

[240]

Achstes Kapitel.

Von der Aufnahme der Lösungen durch die Wurzeln der Pflanzen.

§ 1.

Wasser und Luft sind als Nahrungsmittel unzureichend, um die vollständige Entwicklung der Gewächse zu bewirken.

Die Wurzeln der Pflanzen sind zu enge Filter, um andere Stoffe als Flüssigkeiten aufnehmen zu können. Wenn sie feste Körper eindringen lassen, so müssen dieselben so verdünnt, so zerkleinert sein, dass ihre Vertheilung in der Flüssigkeit alle Anzeichen einer wirklichen Lösung besitzt*). Die Untersuchungen über die Aufnahme [241] von Lösungen durch die Gewächse sind für die Theorie ihrer Ernährung sehr wichtig, weil sie uns zur richtigen Schätzung der Menge und der Art der Nahrung, welche sie sich mit ihren Wurzeln aus dem Boden aneignen können, führen.

Tull, *Vanhelmont* und selbst einige neuere Naturforscher versuchten zu zeigen, dass die Gewächse aus dem Humus**) nur Wasser schöpfen, und dass der Dünger [242] nur insofern

*) Einen Monat lang ernährte ich dreissig Pflanzen von *Polygonum persicaria* und der Pfefferminze mit destillirtem Wasser, dem ich ein bestimmtes Gewicht fein vertheilter Kieselerde beigemischt hatte, die zum Theil mit Hülfe einer kleinen Menge in dieser Flüssigkeit gelösten Zuckers suspendirt blieb. [241] Nach dem Versuch fand ich weder durch Veraschung der Pflanzen, noch durch eine genaue Prüfung des Rückstandes der eingesogenen Flüssigkeit, dass diese Erde in wahrnehmbarer Weise in das Gewächs eingedrungen war. *Bonnet* liess einige Gewächse Tinte aufnehmen, doch wurde von dem gefärbten nicht gelösten Theil nur eine unwägbare Menge aufgenommen. Er würde viel reichlicher durch die vollkommensten Filter, die wir anfertigen können, eingedrungen sein.

**) Ich halte es für unnöthig, hier die Versuche von *Vanhelmont*, *Tillet*, *Bonnet* und *Duhamel*, welche die hauptsächlichsten Stützen dieser Theorie waren, aufzuzählen. Die Unvollkommenheit ihrer Methoden ist genügend von *Bergmann*, *Kirwan* und *Hassenfratz* nachgewiesen worden; sie hoben besonders hervor, dass die Gefässe, in welchen *Tillet* und *Vanhelmont* Pflanzen vegetiren liessen, porös und in Humus eingegraben waren, was die von diesen Autoren erhaltenen Ergebnisse beeinflussen konnte. *Duhamel*'s Eiche wurde mit einem bereits von Natur mit Extractstoffen beladenen Wasser begossen; *Bonnet*'s Pflanzen dienten zur Unterlage mehr oder minder in Wasser lösliche Substanzen.

auf den Boden wirke, dass er den Pflanzen ein mehr oder weniger geeignetes Hilfsmittel biete, um die Wärme und Feuchtigkeit zurückzuhalten. Diese Schriftsteller setzten voraus, dass die Lebenskraft sowohl der Thiere wie der Pflanzen, indem sie auf verschiedene Weisen die atmosphärische Luft und das Wasser zersetzt oder bindet, alle Stoffe, selbst die Salze, die Erden und die Metalle, welche die Analyse und die Veraschung in den Gewächsen aufweist, bilden könne. Diese verworrene Vorstellung kann ebenso wenig bewiesen werden wie diejenige, Gold zu machen aus Stoffen, welche keins enthalten. Vordem man seine Zuflucht nimmt zu unverständlichen und wunderbaren Verwandlungen, die mit allen bekannten Beobachtungen in Widerspruch stehen, muss man sich sorgfältig versichern, dass die Pflanzen diese Stoffe nicht vorgebildet in den Medien finden, in denen sie sich entfalten, und dass dieselben sie nicht aus ihnen schöpfen.

Andere Autoren näherten sich mehr dem Anschein von Wahrheit, wenn sie annahmen, dass alle Bestandtheile der Pflanzen mit Ausnahme des Wassers ihnen in Gasform geliefert würden. Wenn man jedoch auf die Ergebnisse der unmittelbaren Beobachtung Bezug nimmt, so ist diese Hypothese in ihrer Gesamtheit nicht haltbar. Das Sauerstoffgas und das kohlensaure Gas sind die einzigen uns bekannten luftförmigen Stoffe, von denen sich die Pflanzen in unserer Atmosphäre ernähren können. [243] Die Erfahrung lehrt, dass die meisten unter ihnen das Stickgas nicht assimiliren; indessen macht der Stickstoff einen wesentlichen Antheil der Gewächse aus; man findet ihn beständig im Holz, in den Extracten und in der grünen färbenden Materie. Die Pflanzen enthalten Erden, welche wie bei den Thieren dazu beitragen können, ihre festen oder knöchigen Theile zu bilden; man kann nicht nachweisen, dass diese Substanzen im luftförmigen Zustande in unserer Atmosphäre vorhanden sind, doch erkennt man sie in derselben im suspendirten und dampfartigen Zustande; hingegen lässt sich zeigen, dass sie sich in den Quellen finden, welche die Pflanzenerde bespülen und in die Wurzeln eindringen. Es lässt sich ferner darthun, dass die nämlichen Quellen Extractivstoffe in Lösung halten, von denen der Stickstoff einen wesentlichen Theil ausmacht, und dass die Fruchtbarkeit des Bodens in gewisser Beziehung und innerhalb bestimmter Grenzen von der Menge und der Natur der in Wasser löslichen Bestandtheile, die er enthält, abhängig ist. Endlich erkennt man, dass die Gewächse, indem sie sich diese Stoffe aneignen, schliesslich den Boden erschöpfen oder unfruchtbar machen.

Die Pflanzen, welche von Natur auf dürrem Felsen oder auf reinem Sande wachsen, finden in den Ueberresten von Gewächsen und Thieren, [244] die in unserer Luft schweben, Nahrungsstoffe, welche die gasförmigen Bestandtheile der Luft nicht zu liefern im Stande sind. Diese Körperchen lassen sich auf den Blättern nieder, lösen sich in dem Wasser, welches diese verdichten, und dringen in ihr Inneres ein. Das von den Wurzeln aufgenommene Regenwasser ist mit denselben Stoffen beladen.

