

Zweites Capitel.

Geschichte der Ernährungstheorie der Pflanzen.

1583—1860.

Daß die Pflanzen aus ihrer Umgebung Substanzen in sich aufnehmen um aus ihnen ihren Körper aufzubauen, konnte auch in den ältesten Zeiten nicht zweifelhaft sein, und daß damit nothwendig Bewegungen der Nährstoffe verknüpft sind, leuchtete ohne Weiteres ein. Schwierig aber war die Frage, von welcher Art die Nahrungssubstanz der Pflanzen sei, wie und durch welche Kräfte getrieben, sie in dieselben eindringt und sich in ihnen vertheilt und selbst das war lange fraglich, ob die von außen aufgenommene Nahrung innerhalb der Pflanze selbst noch irgend eine Veränderung erleidet, bevor sie zum Wachsthum verwendet wird. Das waren ungefähr die Fragen der Pflanzenernährung, mit denen sich Aristoteles beschäftigt hatte, und welche auch noch den Hauptgegenstand von Caesalpin's physiologischem Nachdenken bildeten.

Eine viel bestimmtere Fassung aber gewannen die Fragen der Pflanzenernährung in der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts, als man anfing, die verschiedenen Vegetationserscheinungen überhaupt genauer zu beobachten und als man es versuchte, sich Rechenschaft zu geben über ihre Beziehungen zur Außenwelt. Der Begründer der Phytotomie, Malpighi, war es, der zuerst die Betheiligung der verschiedenen Organe der Pflanzen an dem gesammten Ernährungsgeschäfte aufzuweisen unternahm; er erkannte, durch Analogieschlüsse geleitet, daß die grünen Blätter

nahrungsbereitende Organe sind und daß die von ihnen bereiteten Stoffe in alle Theile der Pflanze übergehen, um dort entweder aufbewahrt oder zum Wachsthum benutzt zu werden. Damit war jedoch noch keine Einsicht gewonnen in die Natur derjenigen Stoffe, aus welchen die Pflanzen ihre Nahrung bereiten; soweit es bei dem Stand der Chemie um diese Zeit möglich war, suchte Mariotte darüber Auskunft zu geben und namentlich erwarb er sich das Verdienst, im Gegensatz zu der alten aristotelischen Vorstellung, zu beweisen, daß die Pflanzen die aus dem Boden aufgenommenen Nahrungsstoffe in neue chemische Verbindungen überführen, daß dagegen die Erde und das Wasser den verschiedensten Pflanzen dieselben Nahrungsstoffe darbieten. Es konnte aber schon damals den Pflanzenphysiologen nicht entgehen, daß das Wasser, welches die Pflanzen aus dem Boden aufnehmen nur sehr geringe Quantitäten aufgelösten Stoffes in sie einführt. Schon in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts hatte dies van Helmont sogar durch einen Vegetationsversuch bewiesen, dessen Ergebnis er aber freilich dahin deutete, daß die Pflanzen im Stande seien, aus Wasser allein, sowohl ihre verbrennliche, wie ihre unverbrennliche Substanz zu erzeugen. Ganz anders jedoch faßte im Anfang des 18. Jahrhunderts Gales die Sache auf, indem er durch die Entwicklung der Gase bei der trockenen Destillation der Pflanzen zu der Ansicht geführt wurde, daß ein beträchtlicher Theil der Pflanzensubstanz in luftförmiger Gestalt aus der Atmosphäre aufgenommen werde.

In den von Malpighi, Mariotte und Gales aufgestellten Ansichten lagen die wesentlichsten Elemente einer Ernährungstheorie der Pflanzen; hätte man ihren Werth erkannt, so hätte sich aus ihnen die Lehre ziehen lassen, daß ein Theil der Pflanzennahrung aus der Erde und dem Wasser stammt, daß ein anderer aus der Luft entnommen wird, und daß die Blätter diese aufgenommenen Stoffe in der Weise verändern, daß daraus Pflanzensubstanz erzeugt und diese zum Wachsthum verwendet wird; diese Combination wurde jedoch nicht gemacht, denn in den folgenden Jahrzehnten beschäftigte man sich vorwiegend mit Beob-

achtungen, welche über die Art und Weise der Saftbewegung in den Pflanzen Auskunft geben sollten; da man jedoch die von Malpighi bereits erkannte Funktion der Blätter über sah, so gelangte man auch in dieser Beziehung nur zu unklaren und selbst widersprechenden Resultaten. Denn die gesammte Einsicht nicht nur in die chemischen Vorgänge der Pflanzenernährung, sondern auch in die Mechanik der Saftbewegung, überhaupt in den gesammten Haushalt der Pflanze hängt von der Kenntniß der Thatsache ab, daß nur die chlorophyllhaltigen Zellen, bei den höheren Pflanzen also die vorwiegend aus solchen bestehenden Blätter im Stande sind, unter Mithilfe der aus dem Boden aufgenommenen Stoffe die gasförmige Nahrungssubstanz der Atmosphäre in Pflanzenstoffe umzuwandeln. Diese Thatsache ist für die ganze Ernährungstheorie der Pflanzen von principieller Bedeutung; ohne ihre Kenntniß ist die mit der Ernährung und dem Wachstum verbundene Stoffbewegung, die Abhängigkeit der Vegetation vom Licht, und auch zum großen Theil die Wurzelfunction unerklärlich.

Dieses Princip der gesammten Ernährungstheorie der Pflanzen konnte aber erst aufgefunden werden, als an Stelle der älteren phlogistischen Chemie das neue chemische System von Lavoisier trat und merkwürdigerweise waren es im Wesentlichen dieselben Entdeckungen, welche im Lauf der siebziger und achtziger Jahre die Basis für die neuere Chemie und gleichzeitig für die Begründung der neueren Ernährungslehre der Pflanzen lieferten. Gestützt auf Lavoisier's antiphlogistische Ansichten über die Zusammensetzung der Luft, des Wassers, der mineralischen Säuren, gelang es Ingen-Houß zu zeigen, daß alle Pflanzentheile beständig Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure bilden, daß jedoch die grünen Organe unter dem Einfluß des Lichts umgekehrt Kohlensäure aufnehmen und Sauerstoff dafür ausscheiden; und schon 1896 hielt es Ingen-Houß für wahrscheinlich, daß die Pflanzen die Gesamtmasse ihres Kohlenstoffs aus der atmosphärischen Kohlensäure aufnehmen. Bald darauf bewies Sauffure (1804), daß die Pflanzen, indem sie Kohlensäure

zersetzen, ein größeres Quantum an Gewicht zunehmen, als dem zurückgehaltenen Kohlenstoff entspricht, und daß dies durch die gleichzeitige Bindung der Bestandtheile des Wassers zu erklären sei. Ebenso zeigte er, daß die geringen Quantitäten salzartiger Verbindungen, welche die Pflanzen aus dem Boden aufnehmen, für ihre Ernährung nothwendig sind, und wenigstens wahrscheinlich konnte er es machen, daß das atmosphärische Stickstoffgas zur Bildung der stickstoffhaltigen Pflanzensubstanz Nichts beiträgt. Schon vorher hatte Senebier besonders auf die Thatsache hingewiesen, daß die Zersetzung der Kohlensäure unter dem Einfluß des Lichts nur in grünen Organen stattfindet.

So waren von Ingen-Houß, Senebier und Saussure die wesentlichsten Momente der Pflanzenernährung entdeckt. Wie es aber oft bei Entdeckungen von großer Tragweite zu gehen pflegt, so war auch diese lange Zeit schweren Mißverständnissen ausgesetzt; weniger in Frankreich, wo in den zwanziger und dreißiger Jahren Dutrochet und De Candolle die Bedeutung des Gasaustausches der grünen Organe für die Ernährung und Athmung im Ganzen richtig zu würdigen wußten; Anderen aber und ganz besonders in Deutschland wurde das Verständniß dadurch getrübt, daß ihnen diese einfachen chemischen Vorgänge als Grundlage der gesammten Pflanzenernährung und somit des ganzen Pflanzenlebens nicht genügten; die in den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts in Verbindung mit der Naturphilosophie ausgebildete Theorie der Lebenskraft, welcher nicht nur die Philosophen und Physiologen, sondern auch die Chemiker und Physiker allgemein anhängen, fand es passender, den Pflanzen eine mysteriöse, vom Leben selbst abstammende Substanz, den sogenannten Humus zur Ernährung darzubieten. Die nächstliegenden Erwägungen, welche diese Humustheorie sofort als widersinnig zurückweisen konnten, wurden übersehen und so den Ergebnissen Saussure's zum Troß die Ernährung der Pflanzen noch einmal, wie es bereits in den früheren Jahrhunderten geschehen war, ganz auf Rechnung des Bodens und der Wurzeln gesetzt; zu den Consequenzen der mit der Lebenskraft

verbundenen Humustheorie gehörte auch, daß man die Aschenbestandtheile der Pflanzen entweder nur als zufällige Beimengungen oder als Reizmittel betrachtete, oder sie geradezu als Erzeugnisse der Lebenskraft in der Pflanze entstehen ließ.

