

Vom Humus.

§ 1.

Untersuchungen über die Zusammensetzung des Humus.

Ich verstehe unter dem Namen Humus jene schwarze Substanz, mit welcher sich die todten Gewächse bedecken, wenn sie der vereinigten Wirkung des Sauerstoffgases und des Wassers ausgesetzt sind. Die Versuche, über welche ich im vorhergehenden Kapitel berichtet habe, bezweckten, den Nachweis zu führen, dass diese Substanz nicht das Ergebniss einer Verbindung des Sauerstoffgases mit der todten Pflanze, sondern der Ueberrest des Gewächses nach Abzug einiger seiner Bestandtheile ist.

Für die meisten meiner Untersuchungen benutzte ich fast reinen Humus, der durch ein enges Sieb von dem grössten Theil der nicht zersetzten, mit ihm immer vermischten Pflanzentheile befreit wurde. [163] Er enthielt kaum etwas anderes als die mineralischen Bestandtheile, welche aus der Pflanze, die sie gebildet hatte, stammten. Ich nahm ihn von hohen Felsen oder aus Baumstämmen, wo er durch fremde Substanzen, welche der Zugang von Thieren, der Dünger und der Absatz von Quellen gewöhnlich in den Boden einführen, nicht verändert werden konnte. Diese Humusarten scheinen mir fruchtbar zu sein, besonders wenn sie mit einer grossen Menge Sand oder Kies vermischt sind, der den Wurzeln als Stütze dient und dem Sauerstoffgas Zutritt gestattet; doch nehme ich den Humus aus, welcher sich im Stamm gewisser Bäume wie der Eiche bildet. Wenn das Wasser keinen Abfluss hat, so ist der Humus mit einer überreichlichen Menge Extractivstoffe beladen, welche die Gefässe der Pflanzen verstopfen. Diese löslichen Bestandtheile stammen in diesem Falle nicht in ihrer Gesammtheit aus dem Humus selbst, sondern zum Theil aus dem lebenden Baume und sind dann nicht für die Ernährung aller Gewächse geeignet.

Die folgenden Operationen geben uns einen Ueberblick über die Verschiedenheiten, welche man im Allgemeinen zwischen der

Zusammensetzung des Humus und derjenigen der Pflanzen, aus welchen er stammt, beobachten kann.

[164] Destillation des Eichenholzes. 10,614 Gramm (200 Gran) trockenes Eichenholz lieferten bei der bis zur Glühhitze fortgesetzten Destillation in einer zugekitteten Glasretorte 229,3 Cubikcentimeter (116 Cubikzoll) Kohlenwasserstoffgas + 575 Cubikcentimeter (29 Cubikzoll) kohlensaures Gas + 4,25 Gramm (80 Gran) Wasser, welches holzessigsäures Ammoniak mit einem Ueberschuss an Holzessig in Lösung hielt, + 589 Milligramm (13 Gran) brenzliches bituminöses Oel. Die in der Retorte verbleibende Kohle wog 2,23 Gramm (42 Gran); sie enthielt 26 Milligramm ($\frac{1}{2}$ Gran) Asche.

Destillation von braunem Humus aus Eichenholz. 10,614 Gramm (200 Gran) trockener Humus aus Eichenholz, welcher wie das vorhergehende Holz destillirt wurde, gaben 2456 Cubikcentimeter (124 Cubikzoll) Kohlenwasserstoffgas + 673 Cubikcentimeter (34 Cubikzoll) kohlensaures Gas + 2,81 Gramm (53 Gran) Wasser, das holzessigsäures und kohlensaures Ammoniak gelöst enthielt, + 530 Milligramm (10 Gran) brenzliches bituminöses Oel. Die in der Retorte verbleibende Kohle wog 3,13 Gramm (59 Gran); sie enthielt 424 Milligramm (8 Gran) Asche.

[165] Destillation ganzer Pflanzen von *Rhododendron ferrugineum*. 10,614 Gramm getrocknete Pflanzen lieferten nach der Destillation in einer zugeschmolzenen Glasretorte bis zur Glühhitze 1982 Cubikcentimeter (100 Cubikzoll) Kohlenwasserstoffgas + 634 Cubikcentimeter (32 Cubikzoll) kohlensaures Gas + 3,34 Gramm (63 Gran) Wasser, welches holzessigsäures Ammoniak mit einem Ueberschuss an Holzessig enthielt, + 1,7 Gramm (32 Gran) brenzliches bituminöses Oel. Die in der Retorte zurückgebliebene Kohle wog 2,813 Gramm (53 Gran); sie enthielt 159 Milligramm (3 Gran) Asche.

Destillation des schwarzen Humus von obigem *Rhododendron*. 10,614 Gramm (200 Gran) des getrockneten und bis zur Glühhitze destillirten Humus lieferten 2040 Cubikcentimeter (103 Cubikzoll) Kohlenwasserstoffgas + 673 Cubikcentimeter (34 Cubikzoll) kohlensaures Gas + 3 Gramm (57 Gran) Wasser, welches holzessigsäures und kohlensaures Ammoniak enthielt, + 557 Milligramm (11 Gran) brenzliches bituminöses Oel. Die Kohle des Destillationsrückstandes wog 3,45 Gramm (65 Gran); sie enthielt 689 Milligramm (13 Gran) Asche.

Die Destillation des Humus von Gras und von der Tanne, sowie die dieser Pflanzen selbst, [166] lieferte mir Producte, welche die nämlichen Unterschiede darboten. Hieraus geht hervor, dass die unzersetzten Gewächse bei gleichem Gewichte mehr Sauerstoffgas und weniger Kohlenstoff als ihr Humus enthalten; wir wissen jedoch nicht, ob der Kohlenstoff in demselben gänzlich an die anderen Bestandtheile gebunden ist.