Die Gewächse, welche sich vollständig entfalten können, indem sie auf diese Weise aus unserer Atmosphäre ihren ganzen Unterhalt schöpfen, sind nicht sehr zahlreich. Eine so wenig reichliche Nahrung kann nur denjenigen genügen, welche eine an ihren Standort angepasste Organisation haben, nur denjenigen, die ausdauernd sind, und deren sehr langsame Entwicklung der geringen Menge assimilirter Nahrungsstoffe entspricht. Die meisten unter ihnen wie die Moose, die Farnkräuter, die fleischigen Pflanzen, die Fichten sind immergrün; ihre Blätter zersetzen während des ganzen Jahres kohlen-saures Gas; sie bieten den in unserer Atmosphäre herumschwimmenden Körperchen beständig Anhaltepunkte dar; sie transpiriren wenig; sie sind lederartig oder fleischig, und bei solcher Beschaffenheit verlieren sie unter der Einwirkung des Sauerstoffgases der umgebenden Luft nur eine geringe Menge Kohlenstoff. Aber man findet fast niemals auf einem humusfreien Boden einjährige Pflanzen, [245] ihr Wachsthum oder ihre Entwicklung dürfte zu schnell sein, als dass sie in unserer Atmosphäre die grosse Menge Nahrungsstoffe, welche sie verbrauchen, finden könnten.

Sie vergehen, sobald sie die in ihren Samen enthaltene Nahrung aufgesogen haben. Ich versuchte, Samen von Saubohne, Bohne, Erbse und Kresse zur Entwicklung zu bringen, indem ich ihnen als Unterlage reinen Sand oder Pferdehaare in Trichtern darbot, welche das überschüssige destillirte Wasser, mit dem ich sie benetzte, ablaufen liessen. Sie blühten sehr oft, doch konnten ihre Samen niemals reifen. Dessen ungeachtet variirte ich diese Versuche mit aller möglichen Sorgfalt fünf auf einander folgende Jahre hindurch. *Giobert*, *Hassenfratz* und andere Naturforscher sind bei diesen Untersuchungen meine Vorgänger gewesen, ohne günstigere Ergebnisse erhalten zu haben.

Diejenigen, welche glauben, dass die atmosphärische Luft und das Wasser die einzigen Bestandtheile und Nahrungsstoffe der Gewächse sind, werfen dagegen ein, dass der Sand, das Haar

und andere ähnliche Unterlagen keine geeigneten Medien darstellen, um die zum Unterhalt der Vegetation erforderliche Menge Wasser zu liefern.

Dieser Einwand würde begründet sein, wenn nicht mehrere Beobachtungen bewiesen, [246] dass ein Boden zum grössten Theil seiner vegetativen Stoffe beraubt sein kann, ohne dass er von dem fruchtbaren Boden unterschieden werden kann durch die physikalischen Eigenschaften, nämlich durch diejenigen, Wärme und Feuchtigkeit zurückzuhalten, sich von den Wurzeln durchdringen zu lassen und ihnen als Stütze zu dienen. Deshalb verliert, wie bekannt, eine von Quell- und Regenwassern stark ausgewaschene Erde an Fruchtbarkeit, während sie dasselbe Aussehen, dieselbe Farbe, dasselbe Gewicht und dieselbe Festigkeit bewahrt. Als ich wie im Kapitel V, § 2 fast reinem Humus den grössten Theil seiner Extractivstoffe entzog, behielt er seine äusseren Eigenschaften bei. Doch verminderte sich seine Fruchtbarkeit. Wenn es möglich wäre, den Humus seiner löslichen vegetabilischen Stoffe vollständig zu berauben, so würde man ihn vielleicht dem reinen Sande in Bezug auf seine vegetativen Eigenschaften gleichmachen; diese vollkommene Entziehung ist jedoch unmöglich, und man kann hier nur von Annäherung sprechen.

Wenn der Dünger die pflanzliche Ernährung hauptsächlich durch die Gase, welche er entwickelt, begünstigte, so müsste ein Feld, das nicht besäet ist und kein Gewächs hervorbringt, ebenso stark erschöpft werden wie dasjenige, welches eine reiche Ernte ernährt; doch beweisen alle landwirthschaftlichen Operationen das Gegentheil; [247] man findet, dass die Ernten den Boden verarmen, und dass sie ihrer Natur entsprechend, diese Wirkung mehr oder weniger hervorrufen. Im Allgemeinen erschöpfen die substanzreichen und mit reichlicher Transpiration versehenen einjährigen Pflanzen den Boden stärker als die ausdauernden, deren Entwicklung weniger schnell vor sich geht, und als die wenig transpirirenden einjährigen Pflanzen mit saftigen Blättern wie Erbsen, Saubohnen und Buchweizen*).

Man kann noch eine andere Beobachtung machen, die eine nothwendige Folge der vorhergehenden ist, und die dieser wiederum als Beweis dienen muss, nämlich die, dass unter sonst glei-

*) Bibliothèque Britannique. (Mémoires sur la culture du Blé. Agriculture, vol. 5, p. 499.)

chen Umständen die am meisten den Boden erschöpfenden Pflanzen diejenigen sind, welche den an Nährstoffen reichsten Boden verlangen.

§ 2.

Nehmen die Pflanzen in demselben Verhältniss wie das Wasser die in ihm gelösten Substanzen auf?

Ich habe mehrere Lösungen dargestellt, von denen jede 793 Cubikcentimeter oder 40 Cubikzoll destillirtes Wasser, 637 Milligramm oder 12 Gran von dem Körper, den ich sogleich angeben werde, enthielt. [248] Ich werde diese 12 Gran gleich 100 Theilen setzen.

Die 1.	Lösung	enthielt	100	Theile	salzsaures Kali
- 2.	-	-	-	-	salzsaures Natron
- 3.	-	-	-	-	salpetersauren Kalk
- 4.	-	-	-	-	verwittert. schwefels. Natron
- 5.	-	-	-	-	salzsaures Ammoniak
- 6.	-	-	-	-	essigsuren Kalk
- 7.	-	-	-	-	schwefelsaures Kupfer
- 8.	-	-	-	-	krystallisirten Zucker
- 9.	-	-	-	-	arabisches Gummi
- 10.	-	-	25	-	Humusextract*).