In den zwanziger und dreißiger Jahren jedoch begann sich bereits von verschiedenen Seiten her die Reaction gegen die Theorie der Lebenskraft zu regen; den Chemikern gelang es, organische Verbindungen, die man früher als die Producte derselben betrachtet hatte, künstlich herzustellen; Dutrochet entdeckte in der Endosmose einen physikalischen Vorgang, der geeignet war, verschiedene Lebenserscheinungen der Pflanzen auf physikalisch mechanische Principien zurückzuführen; Saussure und Andere zeigten, daß die Eigenwärme der Pflanzen ein Product der Sauerstoffathmung sei und mit dem Beginn der vierziger Jahre konnte die frühere Theorie der Lebenskraft als veraltet und abgethan angesehen werden. Nun aber kam es darauf an, die unter ihrem Einfluß und dem der Humustheorie gänzlich verkannten Resultate von Ingen-Houß und Saussure wieder in ihr Recht einzusetzen. Liebig war es, der 1840 die Humustheorie beseitigte, den Kohlenstoff der Pflanzen ganz ausschließlich auf die atmosphärische Kohlen säure, den Stickstoffgehalt derselben auf das Ammoniak und seine Derivate zurückführte, die Aschenbestandtheile als wesentliche Faktoren der Ernährung in Anspruch nahm und von den allgemeinen Gesetzen der Chemie ausgehend, vorwiegend auf deduktivem Wege einen Einblick in die chemischen Vorgänge der Assimilation und des Stoffwechsels zu gewinnen suchte. Erst in dem Zusammenhang, den Liebig den mit der Ernährung verbundenen Erscheinungen zu geben wußte, trat jetzt der ganze theoretische Werth der von Ingen-Houß, Senebier und Saussure gefundenen Thatsachen hervor. Es kam nun plötzlich neues Leben in die Ernährungslehre, ein fester Boden war gewonnen, und unbeirrt durch die früheren von der Lebenskraft erhobenen Schwierigkeiten galt es nun, an der Hand der physikalischen und chemischen Kräfte die Untersuchung der Ernährungserscheinungen von Neuem weiterzu-

führen. Zunächst wurde die von Liebig geleugnete Sauerstoffathmung der Pflanzen von Mohl und anderen wieder in ihr Recht eingesetzt. Was Liebig über die Herkunft des Stickstoffs der Pflanzen und über die Bedeutung der Aschenbestandtheile gesagt hatte, stützte sich mehr auf allgemeine Betrachtungen und Wahrnehmungen und auf Berechnungen und mußte nunmehr durch methodisch eingeleitete Untersuchungen, namentlich durch Vegetationsversuche im Einzelnen geprüft werden. Ganz vorwiegend war es nun Boussingault, der im Gegensatz zu Liebig's deductivem Verfahren den rein induktiven Weg betrat, die Methoden für Vegetationsversuche nach und nach verfeinerte und bald dahin gelangte, Pflanzen in einem völlig humusfreien rein mineralischen Boden so zu kultiviren, daß nicht nur die Frage nach der Herkunft des Kohlenstoffs aus der Atmosphäre, sondern auch die Stickstofffrage definitiv gelöst wurde. An solchen künstlich ernährten Pflanzen zeigte Boussingault unter Beachtung aller hier so gefährlichen Fehlerquellen, daß der atmosphärische, elementare Stickstoff für die Ernährung der Pflanzen gleichgiltig ist, daß aber eine normale Vermehrung der stickstoffhaltigen Pflanzensubstanz stattfindet, wenn die Wurzeln außer den nöthigen Aschenbestandtheilen salpetersaure Salze aufnehmen.

Abgesehen von einigen Zweifeln, welche noch bezüglich der Nothwendigkeit einzelner Aschenbestandtheile, wie des Natrons, Chlors und der Kieselsäure bestehen blieben, wurde somit vor 1860 die Herkunft derjenigen Stoffe erkannt, welche sich bei dem Chemismus der Pflanzenernährung betheiligen. Was jedoch über die Vorgänge im Innern der Pflanze, über die erste Entstehung organischer Substanz bei der Assimilation und über die weiteren Umänderungen derselben zu Tage trat, blieb auf Bruchstücke und Vermuthungen beschränkt, ohne noch zu einem abschließenden Ergebnis zu führen.

1.

Caesalpin.

Aristoteles hatte sich darüber Rechenschaft zu geben gesucht, von welcher Art die Substanzen sind, welche die Pflanzen als Nahrung aufnehmen und den Satz aufgestellt, daß die Nahrung aller Organismen nicht einfach, sondern aus Verschiedenem zusammengesetzt sei. Neben dieser ganz richtigen Ansicht hegte er jedoch den Irrthum, daß die Pflanzennahrung schon in der Erde, wie in einem Magen, zum Wachthum vollständig vorbereitet werde, so daß auch die Abscheidung von Excrementen in den Pflanzen überflüssig erscheine; ein Irrthum, der zwar, wie wir bald sehen werden, schon von Jungius widerlegt wurde, der sich aber trotzdem selbst bis ins 18. Jahrhundert hinein vererbte und schließlich noch Du Hamel's Ernährungstheorie vollständig verdarb.

Caesalpin, in dem wir schon früher einen ebenso geistreichen als treuen Schüler des Aristoteles kennen gelernt haben, wandte seine Speculationen weniger der chemischen, als der mechanischen Seite der Ernährungsfrage zu, indem er sich vorwiegend über die Bewegung des Nahrungsaftes in den Pflanzen klar zu werden suchte. Ihm stand bereits ein reicheres Erfahrungsmaterial als seinem Meister zur Verfügung und gerade deshalb ist es lehrreich, uns mit seinen Ansichten näher bekannt zu machen, weil sich hier zeigen mußte, in wie weit die alte Philosophie im Stande war, auch besser begründeten Erfahrungen, als denen des Aristoteles, zu genügen. Es wird sich sogleich zeigen, daß schon der erste Anlauf Caesalpin zu Ansichten führte, die eigentlich nicht mehr als streng aristotelisch gelten konnten.

Im zweiten Capitel des ersten Buches seines uns schon bekannten Werkes: *De plantis libri XVI. 1583* wirft er die Frage auf, in welcher Weise die Anziehung der Nahrung und die Ernährung der Pflanzen geschehe. Bei den Thieren sehen wir die Nahrung von den Venen zum Herzen hingeführt werden,

welches gleichsam die Werkstätte der Eigenwärme ist und nachdem sie dort ihre letzte Vollendung erfahren, durch die Arterien in den ganzen Körper sich verbreiten; und zwar geschieht dieß durch die Thätigkeit derselben Kraft (spiritus), welche aus derselben Nahrung im Herzen erzeugt wird. In den Pflanzen dagegen sehen wir weder Venen, noch andere Kanäle, noch fühlen wir irgend eine Wärme derselben, so daß es unbegreiflich erscheint, aus welchem Grunde die Bäume zu so beträchtlicher Größe heranwachsen, da sie bei Weitem weniger Eigenwärme als die Thiere zu haben scheinen. Dieses Räthsel erklärt sich Caesalpin dadurch, daß bei den Thieren viel Nahrung nöthig sei zur Unterhaltung der Sinnesthätigkeiten und der Bewegungen der Organe. Das größere Quantum der thierischen Nahrung verlange auch größere Behälter und das seien eben die Venen. Die Pflanzen dagegen bedürfen deshalb weniger Nahrung, weil diese eben nur zur Ernährung benutzt werde, und nur zum kleinsten Theil zur Erzeugung der inneren Wärme, weshalb sie auch stärker wachsen und mehr Früchte erzeugen können, als die Thiere. Indessen fehle den Pflanzen die innere Wärme nicht, obgleich dieselbe durch das Gefühl nicht wahrzunehmen sei; das komme jedoch nur davon her, daß uns alle Gegenstände kalt erscheinen, welche weniger warm sind, als unser Gefühlsorgan. Daß übrigens auch die Pflanzen Venen besitzen, wenn auch der geringen Nahrungsmenge entsprechend nur sehr enge, das beweisen die milchenden Pflanzen, wie die Wolfsmilch und der Feigenbaum, welche angeschnitten wie thierisches Fleisch bluten; der hier von Caesalpin gemachte Zusatz: quod et in vite maxime contingit, zeigt, daß er den Milchsaft von dem ausfließenden Wasser des thranenden Weinstockes noch nicht unterschied. Gesehen können diese engen Venen ihrer Feinheit wegen nicht werden; doch erkenne man in jedem Stengel und jeder Wurzel Etwas, was gleich den thierischen Nerven der Länge nach spaltbar ist und was man auch Nerven nennt; oder auch dickere derartige Dinge, die sich in den meisten Blättern verzweigen und hier Venen genannt werden. Diese Dinge

feien für Nahrungskanäle zu halten, welche den Venen der Thiere entsprechen; jedoch fehle den Pflanzen ein Venenstamm, welcher der *vena cava* der Thiere entspräche; vielmehr treten aus der Wurzel viele und feine Venen in das Herz der Pflanze (*cor* = Wurzelhals, vergl. p. 50) und aus diesem steigen sie in den Stengel hinauf; denn bei den Pflanzen war es nicht nöthig, daß die Nahrung in einer gemeinschaftlichen Höhlung enthalten sei, wie im Herzen der Thiere, wo dieß zur Erzeugung des *Spiritus* nothwendig ist, sondern es genügte bei den Pflanzen, die Flüssigkeit durch die Berührung mit der *medulla cordis* (im Wurzelhals) zu verändern, so wie bei den Thieren eine derartige Veränderung im Mark des Gehirns oder in der Leber bewirkt wird; denn auch in diesen Organen sind, wie bei den Pflanzen die Venen sehr eng.