Das Stickgas findet sich in viel grösserem Verhältniss in dem Humus als in der unzersetzten Pflanze. Dies Ergebniss kann nicht überraschen, da die in Berührung mit der Luft gährenden Gewächse fast kein Stickgas entwickeln. Indessen kann man nicht dieser einzigen Ursache alles kohlen saure Ammoniak zuschreiben, welches ich bei der Destillation erhielt; ohne Zweifel rührt es zum Theil von den Insecten her, welche im Humus leben und ihre Abfälle in demselben zurücklassen.

Der berühmte *Klaproth* gewann bei der Destillation des Torfs Producte*), welche unzweifelhaft nur sehr wenig Stickgas enthielten, weil der Holzessig in überreicher Menge vorhanden war. Aber der Torf kann nicht als ein wirklicher Humus betrachtet werden. Er ist der Rückstand bei der im stagnirenden Wasser und zum Theil ohne Berührung mit Luft stattfindenden Zersetzung der Gewächse; [167] denn in diesem Fall entwickeln sie Stickstoff in der Gestalt eines Gases. Der Torf scheint eine geringere Menge Kohlenstoff zu enthalten, als der ausgegebildete Humus. Man vergleiche die Verkohlungen des Humus Nr. 8, 15 und 19 mit denen des Torfes Nr. 32 und folgende in der diesem Kapitel angehängten Tabelle.

Die Säuren äussern in einem Gemisch mit Humus keine merkliche Wirkung, sie rufen in demselben kein Aufbrausen hervor, sie lösen den Humus nicht vollständig, sie beladen sich mit einem Theile des Eisens und der erdigen Bestandtheile, welche er enthält, aber mit sehr wenig der vegetabilischen Substanz; die concentrirte Salz- und Schwefelsäure verwandeln diese in der Wärme in Kohle und entwickeln aus ihr nach einer Angabe von *Vauquelin* Essigsäure.

Der Alkohol löst den Humus nicht, er entzieht ihm gewöhnlich eine kleine Menge Extractivstoffe und Harz, welche höchstens zwei oder drei Hundertsteln vom Gewicht des Humus entspricht.

*) Beiträge zur chemischen Kenntniss, 3. Band.

Kali und Natron lösen den Humus fast gänzlich auf; er entwickelt während ihrer Einwirkung Ammoniak. Diese Lösung wird von Säuren zersetzt, [168], sie fallen aus derselben ein im Verhältniss zu dem zu dieser Operation benutzten Gewicht wenig reichliches, braunes, brennbares Pulver.

§ 2.

Ueber die Extractivstoffe des Humus.

Der Humus ist der Hauptsache nach im Wasser unlöslich. Dasselbe entzieht ihm Extractivstoffe, welche nicht mehr der Humus selbst sind. In den folgenden Versuchen werde ich einen Ueberblick über die Extractmenge geben, welche reines Wasser, das auf einen fruchtbaren Boden fällt, aufnimmt.

Ich füllte ein grosses Gefäss mit fast reinem Grashumus und begoss denselben so lange mit destillirtem oder Regenwasser, bis er nichts mehr aufnehmen konnte; nach fünf Tagen wurde er der Wirkung einer Presse unterworfen. Zehntausend Gewichtstheile ausgepresste und filtrirte Flüssigkeit lieferten beim Eindampfen bis zur Trockenheit ein sechsundzwanzig Gewichtstheile wiegendes trockenes Extract.

Denselben Versuch stellte ich die gleiche Zeit über mit der schweren Erde aus einem Gemüsegarten, der mit Mist gedüngt worden war, an. Zehntausend Gewichtstheile ausgepresstes Wasser lieferten ein trockenes Extract von zehn Gewichtstheilen.

[169] Dasselbe Experiment unter gleichen Verhältnissen mit dem leichten Boden eines Feldes, das eine schöne Getreideernte brachte, wiederholt, gab auf zehntausend Theile Wasser vier Theile Extract.

Der Humus war vor dem Versuch trocken, und das zu seiner Benetzung benutzte Wasser enthielt kein kohlensaures Gas. Aber das Wasser verhielt sich nicht mehr ebenso, als es dem Humus nun wieder entzogen wurde; da trübte es Kalkwasser durch Bildung von kohlensaurem Kalk, aber nicht viel stärker als die gewöhnlichen Quellwasser. Hundert Cubikzoll Humuswasser, welches gleich in die Retorte ausgepresst worden war, in welcher ich dasselbe unmittelbar nach der Auspressung einer Kochung unterzog, lieferten eine Luft, die allerhöchstens 2 Cubikzoll kohlensaures Gas enthielt. Diese Bestimmung kann nicht sehr genau sein, aber andere Beobachtungen deuten daraufhin, dass

die Menge kohlen-saures Gas, welches die Wurzeln aus einem gewöhnlichen Boden schöpfen, nicht beträchtlich ist.

Bringt man in einen Ballon den ganzen oberen Theil einer grünen in Humus wurzelnden Pflanze und schliesst sorgfältig den Hals dieses Gefässes an der Ursprungstelle des Stengels, so kann man erst nach mehreren Tagen oder selbst mehreren Wochen [170] eine kleine Verbesserung der Luft im Ballon bemerken, obgleich das Volumen des durch die Blätter ausgehauchten Wassers sehr gross war.

