

Die nähern Bestandtheile und die Nahrungsmittel der Pflanzen.

Vorgetragen am 3. November 1855 zum Behuf der Habilitation an der Zürcher Universität.

Von Dr. Carl Cramer.

(Schluss.)

Man hat gegen den Nahrungswerth der Humuskörper eingewendet: sie seien entweder gar nicht oder nur schwer löslich und daher die wässerigen Niederschläge jedenfalls zu gering, um die nöthige Menge davon zu lösen. Allerdings erfordert der humussaure Kalk 2500 Theile Wasser zu seiner Lösung; aber die meisten Humussubstanzen lösen sich leicht in Alkalien, und die es nicht thun, werden unter dem Einfluss des Sauerstoffs der Luft darin löslich. Ueberdiess bilden ihre alkalischen Salze mit den alkalischen Erden und den schweren Metalloxyden öfters lösliche Doppelverbindungen. Auf diesem Wege ist also der Humustheorie wohl nicht beizukommen. Die Menge fixer Basen, welche der jährliche Holzertrag eines Joches Wald enthält, wurde dazu benutzt, die Quantität Huminsäure zu berechnen, welche von jenen Basen in die Pflanzen konnte begleitet worden sein, und man glaubte daraus einen Schluss ziehen zu können auf die ganze Quantität Kohlenstoff, welche sich die Pflanzen durch Humus anzueignen im Stande seien. Die berechnete Kohlenstoffmenge beträgt nur etwa 9% der beobachteten. Gesetzt aber der Stickstoff des Holzes sei in der Form von huminsaurem Am-

moniak, mit 4 Atomen basischen Wassers aufgenommen worden, so kommen zu jenen 9% noch weitere 33%, summa 42%. Ausserdem sind einzelne Humuskörper ohne weiteres löslich. Wir sehen daraus, dass die Quantität Kohlenstoff, welche der Humus unter den günstigsten Voraussetzungen liefern könnte, zwar nicht ganz unbeträchtlich ist, dass aber die Wirklichkeit doch kaum zur Hälfte erreicht wird.

Unermessliche Mengen organischer Substanz entziehen wir jährlich unsern Wäldern in der Gestalt von Brenn- und Bau-Holz, ohne ihnen einen Ersatz dafür zu bieten. Die Alpen, eben nicht das beste Beispiel für rationelle Landwirthschaft, versorgen uns noch immer mit Fleisch, Butter und Käse. Seit Jahrhunderten erndtet man in Ungarn auf demselben Felde Weizen und Tabak, ohne organischen Dünger aufzufahren. Ueber 300,000 Centner Palmöl werden jährlich in England eingeführt, die Pflanzen aber, die dasselbe liefern, die schöne Cocospalme und die Oelpalme wachsen auf humusfreiem Meeressande. Eine grosse Zahl anderer Culturgewächse, wie: Reis, Mais, Caffee, Cacao, Baumwolle, die Indigopflanze erhalten mindestens keine erhebliche Menge organischer Düngstoffe von aussen; eben so wenig die ausgedehnten Zuckerplantagen. 18,000,000 Centner Kohlenstoff enthält der jährlich verbrauchte Rohrzucker, 13,000,000 die ausgepressten Rückstände, welche verbrannt werden. Die Maiscultur in Mexico gibt seit uralten Zeiten 200- bis 600fältige Erndten ohne Dünger, bei uns mit Dünger nur 12-15fache, und die Banane, die zuweilen auf Einem Baume 70-80 Pfund Früchte trägt, erzeugt auf dem gleichen Raume ohne Düngung 9 mal so viel trockne Substanz, als unsere Kartoffel, und 34 mal

so viel, als der Weizen. Drei Viertheile aller Culturen werden nach Schleiden ohne Anwendung von organischem Dünger vorgenommen.

Aus alle dem geht hervor, dass die Zufuhr organischer Düngstoffe für die Pflanzen in sehr vielen Fällen wenigstens nicht nothwendig ist. Indessen lässt sich auch beweisen, dass dieselbe, wenn sie Statt findet, nicht ausreicht, um die produzierte Kohlen- und Stickstoff-Menge zu erklären. Boussingault hat berechnet, dass sich der Kohlenstoff der Erndten zu dem des zugeführten Düngers im Mittel verhält wie 2,88 : 1 und der Stickstoff wie 2 : 1. Dazu kömmt dass ein nicht kleiner Theil des Düngers verloren geht, bald durch den Regen weggespült wird oder bei der Zersetzung in Gasform entweicht.