Da die Pflanzen jeder Sinneswahrnehmung entbehren, so können sie auch nicht wie die Thiere, ihre Nahrung aussuchen, sondern sie ziehen die Feuchtigkeit in der Erde auf andere Weise an sich; es sei jedoch schwer einzusehen, wie das zugeht. Indem nun Caesalpin darüber Rechenschaft zu geben sucht, läßt er uns nicht nur einen Blick in die damals herrschenden physikalischen Vorstellungen thun; sondern wir sehen auch mit Ueberraschung den Versuch zu der physikalischen Erklärung einer Lebenserscheinung gemacht, der über die aristotelische Denkweise hinausgeht und zugleich den richtigen Weg einschlägt. Nicht die *ratio similitudinis*, welche das Eisen zum Magneten hinzieht, könne die Anziehung des Saftes durch die Wurzel bewirken; denn in einem solchen Falle werde das Kleinere zum Größeren hingezogen; wäre nun die Anziehung der Erdflüssigkeit durch die Wurzel so zu denken, wie die Anziehung des Eisens durch den Magneten, so müßte die Erdfuchtigkeit ihrerseits den Saft aus den Pflanzen herausziehen, was doch eben nicht geschieht. Auch könne es nicht die *ratio vacui* sein; denn da in der Erde nicht bloß Feuchtigkeit, sondern auch Luft enthalten ist, so würde sich die Pflanze in Folge dieses *Principis* nicht mit Saft, sondern mit Luft erfüllen. Nun aber findet Caesalpin eine dritte Art von

Ursachen, durch welche Saft in die Pflanzen eingesogen werden könnte. Ziehen nicht, sagt er, manche trockene Dinge ihrer Natur entsprechend die Flüssigkeit an, wie z. B. die Leinwand, der Schwamm und das Pulver, wogegen andere die Flüssigkeit abstoßen, wie manche Vogelfedern und das Kraut *Adiantum*, welche auch beim Eintauchen in Wasser nicht benetzt werden; jene aber saugen viel ein, weil sie mit dem Wasser mehr, als mit der Luft übereinstimmen; von dieser Art müssen nun nach Caesalpin diejenigen Theile der Pflanze sein, deren die ernährende Seele zur Anziehung der Nahrung sich bedient. Daher seien diese Organe auch nicht wie die Venen der Thiere von einem continuirlichen Kanal durchsetzt, sondern eher wie die Nerven aus einer fädigen Substanz gebildet; so führe nun die saugende Kraft (*bibula natura*) die Feuchtigkeit beständig nach dem Orte, wo das Princip der Eigenwärme sitzt, wie auch an der Flamme einer Laterne zu sehen sei, wo der Docht beständig Del zuführt. Auch werde durch die äußere Wärme die Anziehung der Feuchtigkeit vermehrt, weshalb die Pflanzen im Frühjahr und Sommer kräftiger wachsen.

Daß Caesalpin aber nicht die entfernteste Ahnung von der Bedeutung der Blätter für die Ernährung der Pflanzen hatte, geht unzweifelhaft aus seiner Wiederholung des aristotelischen Satzes hervor, daß die Blätter nur zum Schutz der jungen Sprosse und Früchte gegen Luft und Sonnenlicht zu betrachten sind, ein Satz, der offenbar nicht durch Speculation gewonnen war, sondern direct aus den Weingärten eines von heißem Sonnenschein getroffenen Landes stammte.

2.

Erste inductive Versuche und Eröffnung neuer Gesichtspuncte für die Theorie der Pflanzenernährung.

Was Aristoteles und seine Schule, auch Caesalpin nicht ausgenommen, über die Lebensäußerungen der Pflanzen zu sagen wußten, stützte sich auf die alltäglichsten Wahrnehmungen, deren

keine bezüglich ihrer thatsächlichen Richtigkeit kritisch genauer geprüft war und die Mehrzahl der physiologischen Sätze war überhaupt nicht aus Beobachtungen an Pflanzen abgeleitet, sondern aus philosophischen Principien und vorwiegend aus Analogieen mit den Thieren.

Sollte eine wissenschaftliche Behandlung der Ernährungslehre zu Stande kommen, so mußte vor Allem das Erfahrungsmaterial bereichert und kritisch behandelt werden. Es bedurfte, um hierbei sofort auf Widersprüche gegen die alte Philosophie zu stoßen, nicht einmal schwieriger Beobachtungen oder Experimente; es genügte vielmehr, die Dinge sich etwas genauer anzusehen und unbefangener aufzufassen, als es die Alten gethan hatten.

Auf diese Art kam schon Jungius dazu, einem wichtigen Punct der aristotelischen Ernährungslehre zu widersprechen. Im zweiten Fragment seiner *de plantis doxoscopiae physicae minores* findet sich eine Bemerkung, welche offenbar gegen den aristotelischen Satz, daß die Pflanzen ihre Nahrung völlig zubereitet aus der Erde aufnehmen und daher auch keine Excremente von sich geben ¹⁾, gerichtet ist. Die Pflanzen, sagt Jungius in Uebereinstimmung mit Aristoteles, scheinen einer denkenden Seele (*anima intelligente*), welche die zuträgliche Nahrung von der unzuträglichen zu unterscheiden wüßte, nicht zu bedürfen. Aristoteles hatte ihnen eben deshalb die völlig zubereitete Nahrung schon in der Erde entstehen lassen. Ganz anders faßt Jungius, gestützt auf thatsächliche Wahrnehmungen, die Sache auf. Zunächst sei es möglich, sagt er, daß die auffaugenden Oeffnungen der Wurzeln so organisirt sind, daß sie nicht jede Art von Saft eintreten lassen und wer wolle sagen, daß die Pflanzen die Eigenthümlichkeit besäßen, überhaupt nur das ihnen Nützliche anzuziehen, denn sie haben ebenso, wie die anderen lebenden Wesen ihre Ausscheidungen, welche durch Blätter, Blüthen und Früchte ausgehaucht werden. Zu diesen rechnet er aber auch die Harze

¹⁾ Vergl. Fragmente aristotelischer Phytologie in Meyer's Gesch. d. Bot. I. p. 120.

und sonstigen austretenden Flüssigkeiten und endlich könne es geschehen, daß wie bei den Thieren, ein großer Theil des Saftes durch unmerkliche Ausdunstung entweiche.

Nach der Ansicht des Aristoteles war die Pflanze selbst bei ihrer Ernährung ganz passiv und unthätig; da ihr die vollkommen zubereitete Nahrung von der Erde dargeboten wurde, so war das Wachsthum gewissermaßen ein bloßer Krystallisationsproceß ohne chemische Veränderung. Mit dem Hinweis auf die Bildung von Excreten schrieb Jungius dagegen der Pflanze eine chemische Thätigkeit zu, und die Annahme, daß die Organisation der Wurzel schon den Eintritt gewisser Stoffe hindert, den anderer begünstigt, räumte er der Pflanze eine Mitwirkung bei ihrer Ernährung ein, ohne daß sie dazu einer denkenden Seele bedürfte.

In noch viel schärferem Gegensatz zur aristotelischen Lehre stellte sich ein Zeitgenosse des Jungius, der Arzt und Chemiker **Johann Baptist van Helmont** ¹⁾. Indem er die vier Elemente derselben überhaupt verwarf, betrachtete er als einen Hauptbestandtheil aller Dinge das Wasser; namentlich ließ er aus diesem alle Bestandtheile der Vegetabilien, sowohl die verbrennlichen, wie auch die mineralischen derselben (die Asche) entstehen. Während also Aristoteles die Bestandtheile der Pflanzen schon fertig vorgebildet durch das Wasser eingeführt werden ließ, schrieb van Helmont im Gegentheil der Pflanze die Fähigkeit zu, aus Wasser die allerverschiedensten Stoffe zu erzeugen. Es wäre nicht gerade nöthig, auf diesen, dem alchymistischen Standpunct entsprungenen Widerspruch gegen die alte Lehre hinzuweisen, wenn nicht van Helmont versucht hätte, seine Ansicht experimentell zu begründen; es kam so der erste zu wissenschaftlichem Zweck unternommene Vegetationsversuch zu Stande, von dem wir überhaupt Nachricht haben, der auch noch von viel späteren Pflanzenphysiologen

¹⁾ J. B. van Helmont geb. zu Brüssel 1577, gest. zu Billvorde bei Brüssel 1644, war einer der Hauptvertreter der Jatrochemie, über dessen Leben und Wirken Kopp (Gesch. d. Chemie 1843 I. p. 117 f. f.) ausführlich berichtet.

vielfach citirt und theoretisch ausgebeutet wurde. Er brachte in einen Topf ein Quantum Erde, welches scharf getrocknet 200 Pfund wog; ein Weidenzweig von 5 Pfund Gewicht wurde hineingepflanzt, der Topf durch einen Deckel vor Staub geschützt und täglich mit Regenwasser begossen. Nach fünf Jahren fand sich, daß die Weide groß und stark geworden war und um 164 Pfund an Gewicht zugenommen hatte, obgleich die Erde im Topf wieder getrocknet nur einen Verlust von zwei Unzen ergab. Aus d.m. Erfolg dieses Versuches schloß van Helmont, daß die beträchtliche Gewichtszunahme der Pflanze ganz auf Kosten des Wassers erfolgt sei, daß also auch die vom Wasser ganz verschiedenen Pflanzenstoffe aus diesem entstanden seien.