Die Extractmenge, welche kochendes Wasser aus reinen, natürlichen*) und auf freiem Felde gebildeten Humusarten abscheiden kann, ist unbedeutend. Ich unterwarf diese Humusarten zwölf auf einander folgenden Abkochungen, von denen jede eine halbe Stunde dauerte und mit einer das vierundzwanzigfache des Gewichtes des Humus übertreffenden Menge Wasser angestellt worden war. Die Extractmenge, welche ich durch alle diese Operationen sammeln konnte, überstieg den elften Theil des Gewichtes des Humus nicht, häufig war sie viel geringer. Mir schien ein reiner Humus, der nach den zwölf erwähnten Abkochungen eine Extractmenge gleich dem elften Theil seines Gewichtes lieferte, unter gleichen Verhältnissen für Saubohnen und Erbsen weniger fruchtbar zu sein als derselbe Humus, der nur die Hälfte oder zwei Drittel der angegebenen Extractmenge enthielt.

[171] Wenn die Extractmenge, welche der Humus besitzen muss, um eine schöne Vegetation zu unterhalten, nicht zu gross sein darf, so darf sie auch nicht zu klein sein. Ich unterwarf einen fast reinen Humus zwölf auf einander folgenden Abkochungen unter Erneuerung des Wassers; in zwei mit ihm gefüllte Blumentöpfe säete ich Saubohnen, Erbsen und Gerstenkörner und begoss sie mit Regenwasser, dessen Reinheit derjenigen des destillirten Wassers gleichgesetzt werden konnte. Gleiche Samenkörner sind zur nämlichen Zeit in zwei den vorhergehenden gleichen und mit demselben Humus gefüllte Töpfe gesäet worden; diesem Humus war jedoch sein Extract nicht entzogen worden. Die Pflanzen trugen in beiden Versuchen

*) Ich verstehe unter dieser Bezeichnung einen Humus, der nach seiner Verbrennung nur eine kleine Menge Asche hinterlässt, die nicht den zehnten Theil seines Gewichtes übersteigt. Auch setze ich voraus, dass der Humus nicht durch Dünger verbessert, noch durch eine künstliche Anhäufung von Gewächsen, welche zu gleicher Zeit abgestorben sind, gebildet wurde.

fruchtbare Samen, aber das Gewicht dieser Pflanzen und ihrer Samen war um ein Viertel grösser, wenn sie in dem mit seinem Extract versehenen, als wenn sie in dem erschöpften Humus gewachsen waren. Indessen veränderte die Wirkung der Abkochungen seine äusseren Kennzeichen nicht; man kann ihn mit dem Auge und beim Berühren nicht von demjenigen unterscheiden, der sein Extract behielt. Nur schien mir der erschöpfte Humus eine grössere Menge Wasser einsaugen und an sich halten zu können.

Hundert Theile trockner und seiner löslichen Bestandtheile zum grössten Theil beraubter Humus [172] konnte 477 Theile Wasser zurückhalten.

Der trockene, nicht gewaschene Humus konnte höchstens 400 Theile zurückhalten.

Hierin verhält sich der Humus wie das Holz, er kann durch das Wasser nicht vollständig seiner Extractstoffe, wenigstens unter unseren Augen und in Berührung mit Luft, beraubt werden. Die ersten Macerationen oder Abkochungen entziehen ihm mehr Extract als die folgenden, aber bald gelangt man an einen Punkt, wo er eine constante Menge liefert, welche sich nicht mehr merklich vermindert. Wenn man den befeuchteten Humus der lange andauernden Einwirkung der äusseren Luft aussetzt, erleidet er, nachdem er dies Maximum der Erschöpfung erreicht hat, eine Veränderung, kraft welcher er eine grössere Menge Extract als bei der vorhergehenden Abkochung liefern kann. Zehntausend Gewichtstheile trocknen schwarzen Humus von *Rhododendron ferrugineum*, welche nach der Verbrennung 65 Theile Asche lieferten, wurden mit dem vierundzwanzigfachen ihres Gewichtes an destillirtem Wasser gekocht, diese Abkochung lieferte nach der Filtration ein 250 Theile wiegendes Extract. Dasjenige der 9. Abkochung wog 40 Theile. Die 10. und 11. Abkochung gaben getrennt eine gleiche Menge. Der bis zu diesem Grade erschöpfte und befeuchtete Humus wurde drei Monate lang geschützt vor Staub der Wirkung der Luft ausgesetzt. [173] Nach diesem Zeitpunkt wurde er einer 12. Abkochung gleich der vorhergehenden unterworfen und lieferte ein 58 Theile wiegendes Extract. Maceration in kaltem Wasser bringt übereinstimmende Wirkungen hervor. Diese lange Zeit fortgesetzten und mehr als fünfzig Mal mit demselben schon durch die Abkochung erschöpften Humus wiederholten Macerationen riefen immer wenigstens in Berührung mit Luft durch ein sehr lösliches Extract gefärbte Aufgüsse hervor.

Der durch die Abkochung zum Theil seiner Extractivstoffe beraubte Humus liefert bei der Destillation nahezu dieselben Producte wie der nicht erschöpfte Humus, nur ist die Menge der bei dieser Operation zurückbleibenden Kohle ein wenig beträchtlicher in dem theilweise erschöpften Humus. Hundert Theile dieses letzteren lieferten $33\frac{1}{4}$ Theile Kohle, die $5\frac{1}{4}$ Theile Asche enthielt. Hundert Theile des nämlichen, aber mit seinem Extract versehenen Humus lieferten bei der gleichen Operation 31 Gran Kohle, die $6\frac{1}{2}$ Theile Asche enthielt^{*)}. Diese Zunahme in dem Verhältniss des Kohlenstoffs des Humus liegt zwischen sehr engen Grenzen. [174] Als ich von Neuem diesen erschöpften Humus mehreren auf einander folgenden Abkochungen unterwarf, konnte ich das Kohlenstoffverhältniss nicht vergrössern, obgleich ich durch diese Operationen eine grosse Menge Extract auszog.