In jede dieser Lösungen liess ich mit Wurzeln versehene Pflanzen von *Polygonum persicaria* oder *Bidens cannabina* eintauchen. Für diese Untersuchungen wählte ich besonders Sumpfpflanzen, damit sie weniger von dem Wasserüberschuss, der sie ernähren sollte, leiden möchten. [249] Ich füge hinzu, dass ich sie, vordem ich sie zu dem Versuch benutzte, einige Tage in destillirtes Wasser stellte, bis ihre Wurzeln anfangen, sich zu verlängern.

*) Ich löste keinen getrockneten und vorher zubereiteten Extract in Wasser, weil, wenn man so verfährt, immer der Theil des Extractes, der sich während der Verdunstung niedergeschlagen hatte, in der Lösung suspendirt bleibt; sondern ich stellte in der Kälte einen Wasseraufguss des Humus her. Die Verdampfung eines Theiles dieses Aufgusses zeigte mir, dass letzterer, in dem ich die Pflanzen wachsen liess, 25 Theile Extract enthielt. Die mit den Salzen erhaltenen Ergebnisse sind genauer als die mit dem Extract, dem Zucker und dem Gummi erhaltenen, weil die vegetabilischen Verbindungen durch die Berührung mit den Wurzeln immer etwas faulen.

Die Polygonumpflanzen vegetirten fünf Wochen lang im Schatten in den Lösungen von salzsaurem Kali, salpetersaurem Kalk, salzsaurem Natron, schwefelsaurem Natron und Humusextract, indem sie ihre Wurzeln entwickelten; sie siechten immer dahin in salzsaurem Ammoniak ohne irgend welche Entwicklung; im Zuckerwasser konnten sie sich nur halten, wenn die Lösung, welche sehr schnell faulte, erneuert wurde; nach acht bis zehn Tagen gingen sie im Gummiwasser und in der Lösung des essigsauren Kalks zu Grunde; sie konnten nicht länger als zwei bis drei Tage in der Lösung von schwefelsaurem Kupfer leben.

Die Bidenspflanzen zeigten nahezu das nämliche Verhalten in diesen verschiedenen Lösungen. Im Durchschnitt widerstanden sie denselben noch weniger als die Polygonumpflanzen.

Als ich untersuchte, in welchem Verhältniss die gelösten Substanzen in Beziehung auf das Wasser von den saugenden Wurzeln aufgenommen wurden, [250] benutzte ich dieselben Lösungen; jedoch beendete ich den Versuch, sobald die Pflanzen genau die Hälfte der sie ernährenden Flüssigkeit, nämlich 397 Cubikcentimeter (20 Cubikzoll) Lösung aufgenommen hatten. Pflanzen waren in genügend grosser Zahl vorhanden, so dass die Aufnahme in dem Zeitraum von zwei Tagen stattfand. Würde sie länger gedauert haben, so würden die Wurzeln in den ihnen nicht zusagenden Lösungen gefault sein. Ueberdies hätten der Zucker, das Gummi und das Humusextract durch die Gährung den grössten Theil ihrer Bestandtheile verlieren können.

Die Analyse der 397 Cubikcentimeter (20 Cubikzoll) Lösung, welche die Pflanzen in jedem Gefäss nach der Aufsaugung zurückliessen, gab mir die Menge Salze*) an, mit denen sie sich beladen haben; [251] sie würden 50 Theile aufgenommen haben, wenn die Aufnahme der salzigen Substanzen in demselben

*) Die Salzlösungen wurden mit Hilfe von Reagentien analysirt und zwar mit grösserer Genauigkeit als nach irgend einem andern Verfahren. Ich hatte mich überzeugt, dass 100 Theile des von mir benutzten salzsauren Kalis mit salpetersaurem Silber einen Niederschlag geben gleich 187½ Theilen.

100 Theile salzsaures Natron mit demselben Reagens	232½	-
- - salzsaur. Ammoniak -	270	-
- - salpetersaurer Kalk mit oxalsaurem Kali	78	-
- - essigsaurer Kalk mit demselben Reagens	81½	-
- - verwittertes schwefelsaures Natron mit essigsaurem Baryt	167½	-
- - schwefelsaures Kupfer mit demselb. Reagens	94½	-

Die Gummi-, Zucker- und Humusextractlösungen wurden bis zur Trockne eingedampft. Der Rückstand wurde gewogen.

Verhältnisse stattfände wie die des Wassers. Ich fand jedoch, dass Polygonum, indem es die Hälfte der für die Versuche bestimmten Flüssigkeit aufzog, nur

14,7	Theile	salzsaures Kali
13	-	salzsaures Natron
4	-	salpetersauren Kalk
14,4	-	schwefelsaures Natron
12	-	salzsaures Ammoniak
8	-	essigsuren Kalk
47	-	schwefelsaures Kupfer
9	-	Gummi
29	-	Zucker
5	-	Humusextract

aufgenommen hatte.

Bidens nahm auf:

16	Theile	salzsaures Kali
15	-	salzsaures Natron
8	-	salpetersauren Kalk
10	-	schwefelsaures Natron
17	-	salzsaures Ammoniak
8	-	essigsuren Kalk
48	-	schwefelsaures Kupfer
32	-	Zucker
8	-	Gummi
6	-	Humusextract.

[252] Im Allgemeinen sieht man, dass die Pflanzen alle Substanzen, die ich ihnen darbot, aufnahmen, dass sie jedoch das Wasser in viel grösserem Verhältniss als die in ihm gelösten Körper aufzogen. Man sieht ferner, dass sie die Nährstoffe, welche für sie am geeignetsten waren, nicht beständig in der grössten Menge aufnahmen. Das schwefelsaure Kupfer, welches am schädlichsten ist, wurde am reichlichsten aufgenommen. Das Gummi und der essigsure Kalk, welche der Vegetation sehr nachtheilig sind, drangen nur in kleiner Menge in die Pflanzen ein.