Die von Jungius und van Helmont gegen die aristotelische Lehre erhobenen Einwürfe blieben indessen zunächst vereinzelt und unfruchtbar. Von ganz anderer Seite her erhielt jedoch die Pflanzenphysiologie einen Anstoß zu neuen Forschungen, der noch bis tief in das 18. Jahrhundert hinein nachwirkte. Diesen Anstoß gab die Aufstellung des Satzes, daß in den Pflanzen nicht bloß ein von den Wurzeln aufgenommener Nahrungsstoff zu den Blättern und Früchten emporsteige, sondern daß auch eine entgegengesetzte Bewegung desselben in der Rinde stattfinde. Dieser Gedanke trat jedoch von vornherein in zwei Modificationen auf. Die einen nahmen, offenbar gestützt auf die Analogie des Blutkreislaufs in den Thieren an, daß auch in den Pflanzen ein wirklicher Kreislauf des Saftes stattfinde; andere dagegen begnügten sich mit der Annahme, daß, während im Holz der von den Wurzeln aufgenommene wässrige Saft emporsteigt, in der Rinde, den Milchsaftgefäßen und Harzgängen ein zubereiteter wachsthumsfähiger Saft sich bewege. Beide Ansichten wurden später vielfach verwechselt und indem man die erstere widerlegte, glaubte man auch die andere beseitigt zu haben. Es scheint, daß der aus Breslau stammende Arzt Johann Daniel Major ¹⁾,

¹⁾ J. D. Major geb. zu Breslau 1639, gest. zu Stockholm 1693, wird sowohl von Christian Wolff wie von Reichel (*De vasis plantarum*

Professor in Kiel, 1665 zuerst den Gedanken ausgesprochen habe, daß in den Pflanzen ähnlich wie in den Thieren ein Kreislauf des Nahrungsstoffes stattfindet. Die etwaige nähere Begründung seiner Hypothese ist mir jedoch nicht bekannt, da mir seine betreffende Schrift unzugänglich geblieben ist. Gewiß ist aber, daß seit dieser Zeit bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts die Circulation der Pflanzensäfte ein Lieblingssthema geblieben ist, mehr für diejenigen, welche sie bekämpften, als für die, welche sie vertheidigen wollten.

Der bessere Gedanke, daß nicht nur überhaupt eine rückläufige Bewegung von Stoffen gegen die Wurzel hin stattfindet, daß vielmehr die Blätter die Organe sind, welche die zum Wachssthum nöthigen Stoffe aus dem ihnen zugeführten Rohmaterial erzeugen, wurde schon 1771 von Malpighi in Form einer wohlbedachten Theorie ausgesprochen. In seiner *anatomes plantarum idea* vom genannten Jahr widmet er die letzten Seiten einer kurzen Darstellung der Ernährungstheorie, wie er sich dieselbe zurecht gelegt hatte. Als die Leitungsorgane des von den Wurzeln aufgenommenen Nahrungsstoffes betrachtete Malpighi die faserigen Bestandtheile des Holzes, wogegen er die Gefäße desselben als luftführende Organe in Anspruch nahm, die er wegen ihrer Aehnlichkeit mit den Tracheen der Insekten auch zuerst als Tracheen bezeichnete. Woher die Luft in ihnen komme, ob sie von den Wurzeln aus der Erde, oder von den Blättern aus der Atmosphäre aufgenommen werde, blieb ihm zweifelhaft, da es ihm nicht gelang, weder dort noch hier Oeffnungen zum Eintritt der Luft aufzufinden; doch hielt er es für wahrscheinlicher, daß die Luft von den Wurzeln aufgenommen werde, weil diese reich an Tracheen sind und die Luft ohnehin

1758 p. 4) und anderen als Begründer der Circulationshypothese citirt, die er in seiner *dissertatio botanica de planta monstrosa Gottorpiensi etc.* 1665 vortrug. Kurt Sprengel (*Gesch. d. Bot.* II. p. 7) führt ihn übrigens unter den Vertheidigern der Palingenese auf, eines Aberglaubens, der die Wiederherstellung der Pflanzen und Thiere aus ihrer Asche annahm und so die Auferstehung der Todten bewies.

ein Streben habe, aufwärts zu steigen. Neben jenen Flüssigkeit führenden Fasern und den luftführenden Tracheen des Holzes betonte er aber auch die Existenz besonderer Gefäße, welche bei manchen Pflanzen eigenartige Säfte führen, wie die Milchgefäße, Gummi- und Terpentingänge.

Bezüglich der Bewegung der Säfte hebt er hervor, daß sich die Richtung derselben umkehren lasse, weil umgekehrt gepflanzte Sprosse an ihrem organisch oberen Ende Wurzeln in die Erde austreiben und zu Bäumen heranwachsen; wenn diese auch immerhin weniger kräftig gedeihen, so beweise das Experiment doch, daß die Bewegung des Nahrungssaftes in umgekehrter Richtung stattfindet.

Nach diesen vorbereitenden Bemerkungen geht er zu dem Nachweis über, daß die rohen Nahrungssäfte erst in den Blättern diejenige Veränderung erfahren, durch welche sie zur Unterhaltung des Wachstums befähigt werden. Die Art, wie Malpighi zu dieser Ansicht gelangt, ist ebenso einfach wie originell. Die Cotyledonen der Keimpflanzen erkennt er als ächte Blätter (in leguminibus seminalis caro, quae folium est conglobatum), was besonders bei dem Kürbiß, wo die Cotyledonen zu großen grünen Blättern auswachsen, einleuchte. Durch die Keimwurzel wird denselben Flüssigkeit zugeführt, von den in ihnen enthaltenen Stoffen aber geht ein Theil in die Keimknospe, um diese zum Wachstum zu veranlassen, denn ihr Wachstum unterbleibt, wenn die Cotyledonen weggenommen werden; da diese letzteren nun Blätter sind, so folgert Malpighi, daß auch alle übrigen Blätter zu dem Zweck vorhanden sind, damit der in ihren Zellen enthaltene Nahrungsaft, den die Holzfasern herbeigeführt haben, daselbst zubereitet werde (excoquatur). Die in den zahlreichen Anastomosen der Fasern auf ihrem langen Wege gemischte Feuchtigkeit, werde in den Blättern durch die Kraft der Sonnenstrahlen verändert und mit dem in den Zellen schon vorhandenen Saft gemischt, wodurch eine neue Verbindung der Bestandtheile hervor gebracht wird, indem zugleich Transpiration stattfindet, was er mit gewissen Vorgängen im Blut der Thiere vergleicht.

Man sieht, wie nahe Malpighi's Ansicht über die Bedeutung der Blätter für die Ernährung an die Wahrheit streift, in der That so nahe, als es bei dem damaligen Zustand chemischer Kenntnisse überhaupt möglich war. Malpighi erweiterte diese Ansicht jedoch, gestützt auf anatomische Ergebnisse und wenn er dabei auch etwas ganz Nichtiges traf, daß nämlich das Rindenparenchym ähnlich dem der Blätter wirke, so ging er freilich zu weit, wenn er auch das farblose, bloß zur Aufbewahrung assimilirter Stoffe dienende Parenchym dem der Blätter gleichsetzte. Er sagt nämlich, man müsse nun auch eine den Blattzellen ähnliche Natur den entsprechenden Zellen der Rinde und denjenigen zuschreiben, welche im Holz transversal gelagert sind (den Markstrahlen und Rindenstrahlen), es sei nicht irrationell, daß in diesen Schläuchen die Pflanzennahrung zubereitet und aufbewahrt werde. Indem er Zubereitung und bloße Aufbewahrung nicht scharf sondert, schreibt er eine ähnliche Funktion, wie den Blättern, auch dem Parenchym des Fruchtfleisches und der Zwiebelshalen zu; aus dem Austreiben abgehauener Baumstümpfe und anderer Pflanzentheile schließt er, daß sie mit Reservestoffen gefüllt sind (*asservato humore turgent*).

Daß die Gefäße des Holzes wesentlich luftführende Organe sind, daß in den Blättern der rohe Nahrungsaft erst für das Wachsthum vorbereitet, daß solcher Saft in verschiedenen Theilen aufbewahrt wird, während die faserigen Elemente des Holzes die von der Wurzel aufgenommenen rohen Nahrungstoffe bis in die Blätter hinaufführen, das waren also die wesentlichen Punkte in Malpighi's Ernährungstheorie vom Jahre 1671. Von einer Circulation der Säfte, welche der Blutcirculation vergleichbar wäre, findet sich hier Nichts, obgleich ihm später vielfach eine solche Ansicht untergeschoben wurde. Davon geben auch noch die weiteren Betrachtungen Malpighi's Zeugniß; während er nicht zweifelhaft darüber war, in welchen Elementarorganen der aufsteigende Nahrungsaft sich bewege, mußte er sich auf bloße Vermuthungen beschränken, betreffs der Wege, auf denen der im Zellgewebe der Blätter, der Rinde und überhaupt

des Parenchym's zubereitete Nahrungssaft fortgeführt werde. Ueber die Richtung aber war er nicht im Zweifel, er nahm vielmehr an, daß dieser Saft sowohl abwärts durch den Stamm in die Wurzeln dringe, als auch aufwärts in den Zweigen oberhalb der Blätter und zu den Früchten hin; Malpighi hatte somit eine richtigere Vorstellung von der Bewegung der assimilirten Stoffe als die Mehrzahl seiner Nachfolger, welche den sehr unpassenden Ausdruck: „absteigender Saft“ einführten. Er hielt es ferner für wahrscheinlich, daß der zubereitete Nahrungssaft in den Bastbündeln fortgeleitet werde,¹⁾ ohne jedoch einen continuirlichen Zu- und Abfluß zu haben (absque perenni et considerabili fluxu et refluxu); daß er in den Milchsaftgefäßen gewissermaßen stagnire und je nach Bedürfnis, durch Transpiration und äußere Einflüsse veranlaßt, zuweilen auch in höhere Theile sich bewege, wodurch Wachsthum und Ernährung unterhalten wird. Auch diese letzteren Bemerkungen sind besser als Vieles, was im 18., selbst im 19. Jahrhundert über die Saftbewegung der Pflanzen gesagt worden ist und jedenfalls beweisen sie, daß es ein großes Mißverständniß war, wenn, wie es später häufig geschah, Malpighi als ein Vertheidiger der Saftcirculation im Sinne Major's bezeichnet wurde.