Das Humusextract zerfliesst nicht; bei der Destillation liefert es kohlensaures Ammoniak. Die der Syrupconsistenz genäherte wässerige Lösung dieses Extractes ist weder alkalisch noch sauer; sie hat einen zuckerigen Geschmack, an der Luft bildet sie einen Niederschlag, nach einigen Augenblicken wird sie durch Kalkwasser, kohlensaures Kali und die meisten metallischen Lösungen getrübt. Wenn man sie mit Alkohol mischt, wird ein Theil gelöst und ein anderer unlöslicher davon getrennt. Der in Alkohol lösliche Stoff zerfliesst leicht. Das durch die ersten Macerationen des Humus mit Wasser gewonnene Extract enthält bei gleichem Gewicht ein grösseres Maass des zerfliesslichen Stoffes als das durch die folgenden Macerationen gewonnene Extract^{**)}.

[175]

§ 3.

Von den im Humus enthaltenen Salzen.

Die Reagentien lassen gewöhnlich durch ihren einfachen Zusatz zu dem Aufguss eines natürlichen, auf freiem Felde gebildeten Humus keine nennenswerthen Mengen von Kali, salzsauren und

^{*)} Man sehe die zu diesen Verkohlungen benutzten Verfahren in der Anmerkung am Ende dieses Kapitels.

^{**)} Ich weiss nicht, ob dieser zerfliessliche extrahirte Stoff durch den nicht zerfliesslichen Stoff, der reichlich vorhanden ist, so eingehüllt wird, dass er verhindert wird, aus der Luft Feuchtigkeit anzuziehen, oder ob der Alkohol in den Extractstoffen eine neue Verbindung bedingt.

schwefelsauren Alkalien entdecken, wenn er nichts von ihnen aus dem Untergrunde, auf welchem er ruhte, aufgenommen hatte. Die meisten der in den Gewächsen enthaltenen alkalischen Salze verrathen ihre Gegenwart nur durch den Verbrennungsrückstand; ebenso verhält es sich mit den in dem Humus enthaltenen Salzen.

Mehrere Schriftsteller glaubten, dass die Pflanzen sich selbst die Salze, welche sie enthalten, schaffen, weil die Asche der meisten natürlich vorkommenden Humusarten keine Salze an kochendes Wasser abgeben. Diese Schlussfolgerung ist unzweifelhaft voreilig. Alle von mir geprüften Humusarten enthielten alkalische Salze, obgleich ihre Aschen oft für Wasser unangreifbar waren. Diese Salze wurden jedoch in der Asche durch eine halbe Verglasung mit erdigen Stoffen zurückgehalten, da diese letzteren überreichlich vorhanden waren. Hundert Theile Grashumus lieferten mir bei der Verbrennung fünfzig Theile Sand oder Asche, [176] welche an kochendes Wasser keine salzigen Bestandtheile abgaben. Aber 100 Theile des trocknen Extractes von dem nämlichen Humus lieferten 14 Theile Asche, und 100 Theile dieser letzteren bildeten mit kochendem Wasser eine Lauge, welche 25 Theile Salze, nämlich freies Kali, salzsaure und schwefelsaure Alkalien enthielt. Eine weitere Analyse zeigte mir, dass das Wasser nur die Hälfte der in dieser Asche enthaltenen Salze ausgezogen hatte.

Hundert Theile Rhododendron-Humus enthielten $6\frac{1}{2}$ Theile Asche. Hundert Theile dieser Asche konnten an das Wasser nur $\frac{1}{2}$ Theil alkalischer Salze abgeben. Hundert Theile Asche von dem Extract dieses nämlichen Humus gaben an das Wasser ein Drittel ihres Gewichtes an alkalischen Salzen ab und es fehlte noch viel, dass diese Flüssigkeit sie vollständig ausgezogen hätte.

Ich stellte dieselben Versuche mit sechs anderen sehr verschiedenen Humusarten an, sie lieferten mir alle übereinstimmende Ergebnisse.

[177]

§ 4.

Ueber die Veränderungen, welche das Sauerstoffgas durch seine Berührung mit dem Humus erleidet.

Der Humus ist der Rückstand einer verfaulten Substanz, aber er ist selbst nicht mehr der Fäulniss fähig. Er kann sogar als Antisepticum betrachtet werden; denn die Extractivstoffe, welche

er enthält, sind isolirt fähig, in die faulige Gährung überzugehen; sie unterliegen derselben nicht, wenn sie mit dem Humus vereinigt bleiben. Ich hielt ein Jahr lang reine, nicht erschöpfte Humusarten in mit Wasser gefüllten und mit Quecksilber abgeschlossenen Recipienten; sie gaben dort kein Gas von sich ausser vielleicht jener kleinen Menge kohlen-saures Gas, mit welcher sich das Wasser, das sie bedeckte, beladen konnte.

Man kann nicht daran zweifeln, dass der Humus, wenn man seine salzigen und erdigen Bestandtheile ausnimmt, durch die vereinigte Wirkung der Luft und des Wassers vollständig zerstörbar ist. Ohne mich zum Beweis dessen auf kleinliche Untersuchungen zu beziehen, kann ich nichts besseres thun, als die Beobachtungen meines Vaters (*Voyages dans les Alpes* § 1319) über den Humus, welcher die Ebenen zwischen Turin und Mailand bedeckt, und dessen Cultur bis ins graueste Alterthum zurückgeht, hierherzusetzen.

