wir haben also hier den Fall vor uns, dass eine und dieselbe Bodeneigenschaft an einem und demselben Orte bald nützlich, bald schädlich zu wirken vermag, und es erscheint dem gegenüber eigentlich unmöglich, eine Ackererde von idealen Eigenschaften zu denken. Nun ist es aber dennoch möglich, so merkwürdig dies auch auf den ersten Blick erscheinen mag, in einer Ackererde grosse und geringe Leitungsfähigkeit gleichzeitig in einer Weise herzustellen, dass sie sich sowohl bei Regenfall als bei Trockenheit möglichst günstig verhält. Es ist diesen scheinbar unlöslichen Widerspruch zu lösen dadurch möglich, dass man einen an sich gut leitenden Boden *oberflächlich lockert*. Durch diese obere lockere Schicht dringt das gefallene Regenwasser leicht ein, nicht weil in derselben starke capillare Leitung stattfindet, sondern einfach vermöge seiner Schwere, bis zu den tiefern Schichten, wo capillare Leitung rasch erfolgt. Anders ist es aber beim Austrocknen. Von unten nach oben kann das Bodenwasser eben nur durch capillare Leitung gelangen, und da die Menge des fortgeleiteten Wassers durch die oberflächliche Lockerung der obersten Bodenschichten vermindert wird, so trocknen nur diese aus\*\*), lassen aber nur wenig Wasser aus den festen Bodenschichten durch sich hindurch an die verdunstende Oberfläche gelangen\*\*\*). Sobald der oberflächlich abgetrocknete Boden nur 50 % des Wassers, das er vermöge seiner Wassercapacität festzuhalten vermag, besitzt, erlischt die Leitungsfähigkeit fast ganz und eine Verdunstung ist nur noch möglich durch Eindringen von Luft in die tieferen Bodenräume.

Auf diese Weise gelingt es also in der That, eine Ackererde herzustellen, welche das scheinbar Unmögliche leistet, sich in der Zeit, wo es regnet, wie eine das Wasser gut leitende, in den trockenen Perioden wie eine schlecht leitende zu verhalten und auf diese Weise für einen grossen und ziemlich gleichmässigen Gehalt an Wasser zu sorgen — ein Verhalten, welches in trockenen Gegenden und Jahreszeiten von hohem Werthe ist. Unsere landwirthschaftlichen Manipulationen, die in einer solchen oberflächlichen Lockerung eines mit Pflanzen bestandenen Bodens bestehen, das Hacken und Häufeln, lassen sich wohl zum grössten Theil auf den eben dargelegten Gesichtspunkt zurückführen, wenn auch durch dieselben gleichzeitig ein Zerstören des Unkrauts, eine Vermehrung der den einzelnen Pflanzen zur Verfügung stehenden Erdmassen und dergleichen mehr bewirkt wird. Die capillare Wasserleitung, die in ihrer Grösse und Geschwindigkeit abhängig ist von der Weite der

\*) Abgesehen von dem verhältnissmässig seltenen Falle, dass in einer regenarmen Gegend die Wasserversorgung der Pflanzen geradezu aus dem Untergrunde geschieht. Vergl. hierüber v. Gohren: Boden u. Atmosphäre 1877, p. 90.

\*\*) Vergl. in dieser Beziehung auch E. Wollny: Forschungen Bd. III. p. 147, ferner C. Eser ebenda, Bd. VII. p. 121.

\*\*\*) J. Nessler hat das Verdienst, auf die verringerte Verdunstung einer oberflächlich gelockerten Erde zuerst hingewiesen und den Grund dieser Erscheinung klar eingesehen zu haben. Vergl. Bad. landw. Correspondenzbl. 1860, p. 230, u. Ber. d. II. Wanderversamml. bad. Landw. u. s. w. 1867, p. 79. Sehr gründlich ist der Gegenstand dann ferner von Wollny behandelt worden. A. a. O. Bd. 4, vergl. namentlich p. 25. In demselben Aufsätze auch Literaturangaben.

Zwischenräume der festen Masse und im umgekehrten Verhältnisse zu dieser steht, ist ein wesentliches Element einer dauernden Verdunstung, gerade wie eine gute Wärmeleitung die Erkaltung eines Bodens durch Ausstrahlung bis in tiefere Schichten wesentlich unterstützt, und wo es gelingt, durch Erweiterung jener Zwischenräume dieselbe auf ein Minimum herabzudrücken, da kann man auch die Austrocknung durch Verdunstung auf die obersten Bodenschichten, die dann freilich sehr gründlich austrocknen und in ihrer Wassercapazität beschränkt werden, beschränken und so der Vegetation ein gewisses Reservoir von Feuchtigkeit im Boden aufbewahren.