Malpighi hat seine, schon 1671 im Zusammenhang kurz dargestellte Theorie in der ausführlicheren Bearbeitung der Phytotomie von 1674 im Einzelnen weiter begründet; namentlich legte er Werth auf seine Entdeckung, daß die Pflanzen gleich den Thieren der Luft zur Athmung bedürfen und daß die Gefäße des Holzes den Tracheen der Insekten und den Lungen der übrigen Thiere ihrer Function nach entsprechen. Ebenso kommt er wiederholt auf die Bedeutung der Blätter als der Zubereitungsorgane des Nahrungsstoffes zurück.

Wenn man Malpighi's Ernährungstheorie der Pflanzen mit den Ansichten seiner Vorgänger vergleicht, so muß man an-

¹⁾ In mediis vasculis reticularibus, was im Zusammenhang mit seinen histologischen Darstellungen wohl als Bastbündel aufgefaßt werden muß.

erkennen, daß hier etwas ganz Neues geschaffen war, woran die aristotelische Lehre keinerlei Antheil mehr hatte. Hätten Malpighi's Nachfolger das Wesentlichste und Wichtigste seiner Lehre begriffen und sich bestrebt, durch Experimente an der lebenden Pflanze sie durch neue Thatsachen zu stützen und zu klären, so wäre man von zahlreichen Irrthümern und Verirrungen, welche sich später einnisteten und die Ernährungslehre zu einem wahren Chaos von Mißverständnissen machten, verschont geblieben. Mit dem schon mehrerwähnten Mißverständniß, als ob Malpighi, ähnlich wie Major und später Perrault eine continuirliche Circulation der Pflanzensäfte angenommen habe, mußte sich nothwendig eine unrichtige Auffassung der Blattfunction verbinden; ja diese letztere wurde später vielfach ganz vernachlässigt oder vorwiegend in der Transpiration gesucht, indem man ihre chemische Arbeit ganz übersah.

In Malpighi's Ernährungslehre ist von der chemischen Natur der pflanzlichen Nahrungstoffe kaum die Rede; sie beschäftigt sich wesentlich mit der Bedeutung der Organe für die Hauptmomente der Ernährung; ihre Grundlagen sind vorwiegend anatomischer Natur. Grew, der im Wesentlichen Malpighi's Theorie adoptirte, ohne sie jedoch durch seine weitläufigen Diskussionen über einzelne Fragepunkte zu fördern, versuchte zwar die chemische Seite der Pflanzenernährung weiter zu kultiviren; indem er dabei jedoch ganz in der Anschauungsweise der Cartesianischen Corpusculartheorie sich bewegte und die chemischen Vorgänge so zu sagen construirte, dabei aber das principiell Wichtige meist übersah, gelang es ihm nicht, Etwas zu Tage zu fördern, was für die weitere Entwicklung der Ernährungslehre förderlich sein konnte. Gerade in dieser Beziehung aber sind die Ideen eines Mannes von großem Interesse, dessen Namen gegenwärtig nur Wenige in der Geschichte der Pflanzenphysiologie suchen werden. Es ist Mariotte ¹⁾, der Entdecker des bekannten

¹⁾ Edme Mariotte's Geburtsjahr ist unbekannt; er stammte aus Bourgogne und wohnte zur Zeit seiner ersten wissenschaftlichen Arbeiten in

Gesetzes der Gase, einer der bedeutendsten Physiker in der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts, der auch die menschliche Physiologie mit werthvollen Entdeckungen bereichert hat. Uns ist ein Brief Mariotte's an einen Herrn Lantin vom Jahre 1679 erhalten, der sich in den Oeuvres de Mariotte (Leyden 1717) unter dem Titel: Sur le sujet des plantes, als ziemlich umfangreiche Abhandlung vorfindet. Es ist in hohem Grade lehrreich, aus diesem Briefe zu erfahren, wie einige Jahre nach Malpighi's epochemachendem Werk und ungefähr gleichzeitig mit der Herausgabe von Grew's Phytotomie einer der berühmtesten und geistreichsten Physiker über die chemischen Vorgänge und Bedingungen der Pflanzenernährung dachte. Daß Mariotte dabei nur ganz nebensächlich und oberflächlich auf die feinere Struktur der Pflanzen Rücksicht nimmt, ist beinahe selbstverständlich; dafür entschädigt uns aber die Hervorhebung des principiell Wichtigen und Neuen, was sich damals über die chemische Seite der Ernährungsvorgänge der Pflanzen sagen ließ. Ueber die „Elemente“ oder „Principien“ der Pflanzen stellt Mariotte drei Hypothesen auf, deren erste in der Annahme liegt, daß es viele unmittelbare Principien (*principis grossiers et visibles*, offenbar was wir nähere Bestandtheile nennen würden) der Pflanzen giebt, wie das Wasser, den Schwefel oder das Del, das gemeine Salz, den Salpeter, das flüchtige Salz oder Ammoniak, einige Erden u. s. w.; und daß diese unmittelbaren Bestandtheile selbst wieder zusammengesetzt sind aus drei oder vier einfacheren Principien, die sich mit einander verbunden haben; der Salpeter z. B. habe sein Phlegma oder geschmackloses Wasser, seinen Spiritus, sein fixes Salz u. s. w.; ebenso habe das gemeine Salz dieselben Bestandtheile und man könne mit viel Wahrscheinlichkeit annehmen, daß auch diese einfacheren

Dijon. Er war Geistlicher und wurde Prior von St. Martin sous Beaune bei Dijon; der Academie der Wiss. zu Paris gehörte er seit deren Gründung 1666 an; er war einer der Ersten, die sich in Frankreich der experimentirenden Physik widmeten und die Mathematik auf dieselbe anwandten. Er starb zu Paris 1684 (Biogr. univ.)

Principien noch aus einigen, unter sich verschiedenen Theilen zusammengesetzt sind, die jedoch ihrer Kleinheit wegen durch kein Mittel der Kunst, ihrer Figur oder sonstigen Eigenschaften nach, zu erkennen sind. Nachdem er weiter gezeigt, wie sich gewisse Principien mit einander verbinden, fährt er fort, er wolle denselben durchaus nicht etwa ein Bewußtsein (*connaissance*) zu schreiben, durch welches sie sich zu vereinigen suchen; er glaube vielmehr, daß sie eine natürliche Disposition besitzen, sich reciproc gegen einander zu bewegen und in Folge dessen sich genau zu verbinden, sobald sie einander berühren; obgleich es sehr schwierig sei, die Art dieser Disposition zu bestimmen, genüge es doch zu wissen, daß sich in der Natur viele Beispiele derartiger Bewegungen finden: so bewegen sich die schweren Körper gegen das Centrum der Erde, das Eisen gegen den Magneten; und diese Bewegungen seien kaum schwieriger zu begreifen, als die der Planeten in ihren Kreisen oder diejenigen der Sonne um ihre eigene Ase, oder die Bewegung des Herzens in einem lebenden Thiere. Mit dieser ersten Hypothese stellt sich Mariotte, im Gegensatz zu der damals noch vielfach unter Botanikern und Physiologen herrschenden aristotelischen Lehre mit ihren Entelechieen und Zweckbegriffen, ganz auf den Boden der modernen Naturwissenschaft mit ihrer atomistischen Grundlage und der Annahme nothwendig wirkender Anziehungskräfte.

Mariotte's zweite Hypothese betrifft nun im Specielleren die chemische Natur der Pflanzen selbst; er nimmt an, daß mehrere seiner *principes grossiers* in jeder Pflanze enthalten sind und zunächst sucht er die Herkunft derselben nachzuweisen: die Luftstäubchen, sagt er, die durch den Blitz verbrannt, nach Schwefel riechen, werden von meteorischem Wasser in die Erde geführt und nebst Theilen derselben in die Pflanze aufgenommen. Ferner ergebe die Destillation bei allen Pflanzen Wasser, welches die Chemiker Phlegma nennen, außerdem Säuren und Ammoniak, und wenn man den Destillationsrückstand verbrennt, so bleibe Asche übrig, aus der man eine geschmacklose, in Wasser nicht lösliche Erde und fixe Salze gewinnt, die sich unter einander

durch Mischung von mehr oder weniger saurem und ammoniakalischem Geist oder anderer unbekannter Principien, die das Feuer nicht verflüchtigen konnte, unterscheiden. Man brauche sich nicht zu wundern, daß man diese Principien in den Pflanzen finde, da diese ihre Nahrung aus der Erde ziehen, welche dieselbe enthält. — Man sieht, wie groß der Fortschritt auf diesem Gebiet seit der Zeit war, wo van Helmont durch seinen Vegetationsversuch glaubte bewiesen zu haben, daß alle Pflanzenstoffe aus reinem Wasser entstehen.