[178] »Die geringe Dicke der Humusschicht, welche man in diesen Ebenen wahrnimmt, scheint mir daher zu beweisen, dass man die Menge dieser Erde nicht als einen Maasstab für die Zeit betrachten kann, welche verstrichen ist, seitdem das Land anfang, Gewächse hervorzubringen; denn in einem Raume von 10 Meilen zwischen Turin und St. Germano sah ich sie nirgends bis zur Dicke von einem Fuss gehen. Nun beweist aber meines Erachtens die Geringfügigkeit dieser Menge, dass diese Erde einer Zersetzung unterworfen ist, die ihrer Zunahme eine Grenze setzt; denn wie erklärt es sich ohne diese Zersetzung, dass ein flaches fruchtbares und seit mehr denn dreitausend Jahren cultivirtes Land nicht eine dickere Humusschicht besitzt?

»Diese Zerstörbarkeit des Humus ist eine über jede Ausnahme erhabene Thatsache, und die Ackerbauer, welche den Dünger durch häufiges Umpflügen ersetzen wollten, haben die traurige Erfahrung davon gemacht. Sie haben gesehen, dass ihre Landgüter allmählich verarmten, und dass ihre Felder durch die Vernichtung des Humus unfruchtbar wurden.«

»Da also diese Erde zerstörbar ist, so muss die Menge, welche zerstört wird, bis zu einem bestimmten Grade ihrer absoluten Menge proportional sein, [179] und da andererseits die jährlich gebildete Menge begrenzt ist, so muss ihre Zunahme nothwendig bestimmte Grenzen haben.«

»Die Grenzen dieser Zunahme müssen nach dem Klima, nach der Natur und der Lage des Grundes, welcher dem Humus als

Unterlage dient, nach den Pflanzen, welche auf ihm wachsen, nach der Art der Cultur, welche man ihm angedeihen lässt, und schliesslich nach der Fruchtbarkeit des Landes verschieden sein. Aber selbst wenn die Ursachen, welche darauf hinzielen, die Dicke dieser Erdschicht zu vergrössern, sich vereinigt fänden, so könnte man nicht zweifeln, dass sie schliesslich ein gewisses Maximum erreichen würde, über welches hinaus die zersetzenden Ursachen, welche den bildenden gleich geworden sind, ihr eine weitere Zunahme nicht gestatten würden.«

Reine mit destillirtem Wasser imbibirte Humusarten, die in mit atmosphärischer Luft oder Sauerstoffgas gefüllten und mit Quecksilber abgesperrten Recipienten eingeschlossen waren, bildeten in denselben kohlensaures Gas, indem sie das Sauerstoffgas zum Verschwinden brachten; niemals jedoch konnten sie das Volumen dieser Atmosphäre um eine grössere Menge als das Volumen des Wassers, welches sie zu befeuchten diente, verkleinern, welches auch immer die Menge des Humus und die Dauer des Versuches war; [180] dieser wurde einige Male länger als ein Jahr fortgesetzt. Wenn dies Wasser vorher mit kohlensaurem Gas imprägnirt worden war, änderten die Humusarten das Volumen ihrer Atmosphäre nicht. Das verbrauchte Sauerstoffgas fand sich in genau gleicher Menge in dem gebildeten kohlensauren Gas wieder, und es wurde weder Wasserstoff noch Stickgas entwickelt.

Augenscheinlich geht aus diesen Versuchen hervor, dass der Humus das atmosphärische Sauerstoffgas weder bindet noch verbraucht. Die Wirkung des letzteren beschränkt sich bloss darauf, dem Humus Kohlenstoff zu entziehen.

Um die soeben mitgetheilten Ergebnisse zu erhalten, darf der Humus nicht mit eisenhaltigen oder thonigen Absätzen beladen sein. Das in diesen Absätzen enthaltene unvollkommen oxydirte Eisen verbindet sich in der That mit dem Sauerstoffgas; aber diese Wirkung wird jedoch nicht durch den Humus, noch durch die reinen Erden, noch selbst durch das Eisen und Mangan, welche mit dem pflanzlichen Theil des Humus in Verbindung treten, und welche durch die Einäscherung in demselben angezeigt wurden, hervorgerufen.

Das Sauerstoffgas entzieht dem mit seinen Extractivstoffen versehenen Humus eine grössere Menge Kohlenstoff als demjenigen, der durch Abkochungen derselben beraubt ist.

Dieser letztere bildete bei gleichem Gewicht mit dem atmosphärischen Sauerstoff die Hälfte weniger an kohlensaurem Gas als der nämliche nicht erschöpfte Humus.

[181] Der befeuchtete und in Gefässen, welche die Extractivstoffe nicht entweichen lassen, eingeschlossene Humus verliert, im trockenen Zustand betrachtet, einen Theil seines Gewichtes durch die Berührung mit dem Sauerstoffgas, und dieser Verlust ist grösser als das Gewicht des Kohlenstoffs, welcher ihm durch dies Gas entzogen wird. In einer Glaskapsel mischte ich 30,57 Gramm (eine Unze) Rhododendron-Humus, der im Schatten bei einem bestimmten Grade des Thermometers und Hygrometers getrocknet worden war*), mit Wasser, bis er nichts mehr davon aufsaugen konnte; diese Kapsel stellte ich unter einen mit atmosphärischer Luft gefüllten Recipienten, dessen Luft mehrmals erneuert und bei diesem Verfahren jedesmal endiometrisch geprüft wurde. Der Versuch dauerte vier Monate; davon brachte der Humus drei unter einem Recipienten zu, und brauchte einen um im Schatten in freier Luft bei dem nämlichen Grade zu trocknen, den er vor seiner Mischung mit dem Wasser besass. Dann fand ich, dass sich sein Gewicht um 849 Milligramm oder 16 Gran vermindert hatte. [182] Während seiner Absperrung unter dem Recipienten brachte er 476 Cubikcentimeter (24 Cubikzoll) Sauerstoffgas zum Verschwinden und ersetzte sie durch das gleiche Volumen kohlensaures Gas. Demnach bildete er während des ganzen Versuches ungefähr 32 Cubikzoll kohlensaures Gas, wenn vorausgesetzt wird, dass die Bildung des kohlensauren Gases während des Einschlusses und während des Trocknens die gleiche war.**). Da nun aber 32 Cubikzoll kohlensaures Gas nach *Lavoisier* 6 Gran Kohlenstoff enthalten, so muss der Humus ausser diesem Element eine 10 Gran Wasser entsprechende Menge Sauerstoff- und Wasserstoffgas verloren haben.