Endlich ist es Thatsache, dass sich die Humusbestandtheile der Erde im Lauf der Zeit vermehren. So wachsen die Torfmoore, worauf das blassfarbige Torfmoos wuchert, und deren Wachsthum kann in 30—40 Jahren schon 1' betragen. Wälder, denen durch Laubbrechen, Holzfällen u. dgl. nichts entzogen wird, bedecken die Erde alljährlich mit einer neuen Schicht vermodernder Abfälle. 50—100' tiefer Humus bildet die Grundlage der üppigen Urwälder Amerikas.

So wichtig diese Thatsachen sind, so geht daraus doch nicht hervor, dass keine Pflanze an organische Nahrung gebunden oder überhaupt die Aufnahme und Assimilation organischer Substanzen eine Unmöglichkeit sei. Wir wissen im Gegentheil, dass sämtliche Pilze eine organische Grundlage voraussetzen, bestehe nun diese in einem Thier, einer Pflanze oder deren verwesenden Ueberresten, bestehe sie in einer gährungsfähigen Flüssigkeit. Ebenso beziehen die

Schmarotzerpflanzen im engeren Sinne des Wortes, aus der Wurzel oder dem Stamme der Pflanze, worauf sie leben, organische Nahrung und sind, damit in Uebereinstimmung, entweder ohne Assimilationsorgane oder mit ganz abweichend gebauten versehen. Dass aber auch selbstständige Pflanzen Humuskörper aufnehmen können, haben zahlreiche Versuche, solche Pflanzen in Lösungen natürlicher und künstlich dargestellter Humusstoffe zu cultiviren, bewiesen, indem die Pflanzen ihren Kohlengehalt auf Kosten der Lösung vermehrten.

Fassen wir nun alles mit Rücksicht auf die Pflanzen über den Nährwerth organischer, insbesondere humusartiger Stoffe bis jetzt Gesagte zusammen, so ergibt sich als Resultat: Ein der Zahl der Arten und Gattungen nach beträchtlicher, hinsichtlich der Masse verschwindender Theil der Gewächse ist auf organische Nahrung angewiesen; den übrigen Pflanzen lässt sich zwar das Vermögen, Humusverbindungen aufzunehmen, nicht unbedingt absprechen, sie sind aber zu deren Aufnahme nicht gezwungen. Der Stickstoff und die Kohle des per Jahr angewendeten, organischen Düngers reichen in den meisten Fällen nicht aus, um den Bedarf der Pflanzen an diesen Elementen zu decken. Die Pflanzen erzeugen mehr Humus als sie verzehren. Kurz: die organischen Bodenbestandtheile spielen als Nahrungsmittel der Gewächse eine sehr untergeordnete Rolle. Es muss daher noch eine andere Quelle des Kohlenstoffs und Stickstoffs geben.

Diese ist die Kohlensäure und das Ammoniak der atmosphärischen Luft.

Die Aufnahme der Kohlensäure ist vielfach beobachtet worden. Pflanzen, bei welchen die einzelnen

Lebensfunctionen noch nicht verschiedenen Organen übertragen sind, saugen dieselbe mit ihrer ganzen Oberfläche auf, so insbesondere die meist im Wasser lebenden Algen. Bei den höhern Pflanzen hingegen, welche eine Wurzel haben, ist diese gleichsam das Hauptportal für die Kohlensäure. Pflanzen, die man in ausgeglühtem Quarzsand cultivirte, vermehrten den Kohlenstoff, wenn der Sand nur mit Kohlensäurehaltigem Wasser begossen wurde und die nöthigen mineralischen Stoffe enthielt. Indessen sind auch die Blätter, überhaupt alle grünen Pflanzentheile geeignet Kohlensäure zu absorbiren, so bald sie von der Sonne beschienen werden. Ein beblätterter Zweig, welcher mit der Mutterpflanze in Verbindung in einem von der Sonne beleuchteten Glascylinder luftdicht eingeschlossen wird, entzieht der durchgeleiteten atmosphärischen Luft alle Kohlensäure. Nur ein Uebermass von Kohlensäure ist den Pflanzen wie den Thieren nachtheilig, schon in einem Gemenge von 2 Volumen Kohlensäure auf 1 Volumen atmosphärische Luft verwelken die Blätter. Das Giftthal auf Java, ein kleiner Bergkessel, ist darum eine Wüste, weil die Kohlensäure, welche dort massenhaft aus der Erde dringt, in Ermangelung eines seitlichen Ausweges, wie der Alp auf dem Boden lasten bleibt. Theilweise mag auch die Abwesenheit des Sauerstoffs daran Schuld sein. Es ist eine auffallende Erscheinung, dass das Gedeihen der Pflanzen an die Absorption von Sauerstoff gebunden ist, obwohl sie eine viel grössere Menge dieses Gases ausscheiden, und man könnte sich die Thatsache kaum erklären, fänden beide Prozesse gleichzeitig in denselben Pflanzentheilen statt. Es sind aber nur die nicht grün gefärbten Pflanzentheile, welche beständig,

also auch im hellen Sonnenscheine, Sauerstoff aufnehmen, während die grün gefärbten Blätter und Stengel nur in der Finsterniss und im zerstreuten Licht etwas Sauerstoff verzehren. Dort finden also, wie es scheint, ununterbrochen Oxydationsprocesse statt, hier abwechselnd mit diesen Desoxydationsprocesse.