Diese Versuche wiederholte ich mehrmals, theils nach denselben, theils nach anderen Verhältnissen, und erhielt immer dieselben allgemeinen Ergebnisse. Die Pflanzen nahmen immer mehr salzsaure und schwefelsaure Alkalien auf als essigsuren und salpetersauren Kalk; sie nahmen stets mehr Zucker als Gummi auf; doch schwankten die Ergebnisse im Einzelnen. Die

aufgenommenen absoluten Mengen von Salzen, Gummi und Zucker waren in zwei gleichen Versuchen niemals die nämlichen. Ich bemerkte bald, dass diese Abweichungen von dem verschiedenen Zustand der Wurzeln, welche mehr gelöste Stoffe aufnehmen, wenn sie weniger lebenskräftig sind, herrühren. Ich machte den Versuch sie abzuschneiden; [253] die Pflanzen litten alsdann sehr schnell in allen Lösungen und nahmen zwei oder dreimal mehr von der gelösten Substanz aus dem Wasser auf als in den vorhergehenden Versuchen.

Ich glaube, dass man die sehr grosse Aufnahme von schwefelsaurem Kupfer besonders der Desorganisation zuschreiben muss, welche die Wurzeln durch dasselbe erleiden. Aus den folgenden Ergebnissen wird man in der That sehen, dass die Hinzufügung dieses Salzes zu einer Lösung von essigsaurem oder salpetersaurem Kalk bewirkt, dass diese letzteren in viel grösserer Menge in die Pflanzen eindringen, als wenn sie für sich oder mit einem für die Vegetation weniger schädlichen Salz als dem schwefelsauren Kupfer zur Anwendung kamen.

§ 3.

Bevorzugen die Pflanzen bei der Aufnahme aus einer mehrere Substanzen gelöst enthaltenden Flüssigkeit bestimmte Substanzen vor anderen?

Bisher bot ich derselben Pflanze in der Lösung nur ein Salz dar; nun werde ich ihr mehrere bieten; und ich will sehen, ob sie daraus theilweise Abscheidungen bewirkt. In 793 Cubikcentimetern oder 40 Cubikzoll Wasser löste ich zwei oder drei verschiedene Salze auf, [254] von denen jedes 637 Milligramm oder 12 Gran wog. Ich setze diese 12 Gran stets gleich 100 Theilen.

In diesen Versuchen analysirte ich wie in den vorhergehenden den Rückstand der Lösung, als sie durch die Aufnahme genau auf die Hälfte ihres Volumens gesunken war. Wurde die Menge des in diesem Rückstand enthaltenen Salzes von derjenigen, welche die Flüssigkeit vor der Einführung der Pflanzen enthielt, abgezogen, so ergab sich mir die Menge Salz, welche dieselben aufgenommen hatten. Polygonum nahm 11,7 Theile schwefelsaures und 22 Theile salzsaures Natron auf, indem es bis zur Hälfte eine Lösung aufsog, die 100 Theile oder 637 Milligramm von jedem dieser Salze enthielt. Bidens nahm aus einer gleichen Lösung 7 Theile schwefelsaures und 20 Theile salz-

saures Natron auf. An der Hand dieses Beispiels wird man die Ergebnisse, welche ich in der folgenden Tabelle zusammenge- stellt habe, verstehen.

[255]	Gewicht der in dem Wasser vor dem Versuch gelösten Stoffe	Gewicht der Stoffe, mit denen sich Polygonum belud, indem es die Hälfte des Lösungswassers aufnahm	Gewicht der Stoffe, mit denen sich Bidens belud, indem es die Hälfte des Lösungswassers aufnahm
100 Theile verwitt. schwefelsaur. Natron		11,7	7
- - salzsaures Natron		22 *)	20
- - verwitt. schwefelsaur. Natron		12 **)	10
- - salzsaures Kali		17	17
- - essigsaurer Kalk		8½	5
- - salzsaures Kali		33 ***)	16
- - salpetersaurer Kalk		4½	2
- - salzsaures Ammoniak		16½	15
- - essigsaurer Kalk		31	35
- - schwefelsaures Kupfer		34	39
- - salpetersaurer Kalk		17	9
- - schwefelsaures Kupfer		34	36
- - schwefelsaures Natron		6 †)	13
- - salzsaures Natron		10	16
- - essigsaurer Kalk		unbest. Menge	unbest. Menge
- - Gummi		26	21
- - Zucker		34 ††)	46

*) Den nach der Aufsaugung verbleibenden Rückstand füllte ich mit essigsaurem Baryt; die decantirte Flüssigkeit füllte ich mit salpetersaurem Silber.

**) Die Analyse wurde nach demselben Verfahren angestellt. Man sieht, dass die Pflanzen Salze aufgenommen haben, welche sich gegenseitig zersetzen; aber diese Zersetzung findet hier nicht statt, weil die Lösungen zu verdünnt waren. Berthollet hat gezeigt, dass der Austausch der Bestandtheile nur statthat, wenn er durch die Krystallisationskraft bedingt ist oder, was auf dasselbe hinausläuft, durch die Unlöslichkeit der neuen Verbindung.

***) Der nach der Aufsaugung bleibende Rückstand wurde in zwei gleiche Theile getheilt; der eine wurde durch oxalsaures Kali, der andere durch salpetersaures Silber gefällt.

†) Der nach der Aufsaugung bleibende Rückstand wurde in zwei gleiche Theile getheilt; der eine wurde mit oxalsaurem Kali, der andere mit essigsaurem Baryt gefällt. Nach der Abscheidung des schwefelsauren Baryts ist die decantirte Flüssigkeit mit salpetersaurem Silber gefällt worden.

††) Den Rückstand liess ich bis zur Syrupconsistenz eindampfen

[256] Einige dieser Versuche wiederholte ich mit Pfeffermünze, Kiefer und Wachholder; die Ergebnisse waren im Allgemeinen dieselben; diejenigen Salze, welche am meisten von Bidens und Polygonum aufgenommen wurden, wurden es auch von den anderen Pflanzen. Unterschiede giebt es in den absoluten Gewichten der aufgenommenen Salze; sie müssen unzweifelhaft für Gewächse, welche sich nicht ähnlich sind, vorhanden sein; aber die Pflanzen derselben Art bieten in dieser Hinsicht so vielfache Abweichungen dar, dass ich mit Sicherheit diese Verschiedenheiten nicht der Gattung des von mir geprüften Gewächses zuschreiben kann.