Das Verhältniss des Kohlenstoffs vergrössert sich durch den Entzug des Wassers in dem Rückstande der Gewächse, welche sich in Humus verwandeln, aber der Kohlenstoff nimmt, wie ich

*) Dieser Humus fühlte sich schon lange vollkommen trocken an; obgleich er nicht zerfliesslich war, schwankte sein Gewicht doch nach dem Stand des Thermometers und Hygrometers.

**) Der Humus bildet wahrscheinlich weniger kohlensaures Gas unter sonst gleichen Umständen unter einem Recipienten als in freier Luft; da er aber fast keine Einwirkung auf das Sauerstoffgas in den letzten Stadien des Trocknens ausübt, die viel Zeit in Anspruch nehmen, so glaube ich, dass dasjenige kohlensaure Gas, welches ich dem Trocknen zuschreibe, vielmehr im Ueberfluss vorhanden ist, als dass es fehlt.

glaube, bei dieser Operation nicht in dem ausgebildeten Humus zu; er muss nahezu durch die Einwirkung der Luft und des Wassers sein Sauerstoffgas, Wasserstoffgas und seinen Kohlenstoff in dem nämlichen Verhältniss verlieren. [183] Wenn er sein Sauerstoffgas und Wasserstoffgas in grösserem Verhältniss als seinen Kohlenstoff verlöre, so würde man oftmals auf einem seit langer Zeit von Vegetation entblösten Boden Rückstände finden, welche fast reiner Kohlenstoff oder Kohle sein müssten. Man begegnet aber niemals Derartigem, sie liefern alle bei der Destillation Producte, in denen der Kohlenstoff höchstens die Hälfte ausmacht.

Der Kohlenstoff ist ein sehr kräftiges Antisepticum, und der Zustand, in dem er sich in dem Humus findet, scheint geeignet zu sein, diesem zum Theil jene Eigenschaft mitzuthellen. Ich füllte mehrere gleiche Gefässe mit verschiedenen reinen oder fast reinen Humusarten; in jedes der Gefässe legte ich eine gleich grosse Menge Rindfleisch. Derselbe Versuch wurde unter sonst gleichen Umständen mit Sägespänen von den Hölzern, von welchen diese Humusarten stammten, mit reiner Kohle, mit Kalksand, mit Kiesel sand, mit thonigem Sande und bei freier Luft angestellt. Das Fleisch hielt sich ohne Veränderung ein wenig länger in der Kohle als in dem Humus, aber viel länger im Humus als in den Sägespänen, den verschiedenen Sandarten und als an freier Luft. [184] Es wird zum Theil aus dieser antiseptischen Wirkung des Humus ersichtlich, dass es etwas sehr Verschiedenes ist, ob man Pflanzen, um die Vegetation zu unterhalten, mit isolirten und erneuerten Extractlösungen ernährt, oder ob man ihnen Humus liefert. Der unlösliche Theil desselben verhindert die nicht zersetzten vegetabilischen Stoffe, den Pflanzen in Gährung begriffene Säfte zu liefern, die der Vegetation stets schädlich sind.

Rückblick.

Der Kohlenstoff findet sich in grösserem Verhältniss im Humus als in den Pflanzen, aus denen dieser stammt. Indessen scheint das Verhältniss des Kohlenstoffs, welchen der Humus enthält, nicht ansehnlich durch die andauernde Wirkung derjenigen Ursachen, welche ihn bildeten, vergrössert werden zu können.

Der befeuchtete, aber im trockenen Zustand betrachtete Humus verliert bei der Temperatur der Atmosphäre durch die Berührung mit Sauerstoffgas an Gewicht. Letzteres wird nicht

in ihm gebunden, es vereinigt sich auch nicht mit dem Wasserstoffgas des Humus, um Wasser zu bilden. Das Sauerstoffgas entzieht ihm nur Kohlenstoff. Indem der Humus dies Element verliert, giebt er zu gleicher Zeit sein Sauerstoff- und Wasserstoffgas in Gestalt von Wasser und einem im demselben löslichen Extract ab. [185] Der Humus scheint also bei der Temperatur der Atmosphäre durch die vereinigte Wirkung des Sauerstoffgases und wässeriger Abspülungen vollständig zerstörbar zu sein.

Die extrahirten Säfte des Humus tragen bis zu einem gewissen Grade zu seiner Fruchtbarkeit bei; ihre Asche enthält alle Bestandtheile der Pflanzenasche.

Der reine Humus ist antiseptisch.

Anmerkung

Ueber die Verkohlung verschiedener vegetabilischer Substanzen.

Wenn man ein Gewächs oder einen seiner organischen Stoffe in einer zugekitteten Retorte destillirt, so genügt der Grad des Feuers, welchen dieselbe ohne zu schmelzen ertragen kann, oft nicht, um allen Wasserstoff, welcher mit der Kohle verbunden bleibt, und welcher bei höherer Wärme entbunden werden könnte, auszutreiben. Dies Verfahren würde indessen nicht ungeeignet sein, um über die relativen Mengen Kohle, welche in den nicht flüchtigen vegetabilischen Substanzen enthalten sind, ein Urtheil zu fällen, wenn bei einem höheren Grad des Feuers, als ihn die Retorte ertragen kann, die verschiedenen Kohlen den Wasserstoff stets in dem nämlichen Verhältniss zurückhielten. [186] Aber so verhält es sich nicht. Die vegetabilischen Substanzen, welche wie gewisse Samen dicht sind und die Fähigkeit haben, durch die Wirkung des Feuers weich zu werden, halten den Wasserstoff in grösserem Verhältniss zurück als diejenigen, welche lockerer sind und nicht wie die meisten Hölzer weich werden.