Aber noch galt es, einer damals verbreiteten Ansicht über die Herkunft der Pflanzenstoffe entgegen zu treten, welche ebenfalls noch aus dem Inventar der aristotelischen Begriffe übrig geblieben war. Man nahm nämlich an, daß die Stoffe, aus denen die Pflanze sich aufbaut, schon als solche in der Erde enthalten sind und nur einfach von den Wurzeln aufgenommen zu werden brauchen. Aristoteles selbst hatte ausdrücklich gesagt: „Alles ernährt sich von dem, woraus es besteht, und Alles ernährt sich von Mehrerem; auch was sich nur von Einem zu nähren scheint, wie die Pflanzen von Wasser, ernährt sich von Mehrerem, denn Erde ist mit dem Wasser gemischt; daher auch die Landleute mit Mischungen zu begießen pflegen.“ Dieser Satz könnte noch Zweifel übrig lassen, wenn wir nicht noch den andern fänden: „Wieviel Geschmäcke in den Fruchthüllen, soviel walten offenbar auch in der Erde. Daher auch viele der alten Physiologen sagten, sovielartig sei das Wasser, wie der Boden, durch den es rinne.“¹⁾ Diese Sätze zusammengehalten mit den schon früher citirten zeigen, daß Aristoteles die zum Wachstum der Pflanzen nöthigen Stoffe, wie auch bereits früher hervorgehoben, fertig gebildet aus der Erde in die Pflanzen gelangen ließ, eine Ansicht, die sich nicht nur bis auf Mariotte's Zeit erhalten hat, sondern sogar jetzt noch bei physiologisch Ungebildeten fortlebt. Es ist nun interessant zu sehen, wie Mariotte das

¹⁾ Vergl. Fragmente der aristotelischen Phytologie in Meyers Gesch. d. Bot. I. p. 119 u. 125.

Unzutreffende, ja Gedankenlose dieser Auffassung schlagend darthut, ohne dabei irgend eine neue Entdeckung zu Hülfe zu nehmen. In seiner dritten Hypothese nämlich behauptet er, daß die Salze, Erden, Oele u. s. w., welche die verschiedenen Pflanzenarten durch die Destillation ergeben, immer dieselben sind, und daß die Unterschiede nur von der Art der Vereinigung dieser principes grossiers und ihrer einfachsten Theile oder auch von ihrer Trennung herrühren, was er folgendermaßen beweist: Wenn man eine Bonchretien-Biene auf eine wilde pfpopft, so erzeugt derselbe Saft, der auf der letzteren schlechte Birnen bringt, auf dem Pfpopfreis gute wohlschmeckende Birnen. Pfpopfe man auf letzteres wieder ein Reis der Waldbirne, so trage dieses abermals schlechte Früchte. Dieses zeige nun, daß derselbe Saft des Stammes in jedem Pfpopfreis verschiedene Eigenschaften annimmt. Noch schlagender aber ist sein Nachweis dafür, daß die Pflanzen ihre Substanz nicht direct aus der Erde nehmen, sondern sie durch chemische Prozesse selbst erzeugen. Nehmt einen Topf, sagt er, mit 7—8 Pfund Erde und säet in diese eine ganz beliebige Pflanze; sie wird in dieser Erde und in dem darauf gefallenen Regenwasser alle Principien vorfinden, aus denen sie bei der Reife zusammengesetzt ist. Man kann jedoch 3000 oder 4000 verschiedene Pflanzenarten in diese Erde säen; wenn nun ihre Salze, Oele, Erden bei jeder Pflanzenspecies von verschiedener Art wären, so müßten alle diese Principien in dem kleinen Quantum Erde und Regenwasser, welches in drei bis vier Monaten darauf fällt, enthalten sein, was unmöglich ist; denn jede dieser Pflanzen würde im reifen Zustand wenigstens ein Gros fixes Salz und zwei Gros Erde ergeben und alle diese Principien zusammen mit denen, welche mit dem Wasser gemengt sind, würden wenigstens zwei bis drei Unzen wiegen, was multiplicirt mit der Zahl von 4000 Pflanzenarten ein Gewicht von 500 Pfund ergeben würde.

Diese Erwägungen stützen sich ebenso, wie die des Jungius und in der Hauptsache auch die des Malpighi auf Thatfachen, die dem Alterthum im Ganzen ebensogut, wie dem 17. Jahr-

hundert bekannt waren; nur hatte sich eben früher Niemand mit derartigen Erwägungen befaßt, welche an sich vollkommen hinreichen, die aristotelische Lehre von der Pflanzenernährung zu beseitigen.

Im zweiten Theil seines Briefes beschäftigt sich Mariotte mit den von der Ernährung abhängigen Vegetationserscheinungen; den Nährkörper des Samens vergleicht er mit dem Dotter der Thiere; den Eintritt des Wassers in die Wurzel mit dem Steigen desselben in capillaren Röhren; der Milchsaft wird als Nahrungssaft aufgefaßt, der mit dem arteriellen Blut zu vergleichen sei, während die anderen wässrigen Säfte dem venösen entsprechen. Ganz neu ist aber, was Mariotte über den Saftdruck sagt; er weist auf den hohen Druck hin, unter welchem der Saft in den Pflanzen steht, und folgert daraus, daß in der Pflanze Einrichtungen vorhanden sein müssen, welche dem Wasser zwar den Eintritt, nicht aber den Austritt gestatten. Das Vorhandensein des Saftdruckes selbst wird an dem Ausquellen verletzter Milchsaftpflanzen treffend demonstrirt und mit dem Druck verglichen, unter welchem das Blut in den Adern steht. Nicht minder treffend ist Mariotte's weitere Folgerung, daß der Saftdruck die Wurzeln, Zweige und Blätter ausdehne, also zu ihrem Wachsthum beitrage. Der Saft, setzt er hinzu, würde nicht unter diesem Drucke stehen können, wenn er nicht durch Poren einträte, welche ihm den Rücktritt verwehren. In diesen Bemerkungen lagen die ersten Keime theoretischer Betrachtungen über das Wachsthum der Pflanzen, denen wir in etwas anderer Form noch einmal bei Hales begegnen werden, die aber bei der geringen Entwicklung der Phytotomie einer weiteren Ausbildung noch nicht fähig waren und erst von mir wieder, wenn auch von anderen Gesichtspuncten ausgehend, aufgenommen worden sind.

Daß der primäre Saft nicht nur durch die Wurzeln, sondern auch durch die Blätter eindringe, schloß Mariotte daraus, daß der eine Zweig eines größeren Astes einige Tage lang frisch bleibt, wenn der andere Zweig desselben in Wasser taucht, ein,

wie die Zukunft lehrte, nicht ganz gerechtfertigter Schluß. Was er über die Nothwendigkeit des Sonnenlichts zur Ernährung über das Reifen der Früchte und Anderes sagt, stützt sich auf sehr unvollständige Erfahrung und kann hier übergangen werden.

Das Charakteristische und Bedeutende in Mariotte's Ernährungstheorie der Pflanzen ist der entschiedene Gegensatz seines naturwissenschaftlichen Standpunctes gegen die damals noch viel verbreiteten, aristotelischen und scholastischen Ansichten und in diesem Sinne erklärt er auch der aristotelischen Pflanzenseele den Krieg. Seine Betrachtungen über diese knüpft er an die ihn in Verwunderung setzende Thatsache, daß jede Pflanzenart ihre Eigenschaften so genau fortpflanzt; durch die Annahme einer Pflanzenseele, von der man nicht wisse, was sie sei, werde für die Erklärung Nichts gewonnen. Ebenso entschieden aber spricht er sich auch gegen die schon damals verbreitete Evolutionstheorie aus. Gegenüber der Annahme, daß in den Pflanzensamen schon alle künftigen Generationen in einander geschachtelt seien, findet er es viel wahrscheinlicher, daß sie nur die wesentlichen Stoffe enthalten und daß durch deren Einwirkung auf den rohen Nahrungsaft die übrigen Pflanzenstoffe successive entstehen, was wir auch jetzt noch als durchaus zutreffend gelten lassen dürfen. Indem Mariotte den ganzen Ernährungs- und Lebensprozeß der Pflanzen als ein Spiel physischer Kräfte, als Vereinigung und Trennung einfacher Stoffe betrachtet, glaubt er nun auch, als nothwendige Folgerung aus dieser Annahme die damals allgemein angenommene Urzeugung physikalisch beweisen zu können. Hier machte sich jedoch der Mangel hinreichender und kritisch gesichteter Erfahrung geltend, denn er hielt es für einen Beweis der Generatio spontanea, wenn aus dem Boden trockener Sümpfe und ausgeworfener Gräben zahlreiche Pflanzen hervorsprossen. „Man kann also annehmen, sagt er, daß es in der Luft, im Wasser und in der Erde unendlich viele Körperchen giebt, welche so geartet sind, daß zwei oder drei durch ihre Verbindung den Anfang einer Pflanze bilden können und den Samen einer solchen darstellen, wenn sie eine ihrem Wachsthum günstige Erde vorfinden.