Das Abschneiden der Wurzeln, ihre Zersetzung und im Allgemeinen auch die Mattigkeit der Vegetation begünstigen das Eindringen von im Wasser gelösten Stoffen in das Gewächs.

Ich liess Pflanzen, denen ich die Wurzeln abgeschnitten hatte, Lösungen aufnehmen; alsdann vollziehen sie die oben erwähnten Ausscheidungen nicht in so ausgesprochener Weise; sie nahmen fast ohne Unterschied alle Salze, welche ich ihnen darreichte, auf; sie absorbirten sie alle in grosser Menge und fast in demselben Verhältniss wie das Lösungswasser. Durch Gummi, essigsauren Kalk und schwefelsaures Kupfer gingen sie nach sieben bis acht Stunden zu Grunde, [257] und ich konnte den Versuch in den anderen Lösungen nur vollenden, indem ich mehrmals die welkenden Pflanzen durch neue ersetzte. Die mit Wurzeln versehenen Pflanzen nehmen also aus ein und derselben Lösung bestimmte Stoffe vorzugsweise vor anderen auf; sie beladen sich zum Beispiel beständig in grösserer Menge mit salzsaurem Natron und salzsaurem Kali als mit essigsaurem und salpetersaurem Kalk; aus einer Lösung von Zucker und Gummi nehmen sie mehr Zucker als Gummi auf u. s. w. Alle diese Stoffe dringen nicht in dem Verhältniss ihres Einflusses auf die Vegetation in das Gewächs ein. Sie werden in einem weit kleineren Verhältniss aufgenommen als das Wasser, welches sie gelöst enthält.

Ich würde geneigt sein anzunehmen, dass die Pflanze, indem sie einen Stoff vorzugsweise vor einem anderen aus derselben Flüssigkeit aufnimmt, diese Wirkung nicht kraft einer besonderen

und gab dann Alkohol zu, der den Zucker löste und das Gummi fällte. Ein vergleichender Versuch liess erkennen, dass das gefällte Gummi hartnäckig ungefähr ein Viertel seines Volumens an Zucker zurückhielt. Die von mir mitgetheilten Ergebnisse sind an der Hand dieser Beobachtung corrigirt worden.

Verwandtschaft hervorruft, sondern im Verhältniss des Grades des Flüssigseins oder der Zähigkeit der verschiedenen Stoffe. In der That findet man, dass destillirtes Wasser flüssiger ist, oder dass es leichter und schneller durch ein Filter eilt als Wasser, welches salzsaures oder schwefelsaures Natron gelöst enthält *). [258] Man findet, dass essigsaurer und salpetersaurer Kalk mit derselben Menge Wasser zähere Lösungen bildet, die schwieriger durch das Filter dringen, als die salzsauren und schwefelsauren Alkalien. Die letzteren werden von dem Gewächs immer reichlicher als die ersteren aufgenommen. Gummi, da es zäher ist als Zucker, wird in geringerer Menge aufgenommen. Indessen muss man beachten, dass die Wurzeln ausserordentlich enge und viel vollkommene Filter sind als diejenigen, welche wir gewöhnlich herstellen; denn wenn man auf ein aus mehreren Lagen Papier gemachtes Filter eine Lösung von essigsaurem Kalk und salzsaurem Kali giesst, und wenn man die Filtration unterbricht, sobald die Hälfte der Flüssigkeit abgelaufen ist, [259] so findet man, dass diese Hälfte weniger essigsauren Kalk als die auf dem Filter gebliebene enthält. Ebenso verhält es sich mit einer Lösung von Zucker und Gummi.

Die Wurzeln zersetzten die Salze, welche ich sie aufnehmen liess, nicht wahrnehmbar; denn ich fand niemals, dass nach der Aufsaugung im Rückstand eine Säure oder ein Alkali frei geworden wäre.

Durch die Veraschung überzeugte ich mich davon, dass die Salze wirklich in die Pflanzensubstanz eingedrungen sind. Ich liess bewurzelte Pflanzen von Polygonum, die grün 173,13 Gramm oder 3262 Gran wogen, in destillirtem Wasser wachsen. Ich liess andere Polygonumpflanzen von genau gleichem Gewicht in 1,58 Liter Wasser wachsen, das 3 Gramm oder 56½ Gran salzsaures Kali enthielt. In dem Maasse, wie die Pflanzen die Lösung aufnahmen, ersetzte ich sie durch destillirtes Wasser. Nach drei Wochen beendete ich den Versuch und fand, indem ich den

*) Damit diese Erscheinungen wahrnehmbarer sind, müssen die Lösungen concentrirter sein als diejenigen, welche ich den Pflanzen zum Absorbiren darbot. Es scheint mir wahrscheinlich, dass eine verdünnte wässrige Salzlösung keine homogene Verbindung, sondern ein Gemisch aus gesättigtem und nicht gesättigtem Wasser ist. Es ist wohl bekannt, dass eine verdünnte wässrige Lösung von salzsaurem Natron, die vollkommener Ruhe überlassen ist, am Grunde des Gefässes dichter und salzhaltiger wird als an der Oberfläche. (Vergl. die Abhandlung von Leblanc, Sur la Crystallotechnie. Journal de Physique, an 11).

Rückstand der Lösung analysirte, dass die Pflanzen 1,59 Gramm oder 30 Gran salzsaures Kali, nachdem es bei Glühhitze getrocknet worden war, zum Verschwinden gebracht hatten.

Nach dem Trocknen wogen die Pflanzen [260] 39,8 Gramm (750 Gran) und lieferten bei der Verbrennung 4,246 Gramm oder 80 Gran Asche.

Die Polygonumpflanzen, welche in destillirtem Wasser gewachsen waren, wogen nach dem Trocknen 38,851 Gramm (132 Gran); sie gaben 2,76 Gramm oder 151 Gran Asche.