In den Ergebnissen, welche ich mitzutheilen im Begriffe stehe, überstieg der zur Verkohlung benutzte Feuerungsgrad denjenigen, welcher Silber in Fluss hält; und da das Gewicht der verschiedenen Kohlen sich nicht änderte, als sie einer höheren Temperatur unterworfen wurden, habe ich Grund zu glauben, dass sie unter einander vergleichbar sind. Die Art und Weise das Feuer zu behandeln, oder die Zeit, welche bis zur Erreichung

des höchsten angewandten Wärmegrades verstrich, änderte ich nicht.

Um solche Verkohlungen zu bewerkstelligen, hülle ich die trockene vegetabilische Substanz in Papier ein, woraus ich ein dichtes Knäuel mache, welches in eine cylindrische Eisenbüchse oder in ein an einem Ende offenes, am anderen Ende geschlossenes Rohr von 9 Centimeter Höhe und 4 Centimeter Weite eingeführt wird. Ueber dem Knäuel bringe ich einen Eisenstöpsel an, der mit einem verticalen Arm versehen ist, um ihn herauszuziehen; er nimmt genau den inneren Durchmesser des Cylinders ein. Die Eisenplatte wird in dieser Stellung mit Thon festgekittet [187] und mit einer Lage Kohlenstaub und einer zweiten Lage Asche bedeckt.

Nach der Operation wiege ich das verkohlte Knäuel, ohne es zu verändern, so lange es warm ist, und ziehe davon das Gewicht der Papierkohle ab, das durch eine vorgängige Operation festgestellt worden war.

Die zum Einsammeln, Trocknen und Veraschen der Gewächse benutzten Vorsichtsmaassregeln sind die nämlichen, wie sie im Kapitel IX werden angegeben werden.

In mehreren Fällen kann man über die relativen Mengen der von verschiedenen Substanzen gelieferten Kohle nur urtheilen, wenn man sie als aschefrei berechnet. Das Ergebniss dieser Berechnungen ist in der fünften Spalte der Tabelle über die Verkohlungen eingetragen worden. Ich führe ein Beispiel dafür an; 100 Gewichtstheile Humus von Tannennadeln (No. 19) lieferten 28 Theile Asche; 100 Theile desselben Humus gaben $52\frac{1}{2}$ Theile aschehaltige Kohle. Indem ich diese Asche von dem Humus und der Kohle abziehe und die Proportion $100 - 28 : 52,5 - 28 = 100 : x$ ansetze, finde ich, dass 100 Theile dieses aschefreien Humus 34 Theile Kohle geliefert haben würden.

[188]

Verkohlungen

No. der Ver- koh- lung	Bezeichnung der Substanzen	Gewicht der von 100 Theilen Trocken- substanz gelieferten Kohle	Gewicht der in 100 Theilen Trocken- substanz enthaltenen Asche	Gewicht der von 100 Thei- len Trocken- substanz gelieferten Kohle nach Abzug der Asche
1	Eichenholz (<i>Quercus robur</i>), vom Splint getrennt	19,75	0,2	19,69
2	Rinde zu dem vorstehenden Holz gehörig	17,5	0,4	17,16
3	Holz und Rinde der vorstehen- den Eiche, durch wieder- holte Abkochungen vom Extract befreit	16,75	0,2	16,54
4	Rinde des Stammes der vor- stehenden Eiche	26	5	22,1
5	Bast vorstehender Rinde	24,8	6,2	19,82
6	Rinde von Eichenzweigen von 1 Centimeter (5—6 Linien) Durchmesser	26,6	6	21,92
7	Berindete Eichenzweige von 1 Centimeter (5—6 Linien) Durchmesser	17	0,4	16,66
8	Brauner Humus v. Eichenholz	28,5	4	25,44
[189] 9	Eichenholz, welches ohne Luftberührung durch Fäul- niss weiss geworden war	20	6,8	14,1
10	Im Mai gesammelte Eichen- blätter	30	5,3	26,1
11	Im September gesammelte Eichenblätter	26	5,5	21,69
12	Levantische Galläpfel	30	2	28,57
13	Kork	22	0,87	21,31
14	Ganze Pflanzen von <i>Rhodo- dendron ferrugineum</i>	23,5	1,6	22,5
15	Schwarzer aus vorstehender Pflanze gebildeter Humus	31	6,5	26,2
16	Der nämliche Humus, aber durch wiederholte Abkoch- ungen seines Extractes be- raubt	33,25	5,25	28,58