Wie schon gesagt, haucht die Pflanze viel mehr Sauerstoff aus, als sie verbraucht; ihr Leben ist daher im Allgemeinen, im Gegensatz zu demjenigen der Thiere, ein Desoxydationsprocess: Ein neues Kriterium zur Prüfung der einen und andern Ernährungs-Theorie!

Der verbreitetste organische Pflanzenstoff, die Cellulose, besteht aus wenig mehr als 44% Kohlenstoff, fast 50% Sauerstoff und circa 6% Wasserstoff. Weit aus die meisten übrigen Pflanzenstoffe enthalten mehr Kohle als Sauerstoff und mehr Sauerstoff als Wasserstoff. Man kann annehmen dass die getrocknete Pflanzensubstanz fast zur Hälfte aus Kohlenstoff besteht. Ihm am nächsten kommt der Sauerstoff, während Wasserstoff und Stickstoff, besonders aber Schwefel und Phosphor, der Masse nach sehr zurücktreten. — Die Humussubstanzen enthalten mehr als die Hälfte (57 bis 69%) Kohle, nur in der Quellsäure überwiegt der Sauerstoff um kaum 3% über den Kohlenstoff. Eine Pflanze, die ihren Kohlengehalt vorzugsweise aus den Humusbestandtheilen oder andern relativ sauerstoffarmen organischen Substanzen bezieht, muss folglich mehr Sauerstoff aufnehmen als abgeben. Diess finden wir in der That bei den Pilzen. Die Pflanzen hingegen, welche der atmosphärischen Luft die constante Zusammensetzung erhalten, müssen eine sauerstoffreiche Nahrung verarbeiten, und diese kann nichts

anderes sein, als die Kohlensäure, welche auf bloss 28% Kohle 72% Sauerstoff enthält.

Schwieriger ist es über die wahre Abstammung des Stickstoffs der Pflanzen etwas Positives zu sagen, da sich die Resultate der neuesten Untersuchungen dieses Gegenstandes direct widersprechen. Doch dürften die genauen Versuche von Boussingault, welcher verschiedene Pflanzen in ammoniakfreien Räumen aus Samen zog, und dabei nicht nur keine erhebliche Zunahme, sondern im Gegentheil eine auffallende Verminderung des Stickstoffs der Keimlinge beobachtete, die Bedeutung des Ammoniaks für die Ernährung in ein klareres Licht gesetzt und bewiesen haben, dass Stickgas, so oft es auch in gelöster Form von Pflanzen verschluckt werden mag, der Assimilation nicht fähig ist, sondern nebst dem kleinen Antheil, der allenfalls in Folge des Lebensprocesses aus der Pflanze frei wird, unter den gasförmigen Ausscheidungsproducten wieder erscheinen muss. Weniger sicher ist es, in welcher Form und zumal bei höhern Pflanzen, durch welches Organ das Ammoniak aufgenommen wird, ob als unorganisches Salz oder in Verbindung mit Humusstoffen, ob ausschliesslich durch die Wurzeln oder auch durch die Blätter.

Endlich bleibt uns noch zu erörtern übrig: Sind Kohlensäure und Ammoniak in hinreichender Menge frei auf der Erde, um die gesammte Pflanzenwelt mit dem jährlichen Bedarf an Kohlenstoff und Stickstoff versorgen zu können, und gelangen sie in dieser Menge in das Innere der Pflanzen?

Wir dürfen beide Fragen zum Voraus bejahen. Es ist bekannt, dass die atmosphärische Luft ausser Stickgas und Sauerstoffgas, ihren Hauptbestandtheilen,

einer schwankenden Menge Wasserdampf und untergeordneten, zufälligen Beimischungen stets eine gewisse Quantität Kohlensäure und Ammoniak enthält. So klein diese Menge erscheint, verglichen mit einem bestimmten Volumen Luft, so beträgt sie für die Kohlensäure im ganzen doch mehrere Billionen Centner, für das Ammoniak $\frac{1}{4}$ so viele Pfunde und würde genügen, selbst ohne Erneuerung, die gesamte Vegetation der Erde eine Reihe von Jahren hindurch zu erhalten. Dazu kömmt noch, dass unzählige, chemische Vorgänge die Abnahme genannter Körper verhindern. Menschen und Thiere athmen beständig Kohlensäure aus; eine wenig geringere Menge liefern Verbrennungsprocesse, Feuerung jeder Art, Wald- und Steppen-Brände, ferner die Exhalationen der Vulkane und des vulkanischen Bodens, die mannigfachen Fäulnis- und Verwesungs-Processe in und auf der Erde, bei welchen Kohlensäure und Ammoniak in reichlicher Menge entweichen, um durch die Blätter verdichtet, oder im Regen und Thau den Wurzeln zugeführt zu werden.