Die Pflanzen hatten also ihre Asche um eine Menge vergrößert, welche nahezu gleich derjenigen des aus der Lösung verschwundenen salzsauren Kalis war. Ich analysirte diese Asche und fand in derselben durch salpetersaures Silber alle in den hinzugefügten Salzen enthalten gewesene Salzsäure wieder. Das salzsaure Kali wurde nicht zersetzt. Die absolute Menge freien Kalis war in der Asche des Polygons, welches reines Wasser aufgenommen, nicht grösser als in der Asche desjenigen Polygons, welches salzsaures Kali aufgenommen hatte; die Wiederholung des Versuches mit Bidens lieferte mir nahezu gleiche Resultate. Man sieht, dass dieselben Gewächse sehr verschiedene Salzmenge enthalten, und dass man nicht mit zu grosser Sicherheit auf die Tabellen bauen darf, welche aufgestellt worden sind, um jeder Pflanze ein bestimmtes Verhältniss von Asche oder Salzen zuzuweisen. [261] Diese Bestimmungen können nur so weit genau sein, als die Gewächse auf demselben Boden und während derselben Zeit wuchsen.

§ 4.

Betrachtungen über die salzigen oder mineralischen Stoffe, welche in die Zusammensetzung der Gewächse eingehen.

Mehrere Schriftsteller haben behauptet, dass die Mineralstoffe, welche man in den Gewächsen findet, dort nur zufällig vorhanden und keineswegs für ihre Existenz nöthig seien, weil die Pflanzen sie nur in sehr kleiner Menge enthalten. Diese Ansicht, ohne Zweifel für die Stoffe, welche sich nicht immer in derselben Pflanze finden, richtig, ist nicht für diejenigen, welche constant in ihnen vorkommen, bewiesen. Ihre geringe Menge ist kein Anzeichen für ihre Nutzlosigkeit. Der in einem Thier enthaltene phosphorsaure Kalk macht vielleicht nicht einmal den fünf hundredsten Theil seines Gewichtes aus, aber Niemand zwei-

felt daran, dass dies Salz für den Aufbau der Knochen durchaus nothwendig ist. Dasselbe Salz fand ich in der Asche aller von mir darauffhin untersuchten Gewächse, und wir haben keinen Grund zu behaupten, dass sie ohne dasselbe existiren können.

[262] Daraus, dass einige Salze in bestimmten Verhältnissen gewissen Pflanzen schädlich sind, hat man zuweilen geschlossen, dass alle Salze in allen Verhältnissen der Vegetation schädlich sind. Aber die Beobachtung bestätigt nur selten diese systematischen und allgemeinen Ideen; sie zeigt, dass mehrere Pflanzen ein salziges Nahrungsmittel verlangen, dass es jedoch in seiner Menge und seinen Stoffen gemäss der Natur des Gewächses, das dasselbe aufnehmen soll, geändert werden muss. *Duhamel* erkannte, dass die Strandpflanzen [*plantes marines*] in einem von salzsaurem Natron freien Boden hinsiechen; dies Salz schadet dem Getreide in demselben Verhältniss, wie es den vorstehend genannten Pflanzen nützlich ist. *Parietaria*, Brennessel und Borasch gedeihen nur dort, wo sie salpetersauren Kalk oder salpetersaures Kali finden. Schwefelsaurer Kalk beschleunigt die Entwicklung der Luzerne, des Klees und der *Espарsette*, auf mehrere andere Pflanzen ist er ohne Wirkung. Man glaubte, dass die Salze die Vegetation begünstigten, nur weil sie die Verwesung der auf dem Boden ausgebreiteten abgestorbenen pflanzlichen Substanzen beschleunigten, oder weil sie die Feuchtigkeit der Luft anzögen; aber der schwefelsaure Kalk zerfliesst nicht, und wenn er durch Beschleunigung der Verwesung nützlich wäre, so würde sich sein heilsamer Einfluss nicht auf eine so geringe Zahl Gewächse beschränken.

[263] Die Landwirthe wenden ihn in zu kleiner Menge an, als dass er die ihm zugeschriebene septische Wirkung hervorrufen oder dass er die physikalischen Eigenschaften des Bodens als einfacher Träger der Gewächse ändern könnte.

Thouvenel und *Cornette* glaubten zu erkennen, dass die Salze als zusammenziehende und ätzende Mittel wirkten, indem sie die Oeffnung der Gefässe schlossen und sich der Aufnahme von Wasser widersetzen. Indessen zeigte bis jetzt die Beobachtung, dass die Pflanzen Salze enthalten, welche sich in dem Boden, auf dem sie wachsen, finden. *Parietaria*, Brennessel u. s. w. speicherten Nitrate, die Strandpflanzen Seesalz; letztere liefern dasselbe nicht mehr, wenn man sie zwingt, fern von den Ufern des Meeres hinsiechen. *De Bullion* (*Mémoires d'Agriculture*, 1791) säete Sonnenblumensamen (*Helianthus annuus*) in einen salpeterfreien sandigen Boden; die Pflanzen, welche auf dem-

selben wuchsen, lieferten bei der Analyse keine Spur dieses Salzes. Er begoss andere gleiche Pflanzen auf dem nämlichen Boden mit einer Lösung von salpetersaurem Kali; und diese speicherten dasselbe.

Obgleich die Beobachtung zeigt, dass bestimmte salzige Stoffe [264] dem Gedeihen einiger Pflanzen günstig sind, so lässt dieselbe doch zu gleicher Zeit erkennen, dass dies Nahrungsmittel ihnen nur zusagt, wenn es ihnen in sehr kleiner Menge geboten wird. Der schwefelsaure Kalk verdankt wahrscheinlich zum Theil seiner geringen Löslichkeit den heilsamen Einfluss auf die Entwicklung einiger Gewächse. Die Unwirksamkeit der löslicheren Salze wie des Salpeters, des kohlensauren Kalis und des Seesalzes, wenn sie im reinen Zustand angewandt und unmittelbar dem Boden zugeführt werden, ist für die meisten Nutzpflanzen anerkannt. Die Nützlichkeit der Aschen, welche einige dieser Salze enthalten, wird nicht bestritten. Aber sie sind in der Asche mit Erden durch eine halbe Verglasung verbunden, welche die Löslichkeit vermindert, und welche bewirkt, dass sie nicht plötzlich, sondern langsam und wiederholt in kleinen Mengen in die Gewächse eindringen; die überflüssigen Salze häufen sich bei gewissen Pflanzen an der Oberfläche ihrer Blätter an und bilden dort eine Incrustation, die ihren Untergang bewirkt, indem sie dieselben an der Transpiration hindert. Dies ist grösstentheils der Ursprung der weissen Krankheit, welche die Cucurbitaceen*) und mehrere Küchengewächse befällt.