Es sei aber nicht glaublich, daß dieser kleine Complex alle Zweige, Blätter, Früchte und Samen dieser Pflanze schon enthalte und noch weniger, daß in diesem Samen schon alle die Zweige, Blätter, Blüthen u. s. w. enthalten seien, welche in infinitum aus dieser ersten Keimung hervorgehen.“ Als Beweis dagegen führt er an, daß aus den Blüthenknospen eines Rosenstockes nach völliger Entlaubung desselben im nächsten Jahr nur Laubspresse hervorkamen, daß also die Blüthen in jenen Knospen nicht präformirt gewesen seien und dasselbe sei daraus zu folgern, daß die Samen eines und desselben Obstbaumes oder einer Melone durch Variation verschiedene Nachkommen erzeugen, ein Beweis gegen die Evolutionstheorie, der viel zutreffender ist, als das Meiste, was vor Koelreuter's Bastardirungen gegen dieselbe gesagt wurde.

Auch anderen Vorurtheilen seiner Zeit trat Mariotte mit guten Gründen entgegen. Die sogenannten virtutes der Pflanzen, d. h. ihre medicinischen Wirkungen, spielten damals nicht nur in der Botanik, sondern noch mehr in der Medicin und Chemie eine große Rolle. Nach Abfertigung der alten Theorie von Wärme und Kälte, Feuchtigkeit und Trockenheit, welche den Pflanzen als wesentlich immanente Eigenschaften ihrer Substanz zugeschrieben wurden, und aus welchen man ihre vermutheten medicinischen Wirkungen erklärte, weist er darauf hin, daß Giftpflanzen in demselben Boden neben unschädlichen wachsen, woraus zu folgern sei, daß, wie er schon vorher bewiesen, die verschiedenen Pflanzen ihre eigenthümlichen Stoffe nicht direct aus dem Boden aufnehmen, sondern sie durch Trennung und Bereinigung der allgemeinen Principien erst erzeugen. Schließlich erklärte er sich auch noch gegen einen der größten aus dem 16. Jahrhundert stammenden Irrthümer, gegen die signatura plantarum, nach welcher man die medicinische Wirksamkeit der Pflanzen aus ganz äußerlichen Merkmalen, zumal aus Aehnlichkeiten ihrer Organe mit Organen des menschlichen Körpers glaubte ableiten zu können. Mariotte dringt darauf, daß man die medici-

schen Wirkungen der Pflanzen durch experimentirende Anwendung derselben an Kranken konstatare.

Mariotte's Brief, dessen wesentlichsten Inhalt ich hier mitgetheilt habe, giebt uns ein lebhaftes Bild von den in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts über das Pflanzenleben verbreiteten Ansichten und zeigt zugleich, wie ein hervorragender Naturforscher, der sich auf die Principien der neueren Philosophie stützte und die bekannten Thatsachen scharfsinnig zu verwenden wußte, jenen veralteten, auf Vorurtheil und Gedankenlosigkeit beruhenden Irrthümern entgegentrat. Nehmen wir, was Malpighi vorwiegend auf phytotomischen Grundlagen über die innere Oekonomie der Pflanzen sagte, zusammen mit den chemisch physikalischen Erörterungen Mariotte's, so haben wir eine vollkommen neue Theorie der Pflanzenernährung, welche der aristotelischen nicht nur gänzlich entgegengesetzt, sondern auch durch einen viel größeren Reichthum an Gedanken und durch scharfsinnigere Combination als diese ausgezeichnet ist.

In der That hatten Malpighi und Mariotte alle diejenigen Principien der Ernährungstheorie aufgefunden, welche bei dem damaligen Zustand der Phytotomie und Chemie überhaupt gefunden werden konnten; namentlich hatte es Mariotte verstanden, aus den schwankenden chemischen Kenntnissen seiner Zeit gerade das Beste zur Erklärung der Vegetationserscheinungen zu benützen. Wie wenig die Chemie damals noch im Einzelnen zur Erklärung der Ernährungsvorgänge der Pflanzen beitragen konnte, zu einer Zeit, wo sie eben erst anfing, sich aus den Vorurtheilen der Jatrochemie frei zu machen, um dem Phlogiston anheimzufallen, wie wenig die Methoden gerade zur Untersuchung organischer Körper damals noch ausgebildet war, darüber findet man viel Belehrendes in einem kleinen 1676 und zum zweiten Mal 1679 herausgegebenem Buche: *Mémoires pour servir à l'histoire des plantes*, welches zwar von Dodart herausgegeben, aber von sämmtlichen Mitgliedern der Pariser Akademie zusammengestellt und gebilligt worden ist. Es enthält nicht Untersuchungsergebnisse, sondern ein ausführliches Programm, nach

welchem das Pflanzenreich allseitig, namentlich auch chemisch untersucht werden sollte. Da heißt es z. B., man müsse die Pflanzen langsam verbrennen, damit die zerstörende und verwandelnde Gewalt des Feuers weniger Einfluß übe, auch spielen die *virtutes plantarum* eine große Rolle in der chemischen Untersuchung der Pflanzen und mit Blut mischte man Pflanzensäfte, um ihre Wirkungen zu erfahren! Noch 1685 leitete ein gewisser *Debu* in einer Abhandlung: *De l'âme des plantes* die Erzeugung und das Wachsthum der Pflanzen aus der Gährung und dem Aufbrausen der Säuren mit den Laugensalzen her, wie *Kurt Sprengel* berichtet. Erst durch den Vergleich mit diesen und ähnlichen Ansichten erkennt man die ganze hervorragende Bedeutung dessen, was *Malpighi* und *Mariotte* über die Ernährung der Pflanzen sagten und noch mehr zeigt sich ihr Scharfsinn darin, daß sie Manches nicht sagten, weil sie es offenbar für unbegründet hielten.

Malpighi's und *Mariotte's* Ansichten über die Pflanzenernährung wurden von ihren Zeitgenossen und Nachfolgern zwar vielfach citirt und beachtet; wie es aber leider bis auf die neuere Zeit gewöhnlich der Fall war, wurde auch schon damals das principiell Wichtige und Bedeutende über Nebendingen übersehen oder die Ansichten dieser klar denkenden Männer mit unbestimmten Vorstellungen und mißverstandenen Thatsachen vermengt, so daß längere Zeit ein wirklicher Fortschritt nicht stattfand, wenn auch immerhin verschiedene neue Thatsachen bekannt wurden. Es wurde schon früher hervorgehoben, daß *Malpighi's* richtige Ansicht von der Bedeutung der Blätter für die Ernährung später gewöhnlich mit *Major's* Circulationstheorie für gleichbedeutend genommen wurde und da man die letztere aus verschiedenen Gründen für unzutreffend hielt, so glaubte man damit auch *Malpighi's* Ansicht beseitigt zu haben. Denen gegenüber, welche in den Pflanzen ausschließlich einen im Holz aufsteigenden Saft annahmen, verdiente aber selbst die Circulationstheorie im Sinne *Major's* noch den Vorzug, da sie doch wenigstens geeignet war, gewissen Wachsthumsercheinungen Rech-

nung zu tragen. Einen neuen Vertreter fand dieselbe nun in **Claude Perrault** 1680, der jedoch wie es scheint ¹⁾ den bündigen Argumenten **Malpighi's** für die Existenz eines rückkehrenden Saftes wesentlich Neues nicht hinzufügte. Noch weniger gelang es aber seinem Gegner **Magnol** in einer 1709 publicirten, sehr schwachen Abhandlung etwas Stichhaltiges gegen die Circulationstheorie, die er auch dem **Malpighi** zuschrieb, zu sagen.

Unter den Vegetationsercheinungen der Holzpflanzen ist kaum eine andere so auffallend, wie das Ausfließen wässrigen Saftes aus verwundeten Weinstöcken und manchen Baumstämmen im Frühjahr. Es konnte nicht fehlen, daß diese Erscheinung ebenso wie das Ausfließen des Milchsaftes, des Gummi's, der Harze u. s. w. von Denen mit lebhaftem Interesse beachtet wurde, welche sich im 17. Jahrhundert mit den Vegetationsercheinungen beschäftigten. Sind die Bewegungen des Wassers im Holz, der Milchsaftes u. s. w. in ihren Kanälen auch nicht nothwendige Begleiter der Ernährung der Pflanzen überhaupt, so lag es in jener Zeit doch nahe, gerade in ihnen auffallende Beweise der mit der Ernährung zusammenhängenden Saftbewegung zu finden und sie in diesem Sinne zu untersuchen. Auch konnte es scheinen, als ob es sich hier um ein leicht zu lösendes Problem handle, denn erst eine spätere Zeit lehrte, daß gerade hier die schwierigsten Fragen der Pflanzenphysiologie sich aufthun. Von dem lebhaften Interesse an diesen Dingen giebt uns eine Reihe brieflicher Mittheilungen Auskunft, welche in den *Philosophical transactions* vom Jahr 1670 enthalten sind ¹⁾ und von **Dr. Tonge**, **Francis Willoughby** und besonders von **Dr. Martin Lister** herrühren, Es war jedoch gerade diejenige Erscheinung, welche so recht dazu angethan ist, das Verständniß der Wasserbewegungen in den

¹⁾ Seine Ansichten sind mir jedoch nur aus **Magnol's** Aufsatz in *Histoire de l'Acad. roy. des sc.* 1709 und **Sprengel's** *Gesch. der Bot.* II, 20 bekannt. **Perrault's** betreffende Abhandlung ist nach **Prizel's** *Thesaurus* vom Jahre 1680, aber in den *Oeuvres divers de Perrault* 1721 publicirt.