Es ist Ungers Verdienst, durch Experimente nachgewiesen zu haben, dass wenigstens bei höhern Pflanzen die durch die Blätter absorbirte Kohlensäuremenge viel zu klein ist, um die während einer gewissen Zeit wirklich produzierte Kohle zu liefern. Ihm verdanken wir auch das wichtige Gesetz, dass die Pflanzen selbst bei erhöhtem Bedürfniss aus der Atmosphäre kein Wasser durch die Blätter empfangen. Die Hauptmasse der Kohlensäure geht also mit dem, später theils in der Pflanze gebundenen, theils von ihr wieder ausgeschiedenen Wasser durch die Wurzel in die Pflanze. Nun ist zwar das Absorptionsvermögen des Wassers

schon für Kohlensäure beträchtlich; allein da nicht das Gewicht, sondern das Volumen des absorbirten Gases constant ist, ferner das in der Maasseinheit enthaltene Gewicht Gas wechselt nach Druck und Temperatur, da endlich die Dichtigkeit der Kohlensäure in der Luft eine sehr geringe ist, so wäre die von der Pflanze während der ganzen Vegetationszeit ausgehauchte Wassermenge + die gebundene, trotz ihrer Grösse, nicht im Stande viel mehr als ein Minimum der nöthigen Kohle zu liefern, hätte dieses Wasser nicht Gelegenheit eine weit grössere Quantität Kohlensäure zu absorbiren, als dasselbe auf seinem Durchgang durch die Luft absorbiren kann. Geht man weiterhin von der wahrscheinlicheren Annahme aus, dass die Pflanzen auch das Ammoniak vorherrschend durch die Wurzeln empfangen, so ist der Gehalt des Regenwassers an Ammoniak ebenfalls viel zu unbedeutend, um den producirten Stickstoff zu erklären, das Regenwasser muss daher vor seinem Eintritt in die Wurzeln von neuem Ammoniak auflösen. Neuere Untersuchungen haben gelehrt, dass die Luft in den Zwischenräumen der Ackererde viel reicher an Kohlensäure ist, als die Atmosphäre. Luft aus einem seit zwölf Monaten nicht gedüngten Boden enthielt bis 23, Luft aus einem frisch gedüngten bis 245 mal mehr Kohlensäure. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, dass einerseits der Sauerstoff der eingedrungenen, atmosphärischen Luft von den verwesenden organischen Beimengungen der Erde verbraucht wird, anderseits, dass die Ackerkrume das Entweichen der in Folge von Verwesungsprocessen entstandenen Kohlensäure mechanisch verlangsamt. Aus denselben Gründen muss die Luft des Bodens auch mehr Ammoniak enthalten als die atmos-

phärische Luft. Wir haben hier eine reicherfließende Quelle des Kohlenstoffs und Stickstoffs; aber auch diese ist unzureichend. Dagegen gibt es eine Anzahl fester Körper, welche in hohem Grade die Eigenschaft besitzen, Gase auf ihrer Oberfläche zu verdichten. Unter diese gehören von den verbreitetsten Bodenbestandtheilen in erster Linie die Humuskörper und der Thon. Wo auch nur einer dieser Stoffe in geeigneter Qualität und Quantität der Erde beigemischt ist, da wird nicht nur ein grosser Theil der endlichen Zersetzungsproducte organischer Bodenbestandtheile mechanisch gebunden und zurückgehalten, sondern beständig aus der Atmosphäre: Kohlensäure, Ammoniak und Wasserdampf reichlich angezogen, verdichtet und den Pflanzen zugänglich gemacht, da freut sich der Landmann gesegneter Erndten.

Ich habe es versucht, die Endglieder einer Kette pflanzenphysiologischer Fragen zu beantworten, deren befriedigende Lösung noch manche Untersuchung erfordern wird. Gross ist die Zahl der Beobachtungen über diesen Gegenstand, manigfaltig die Färbung der Ansichten und die Beweisführung. Möge meine Auffassungsweise sich nicht allzu weit von dem jetzigen Standpunkt der Wissenschaft entfernen. In dieser ungewissen Hoffnung wage ich es vor Sie zu treten.