*) Diese Krankheit beginnt bei den Kürbisspflanzen mit der Ausscheidung zäher Tropfen, welche besonders auf der Oberfläche der Blätter in der Nähe des Blattstieles erscheinen. [265] Die Tropfen trocknen ein und bilden weisse hervorragende staubartige Flecke, welche sich ausdehnen und sich allmählich bis zum Blattumfang vermehren. Ich löste diese Incrustation ab; sie war nur zum Theil im Wasser und Alkohol löslich. Wurden diese Lösungen bis zur Trockenheit eingedampft, so liessen sie ein zerfliessliches Salz zurück, welches alle Eigenschaften des mit einer unbestimmbaren Menge Magnesia verunreinigten salzsauren Kalkes aufwies; es wurde reichlich gefällt von salpetersaurem Silber, oxalsaurem Kali und kohlensauren Alkalien, aber nicht von Barytwasser und war im Feuer fast unveränderlich. Der salzige und erdige Theil der Incrustation macht ungefähr ein Drittel ihres Gewichtes aus; sie wurde von einer weissen in Wasser und Alkohol unlöslichen vegetabilischen Substanz ziemlich reichlich eingehüllt, so dass die Incrustation selbst nicht merklich Feuchtigkeit anzog. Diese Krankheit greift besonders die alten Pflanzen an, welche auf einem an thierischem Dünger reichen Boden und in Mistbeeten wachsen, wo die Blätter nicht vom Regenwasser abgewaschen werden.

[265] Die Gewächse schöpfen nicht alle ihre mineralischen Stoffe aus Salzlösungen gleich denen, welche man künstlich durch Auflösen z. B. von salzsaurem Kalk, Eisen oder Mangan (in reinem Wasser darstellen kann, sondern sie nehmen sie zum grossen Theil aus Verbindungen auf, die wir nicht zusammenzusetzen vermögen, namentlich aus solchen, in welchen die Elemente dieser Salze sich chemisch mit Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenstoff im Humusextract verbunden finden, [266] und wo sie nur durch die Veraschung nachgewiesen werden können.

§ 5.

Ueber die Anwendung der vorstehenden Beobachtungen auf die Erforschung der Menge von Nahrungsstoffen, welche die Substanz des Humus allein den Wurzeln der Gewächse liefert.

Wir sind zu weit davon entfernt, alle Wirkungen der Pflanze auf den Humus und des Humus auf die Pflanze zu kennen, um dahin gelangen zu können, sämtliche Bestandtheile, welche sie aus demselben schöpft, zu berechnen und zu wägen. Beim Studium der Natur kann man nichts Besseres thun, als die *Maxime**) des berühmten *Havy* zu befolgen: die Dinge werden geschätzt, so an sich zu sein, wie sie sich unserer Beobachtung darbieten. Wenn wir uns mit Rücksicht hierauf auf diejenigen Beobachtungen beziehen, welche theils in diesem, theils in den vorhergehenden Kapiteln mitgetheilt worden sind, so finden wir, dass das Humusextract, das kohlen saure Gas, das Sauerstoffgas, alle die in Wasser löslichen Verbindungen, welche aus dem Boden in eine grüne Pflanze durch ihre Wurzeln eindringen, [267] bei weitem nicht genügen, um den grössten Theil des Gewichtes dieses Gewächses, im Trockenzustand betrachtet, zu bilden**).

*) *Traité de Minéralogie*, par *Havy*, vol I, p. 7.

**) Ich könnte mich auf das Experiment von *Vanhelmont* berufen, der, nachdem er eine Weide fünf Jahre lang in 200 Pfund Humus hatte wachsen lassen, fand, dass diese Weide im grünen Zustand ein Gewicht von 164 Pfund erlangt hatte, und dass der vor und nach dem Experiment im Ofen getrocknete Humus nur zwei Unzen von seinem Gewicht verloren hatte. Ueber diese Ergebnisse hat *Kirwan* jedoch sehr begründete Betrachtungen angestellt; er bemerkt: 1. dass der Humus in ein poröses nicht glasiertes Gefäss gethan wurde, das selbst wiederum in Dammerde eingegraben wurde, und dass diese letztere der Pflanze Extractivstoffe mitgetheilt hätte; 2. findet er, dass das im Ofen ausgeführte Trocknen vor und nach dem Versuch nicht identisch

Aus Kapitel V, § 2 sah man, dass Regenwasser, nachdem es mehrere Tage auf dem gut gedüngten Boden eines Gartens gestanden hatte, dort einen Aufguss bildete, welcher einen Theil trockenes Extract auf tausend Theile Wasser enthielt. Man sah ferner, dass ein Gewächs, welches diesen Aufguss aufsaugen sollte, nur ein Viertel des festen Extractes, welches er enthält, aufnehmen würde. Wenn das Humusextract seine einzige Nahrung wäre, würde dies Gewächs also sein Gewicht nur um ein Viertel Pfund im Trockenzustand vergrössern, wenn es tausend Pfund Aufguss aufsäge. [268] Eine einjährige Pflanze wie *Helianthus*, welche im Garten wuchs, konnte von ihrer Keimung an im Zeitraum von vier Monaten vier Kilogramm (acht Pfund) Frischgewicht oder ein halbes Kilogramm (ein Pfund) Trockengewicht erlangen*). Wenn man auf Grund der Versuche von *Hales* annimmt, dass die während vierundzwanzig Stunden aufgenommene und transpirirte Menge Wasser gleich der Hälfte des Gewichtes dieser Sonnenblume im nicht getrockneten Zustande ist, so finde ich, nachdem ich dieselbe in den verschiedenen Zeiträumen ihrer Vegetation gewogen hatte, dass sie nach Ablauf von vier Monaten nicht mehr als 100 Kilogramm (200 Pfund) Wasser oder Aufguss aufgenommen und transpirirt haben konnte. Die in diesen 100 Kilogramm enthaltene Menge trockenen Extractes ist gleich 100 Gramm oder $\frac{1}{3}$ Pfund; davon nahm die Pflanze nur den vierten Theil oder 25 Gramm auf; doch muss man das in 100 Kilogramm Aufguss enthaltene kohlen saure Gas hinzufügen. Nach den im Kap. V, § 2 mitgetheilten Versuchen schätze ich, dass dies 3,7 Gramm (70 Gran) wiegt; [269] nur die Hälfte hiervon eignete sich die Sonnenblume, welche, indem sie das kohlen saure Gas zersetzt, einen Theil ihrer Elemente aushauchte, an. Demnach schöpfte diese Pflanze aus dem Humus, wenn von dem Wasser abgesehen wird, eine Menge vegetabilischer Substanz gleich $25 + 1,85$ Gramm, welche ungefähr nur den zwanzigsten Theil des Gewichtes ausmachen, das die