Verkohlungen

No. der Ver- koh- lung	Bezeichnung der Substanzen	Gewicht der von 100 Theilen Trocken- substanz gelieferten Kohle	Gewicht der in 100 Theilen Trocken- substanz enthaltenen Asche	Gewicht der von 100 Thei- len Trocken- substanz gelieferten Kohle nach Abzug der Asche
17	Berindetes Holz von der Tanne (Pinus abies)	20,	0,34 nach <i>Kirwan</i>	19,72
18	Blätter vorstehender Tanne	24,5	3	22,16
19	Aus den Blättern vorstehender Tanne gebildeter Humus	52,5	28	34
[190] 20	Vom Splint getrenntes Holz des Maulbeerbaums (Morus nigra)	23,25	0,7	22,7
21	Splint zu diesem Holz gehörig	17,25	1,3	16
22	Rinde d. vorstehenden Baumes	25	8,9	17,68
23	Bast dieser Rinde	18,1	8,8	10,19
24	Berindete Zweige vom Hasel- strauch (Corylus avellana) v. 1 Centim. (5 Linien) Durchm.	16,5	0,5	16,08
25	Rinde dieser Zweige	25,6	6,2	20,68
26	Blätter d. vorstehenden Hasel- strauches, im Mai gesammelt	29,25	5,8	24,9
27	Dieselben, im Juni gesammelt	29,5	6,2	24,84
28	Dieselben, im September ge- sammelt	28	7	22,58
[191] 29	Holz der Hainbuche (Carpinus betulus)	17,75	0,6	17,25
30	Zu diesem gehöriger Splint	17,5	0,7	16,92 Bei diesem Baum war der Splint sehr wenig vom Holz unter- schieden.
31	Rinde d. vorstehenden Baumes	30,5	13,5	19,74
32	Torf, von <i>Klaproth</i> analysirt	38,75	18,5	23,62 Diese in einer Glas- retorte vor- genommene Verkohlung kann nicht vollendet ge- wesen sein.

[192]

Verkohlungen

No. der Ver- koh- lung	Bezeichnung der Substanzen	Gewicht der von 100 Theilen Trocken- substanz gelieferten Kohle	Gewicht der in 100 Theilen Trocken- substanz enthaltenen Asche	Gewicht der von 100 Thei- len Trocken- substanz gelieferten Kohle nach Abzug der Asche
33	Holländischer Torf	34,25	21,3	16,45
34	Weizenpflanzen, den 1. Mai, einen Monat vor ihrer Blüthe geerntet	25	7,9	18,56
35	Dieselben in Blüthe, d. 14. Juni	25	5,4	20,71
36	Dieselben, reife Samen tra- gend, den 22. Juli	26,6	3,3	19,95
37	Stroh der vorstehenden Pflan- zen, von den Körnern ge- trennt	23,6	4,3	20,13
38	Körner vorstehender Pflanzen	20,5	1,3	19,15
[192] 39	Weizenmehl	19,5	0,82	18,83
40	Kleie	23,25	5,2	19,04
41	Stärke	10,75	0,16	10,6
42	Kleber	22,75	1,25	21,77
43	Gummi arabicum	17,75	2,5	15,64
44	Traganthgummi	16,75	2	15,05
45	Krystallisirter Zucker	18,5	0,1	18,41
46	Weisses ungeleimtes Papier	11	0,88	10,2
47	Holländ. Leinwand, mehr- mals ausgelaugt	14	3	11,31

[193] Der grüne Theil scheint sich von den anderen Theilen der Gewächse durch einen grösseren Gehalt an Kohlenstoff zu unterscheiden.

Das Verhältniss des Kohlenstoffs vermindert sich in den grünen Theilen im Herbste; dann werden sie ihrer Schleim- und Extractivstoffe beraubt. Diese Stoffe sind sehr reich an Kohlenstoff, da, wie man sieht, ausgewaschenes Holz, Leinwand und Papier dies Element nur in sehr kleinem Verhältniss enthalten.

Das Holz enthält mehr Kohlenstoff als der Splint.

Rinde enthält gewöhnlich mehr Kohlenstoff als Holz und Splint. Dies Ergebniss ist nicht für alle Bäume constant, weil

die Rinde keine homogene Substanz ist; ihre Epidermis allein verwandelt sich bei Berührung mit Luft in Kohlenstoff. Der Bast und die inneren Theile des Korkes erleiden durch dieselbe Ursache diese Veränderung oft nicht, und das Verhältniss ihres Kohlenstoffs schwankt bei verschiedenen Pflanzen nach Umständen, welche zu bestimmen uns unmöglich ist.

[194]

Sechstes Kapitel.

Ueber das Verhalten der Pflanzen in sauerstoffgasfreien Medien.

Indem ich mich in den beiden vorhergehenden Kapiteln mit der Zersetzung, welche die Gewächse nach ihrem Tode erfahren können, beschäftigte, unterbrach ich den Gang meiner Untersuchungen über die Vegetation; aber diese Abschweifung war nothwendig, damit die Wirkung, welche der todten Pflanze oder der Gährung derselben zufällt, von derjenigen unterschieden werden kann, welche der Vegetation angehört.

Die Entwicklung mehrerer Gewächse in sauerstoffgasfreien Medien bietet Erscheinungen dar, welche auf diese beiden Ursachen zusammen zurückzuführen sind.

§ 1.

Von den Pflanzen, welche im Stickgas nicht vegetiren können.

Die Vegetation scheint in reinem Stickgas mit Hülfe von Wasser nur durch den Sauerstoff, welchen ihre grünen Theile aushauchen, unterhalten werden zu können.

[195] Die Pflanzen, welche dieser Theile beraubt sind, oder welche dieselben nur in geringer Menge besitzen, können in dieser Atmosphäre nicht vegetiren. So keimen die Samen nicht in derselben, und wenn man glaubte, von dieser Regel Ausnahmen zu finden, so rührte das daher, dass man zu diesen Versuchen eine zu grosse Menge Wasser anwandte, welches, da es nicht vollständig des in ihm gelösten Sauerstoffgases beraubt werden kann, eine für die erste Entwicklung ausreichende Menge lieferte. Es vollzieht sich nicht nur die Keimung nicht im Stickgas, sondern auch die schon gekeimten Körner sterben regelmässig, wenn sie in dasselbe gebracht werden, falls sie vor ihrer Einführung in dies Gas nur ihr Würzelchen getrieben hatten, ab.