Ganz dasselbe wird bei der Rimpau'schen Moorkultur\*) erreicht, durch die obenauf gebrachte Sanddecke, die das Wasser schlechter leitet als der Humus.

Nur in seltenen Fällen ist die Anforderung der Praxis die umgekehrte, nach einer gleichmässigen Feuchtigkeit der obersten Bodenschichten, so z. B. für die gleichmässige Keimung einer oberflächlich untergebrachten Saat. In der That ist dann auch die Massregel die entgegengesetzte. Man walzt den Boden nach vorgenommener Einsaat, wobei er oberflächlich feuchter bleibt, in seiner ganzen Masse freilich rascher austrocknet, was aber im Frühjahr weniger auf sich hat, oder geradezu erwünscht ist.

Schliesslich hat natürlich neben der Beschaffenheit der Erde auch der *Bestand mit Pflanzen selber* einen grossen Einfluss auf die Feuchtigkeit des Bodens, sei es, dass die Gewächse durch ihre Beschattung den Boden vor Austrocknung schützen (Feuchtigkeit eines Kleeackers gegenüber einem mit Getreide bestandenem Felde), sei es, dass die Verdunstung der Gewächse selbst eine verschiedene grosse ist (Trockenheit der Wiesen in der heissen Periode, die freilich z. Th. der fehlenden Auflockerung des Wiesenbodens zugeschrieben werden muss), oder endlich, dass die Wurzelverzweigung eine verschiedene mechanische Beschaffenheit der Krume veranlasst — Gegenstände, die indessen an dieser Stelle nicht eingehend behandelt werden können.

Wenn wir nun schliesslich die verschiedenen Eigenschaften des Bodens dem Wasser gegenüber noch einmal zusammenfassen und uns die Frage stellen, welche Bodenarten sind die nassesten, welche die trockensten unter gleichen klimatischen Bedingungen, und welche werden voraussichtlich die grösste Unregelmässigkeit in ihrem Wassergehalte zeigen? — so werden wir ungefähr sagen können:

*Nasse Bodenarten* werden zumal bei grosser Regenmenge alle *undurchlässigen Böden* sein, d. i. also Böden, welche im Untergrund eine zusammenhängende thonige Schicht oder Ortstein besitzen, und kommen in diesem Falle die übrigen physikalischen Bodeneigenschaften kaum in Betracht.

*Trockne Böden* werden immer diejenigen Bodenarten sein, die sich genau entgegengesetzt verhalten, also *Sandböden mit fester Oberfläche und mit kiesigem Untergrund*.

*Gleichmässig feuchte Böden* werden solche sein, welche eine *grosse Wassercapazität* besitzen, also feinkörnige, tiefgründige Bodenarten besonders humoser Natur, und welche *oberflächlich gelockert* sind.

---

\*) Vergl. die Beobachtungen von Fleischer (Biederm. Centralbl. 1885, p. 296).

*Boden von wechselndem Wassergehalt* bei wechselnden äusseren Verhältnissen sind natürlich diejenigen, die gegen möglichst viele der eben gegebenen Postulate verstossen, und auch namentlich solche, welche wie frische Torfstiche und auch manche schwere Thonböden, einmal nass, zwar eine grosse Wasseraufsaugung besitzen, nach dem Austrocknen dieselbe aber bis auf einen Bruchtheil einbüssen\*).

Mit diesen Betrachtungen hätten wir dann auch das Wesentliche, das über die physikalischen Eigenschaften der Ackererde in allgemein theoretischer Behandlung gegeben werden kann, erledigt und damit zugleich das Kapitel vom Boden abgeschlossen. Unsere weiteren Untersuchungen werden sich nun lediglich darauf erstrecken, in wie weit diese von der Natur gegebenen Bedingungen einer für das Pflanzenwachsthum günstigen künstlichen Veränderung überhaupt, aber namentlich unter den Umständen fähig sind, wo durch wirthschaftliche Eingriffe jene natürlichen Bedingungen sich nach und nach unvortheilhafter gestaltet haben, wo mit anderen Worten durch die regelmässige Entnahme von Ernten sich die Bodenfruchtbarkeit verändert hat.

---

\*) Landw. Centralbl. 1858, II. p. 22.

---