sein könne; 3. dass die Weide in der Erde Wurzelfäserchen zurückgelassen habe, deren Gewicht man nicht schätzen könne; 4. dass das Regenwasser, welches zum Begiessen gedient hatte, durch seine Unreinigkeiten zur Ernährung der Pflanze beitragen musste. (*Mémoire sur les Engrais par Kirwan.*)

*) *Hales* sagt, dass eine in voller Vegetation stehende Sonnenblume nur ein Viertel ihres Gewichtes durch Trocknen verliert. Dies Ergebniss ist gewiss ungenau, ebenso wie die Folgerungen, welche dieser Schriftsteller daraus ableitet.

Sonnenblume, im getrockneten Zustande betrachtet, nach directer Beobachtung erworben hatte.

Die Berechnung, welche ich soeben anstellte, ist ohne Zweifel weit davon entfernt, genau zu sein; indem ich jedoch annehme, dass die Menge von Nährstoffen, welche die Pflanze mit ihren Wurzeln aus dem Boden schöpft, in meiner Schätzung zwei- oder dreimal zu gross oder zwei- oder dreimal zu klein sei, so bleiben doch die wesentlichen und allgemein gültigen Ergebnisse, welche ich im Auge habe, nichts destoweniger die nämlichen. Sie beweisen gleichfalls, dass das Humusextract, dass die Gase, dass alle in Wasser löslichen Stoffe, welche aus dem Boden herrühren, und welche in die Wurzeln einer grünen Pflanze eindringen, wenn man vom Wasser ganz absieht, nicht den grösseren Theil des Gewichtes der Pflanze im Trockenzustand ausmachen. Indessen findet man stets, dass sie merklich in dieselben eindringen, und dass sie gleich Nährstoffen trotz ihrer geringen Menge einen mächtigen Einfluss auf das Wachsthum der Gewächse ausüben. [270] Man erkennt, dass das Wasser, welches das Gewächs theils aus dem Boden, theils aus der Atmosphäre schöpft, und welches es in feste Substanz verwandelt, in Gewicht den grössten Theil der Trockensubstanz der Pflanze ausmacht; dass ihr der Kohlenstoff in Gasform aus der Atmosphäre in grösserer Menge geliefert wird als aus irgend einer anderen Quelle; dass aber der Stickstoff, die Salze und die Erden, welche Bestandtheile am wenigsten reichlich in der Pflanze vorhanden sind, 1. aus den aus dem Humus durch die Wurzeln geschöpften Lösungen von extractiven und salzigen Stoffen, 2. aus den in der Atmosphäre suspendirten vegetabilischen und animalischen Stoffen, welche sich auf dem Gewächs niederschlagen, herrühren.

Rückblick.

1. Die Wurzeln der Pflanzen nehmen die Salze und die Extracte auf, aber in kleinerem Verhältniss als das Wasser, welches diese Salze und diese Extracte gelöst enthält.
2. Das Abschneiden der Wurzeln, ihre Zersetzung und im Allgemeinen das Hinsiechen der Vegetation begünstigen das Eindringen der Salze und Extracte in die Pflanzen.
3. Ein Gewächs nimmt nicht im gleichen Verhältniss alle in ein und derselben Lösung enthaltenen Stoffe auf; es nimmt unter denselben besondere Ausscheidungen vor; [271] im Allgemeinen

nimmt es in grösster Menge die Stoffe auf, deren Lösungen an sich am wenigsten zäh sind.

4. Wenn man das Gewicht des Extractes, welches der fruchtbarste Boden liefern kann, mit dem Gewicht der getrockneten Pflanze, welche sich auf ihm entwickelte, vergleicht, so findet man, dass sie nur eine sehr kleine Menge ihrer eigenen Substanz aus demselben zu schöpfen vermag.

[272]

Neuntes Kapitel.

Untersuchungen über die Asche der Gewächse.

§ 1.

Ueber die von einigen Schriftstellern angestellten Beobachtungen über die Mengen Asche, welche die Gewächse liefern.

Die Erfahrung lehrte seit Langem, dass die Gewächse von gleichem Gewicht in Bezug auf die Menge von Asche, welche sie hervorbringen können, nach der Art variiren. Doch ging man auf die allgemeine Quelle dieser Erscheinung nicht zurück. Man forschte dem Ursprung dieser Aschen und der Ursache ihrer Verschiedenheit nicht nach. Vordem ich von meinen eigenen Beobachtungen spreche, will ich in wenig Worten die bereits bekannten in das Gedächtniss der Leser zurückrufen.

Die Inspectoren der Salpeterfabrik in Frankreich, [273] *Kirwan* und *Ruckert*^{*)}, fanden, dass bei gleichem Gewicht die krautigen Pflanzen nach ihrem Trocknen mehr Asche als die holzigen Pflanzen liefern. Dies Ergebniss wurde von allen, welche sich mit den Producten der Veraschung beschäftigten, bestätigt. *Pertuis* lieferte für dies Princip eine schöne Bestätigung, als er ermittelte, dass der Stamm der Bäume weniger Asche als die Zweige, und diese weniger Asche als die Blätter hervorbringen. (*Annales de Chimie*, tome XIX.) Dies ist aber auch Alles von den Ergebnissen dieses Schriftstellers, woran man sich halten kann; seine anderen Behauptungen, 1. dass die trocken verbrannten Pflanzen weniger Asche als die frisch verbrannten enthalten, 2. dass faules Holz weniger Asche als ge-

^{*)} Mémoire sur les Engrais, par *Kirwan*. Société royale d'Irlande, vol. 5, p. 129, und *Ruckert's* Feldbau.