²⁾ Sie finden sich besonders I. c. p. 1165, 1201, 2067, 2119.

Holzpflanzen irre zu führen, nämlich das sogenannte Bluten der Bäume im Winter, dem diese Männer ihr Interesse vorwiegend zuwandten. Dieses Bluten des Holzes im Winter, welches von ganz wesentlich anderen Ursachen abhängt, als das Thränen des Weinstocks und anderer Holzpflanzen im Frühjahr, wurde mit eben dieser Erscheinung für identisch gehalten und so eine arge Begriffsverwirrung angerichtet. Zwar zeigte Martin Lister, daß man im kalten Winter an abgeschnittenen Aststücken durch künstliche Erwärmung Wasser aus dem Holz austreiben und dann durch Abkühlung dasselbe wieder einsaugen lassen kann, aber erst einem neueren Pflanzenphysiologen gelang es, den Nachweis zu liefern, daß diese Erscheinung mit dem durch den Wurzeldruck verursachten Bluten abgeschnittener Stöcke Nichts zu thun hat und zur Erklärung desselben nicht benutzt werden kann.

John Ray, der im ersten Band seiner *historia plantarum* 1693 Alles, was man über die Ernährung der Pflanzen bis dahin wußte, übersichtlich und recht verständig darstellte, theilte auch einige von ihm selbst gemachte Erfahrungen über die Bewegungen des Wassers im Holze mit. Dem Sprachgebrauche Grew's folgend, der den aufsteigenden Saft im Holz als Lympe und dem entsprechend die Holzfasern als Lymphgefäße bezeichnete, hob Ray ausdrücklich hervor, daß die Lympe namentlich im Frühjahr weder in Geschmack noch Consistenz von gemeinem Wasser zu unterscheiden sei. Mit Grew stimmte er auch darin überein, daß um diese Zeit die Lympe auch die ächten Gefäßröhren des Holzes erfülle und auf Querschnitten aus ihnen hervorquelle, während sie im Sommer mit Luft gefüllt sind und die Lympe zur Zeit der starken Transpiration der Holzpflanzen nur in den Lymphgefäßen, d. h. in den faserigen Elementen des Holzes und Bastes emporsteige. Durch geeignete Einschnitte in das Holz bewies Ray, daß die Lympe auch seitwärts durch das Holz sich bewegen könne; auch hatte er den guten Gedanken, die Meinung derer, welche in den Hohlräumen des Holzes, namentlich in den Gefäßen, Klappen annahmen, die den Rücktritt der Lympe verhindern sollten, dadurch zu wider-

legen, daß er Wasser durch beiderseits abgeschchnittene Aststücke in den entgegengesetzten Richtungen hindurchfiltriren ließ. Schwach war dagegen, was er über die mechanischen Ursachen der Wasserbewegung im Holz zu sagen wußte.

Ueberhaupt wurde die Kenntniß derartiger Vegetationsvorgänge erst einige Jahrzehnte später durch *Hales* beträchtlich gefördert. Bevor wir jedoch auf dessen bedeutende und diesen Zeitraum abschließende Leistung übergehen, ist noch von einigen minder wichtigen Schriften zu berichten. Ziemlich unbedeutend war, was *Woodward* und *Beale* über die Transpiration und Wasseraufnahme im Interesse der Ernährungstheorie mittheilten. Des Ersteren Angabe, daß eine in Wasser wachsende *Mentha* in drei Monaten sechsundvierzigmahl soviel Wasser aufnahm und durch die Blätter verdunstete, als sie in sich selbst zurückhielt, war vielleicht das Bedeutendste, was er an Thatsächlichem zu Tage förderte, wogegen seine eigenen Folgerungen daraus nichts Brauchbares darboten.

Keine von *Malpighi*'s Lehren hatte ihrerzeit soviel Aufsehen gemaacht, wie die, daß in den Spiralgefäßen des Holzes ähnlich wie in den Tracheen der Insekten die zur Athmung der Pflanzen nöthige Luft sich bewege; während ihm *Grew* und später *Ray* in der Hauptsache beistimmten, wagte dagegen sein Landsmann *Sbaraglia* 1704 sogar die Existenz derartiger Gefäße zu leugnen und bald gerieth die Phytotomie so sehr in Verfall, daß die Frage, ob es überhaupt Gefäße, oder wie man es damals nannte, Spiralgefäße gebe, wiederholt bald bejaht und bald verneint wurde, und schließlich fand man es zweckmäßiger im Interesse der physiologischen Fragen, statt des Mikroskops, das Experiment zu Rathe zu ziehen. So versuchte schon 1715 *Nieuwentijt* mit Hülfe der Luftpumpe die in den Gefäßen enthaltene Luft unter Flüssigkeit in sichtbarer Weise austreten zu lassen. Wie schon früher bei anderen Gelegenheiten begegnen wir nun auch hier wieder als einem eifrigen Vertreter der Pflanzenphysiologie in Deutschland, dem Philosophen *Christian Wolff*, der in dem dritten Theil seines Werkes: „Allerhand nütz-

liche Versuche u. s. w.“ 1721 unter Anderem auch Versuche mittheilte, welche die Gegenwart der Luft in den Pflanzen bestätigten; denn dieß war bei dem damaligen Zustand der Physik und Chemie von größerem Interesse, als die anatomische Beschaffenheit der die Luft führenden Organe. Wolff hatte in luftfreiem Wasser liegende Blätter dem Vacuum der Luftpumpe ausgesetzt und Luftblasen namentlich auf der Unterseite austreten sehen; wenn er aber den atmosphärischen Druck wieder einwirken ließ, so infiltrirten sich die Blätter mit Wasser, und das Gleiche fand er an Tannenholz, welches nach der Infiltration unter sank. Gleiche Versuche mit Aprikosenfrüchten ließen Luft aus der Haut, besonders aber aus dem Stiel derselben austreten. Auch Wolff's Schüler Thümmig beschrieb in seiner „gründlichen Erläuterung der merkwürdigsten Begebenheiten in der Natur“ 1723 ähnliche Versuche und beide blieben in dieser Frage, wie überhaupt in ihren physiologischen und phytotomischen Ansichten treue Anhänger Malpighi's, das Verständigste, was man damals thun konnte. Bei Christian Wolff müssen wir hier jedoch noch länger verweilen, da er einige Jahre später die gesammte Ernährungslehre in übersichtlicher und populärer Form behandelte. Wolff's Verdienste um die Verbreitung der Naturwissenschaft in Deutschland scheinen bisher weniger, als billig, gewürdigt worden zu sein; seine verschiedenen, zum Theil recht umfangreichen und theilweise auf eigene Untersuchung gestützten naturwissenschaftlichen Werke waren in hohem Grade inhaltreich und für ihre Zeit sehr belehrend; sie trugen dazu bei, einer freieren Geistesrichtung die Bahn zu brechen, in einer Zeit, wo selbst unter denen, welche wissenschaftliche Abhandlungen in der deutschen Akademie der Wissenschaften (den Akten der Leopoldina) veröffentlichten, noch krasser Aberglaube herrschte, wie der der Palingenesie. Wenn auch Wolff's eigene naturwissenschaftliche Untersuchungen mehr guten Willen als Geschick verriethen, so hatte er doch vor vielen Anderen eine bedeutende philosophische Bildung voraus; an abstractes Denken gewöhnt, gelang es ihm leicht, das prinzipiell Wichtige aus den Erfahr-

ungen Anderer von dem Nebensächlichen und Unbedeutenden abzusondern und so die naturwissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit von höheren Gesichtspuncten aus darzustellen. In dieser Beziehung ist besonders sein 1723 erschienenes Werk: „Vernünftige Gedanken von den Wirkungen der Natur“ anerkennend hervorzuheben. Es ist, was man jetzt eine Art „Kosmos“ nennen könnte: Es handelt von den Körpern und ihren physischen Eigenschaften überhaupt, von den Weltkörpern im Allgemeinen, von unserem Planeten im Besonderen, von Meteorologie, physischer Geographie, und endlich von Mineralien, Pflanzen Thieren und Menschen. Seinem Hauptzweck, der allgemeinen Belehrung, entsprechend ist es deutsch und in gut populärem Stil geschrieben unter Benutzung des Besten, was damals von naturwissenschaftlichen Dingen bekannt war, so namentlich auch seine Darstellung der Ernährungsverhältnisse der Pflanzen, wo er die ganze einschlägige Literatur sorgfältig und mit Verständniß benutzte und alles Brauchbare aus Malpighi, Grew, Leeuwenhoeck, van Helmont, Mariotte u. s. w. zu einer zusammenhängenden Lehre von der Ernährung der Pflanze verschmolz, wobei auch gelegentliche, treffend kritische Bemerkungen nicht fehlen. Bei dem Zustand der naturwissenschaftlichen Literatur in Deutschland während der ersten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts lag in einer solchen zusammenfassenden und orientirenden Behandlung ebensoviele Verdienstliches, wie in neuen Untersuchungen oder in einigen Entdeckungen von untergeordnetem Werth. Für uns aber hat gerade hier Christian Wolff's Capitel über die Ernährung namentlich auch insofern Interesse, als in demselben noch manche, damals schon bekannte, bisher aber nicht erwähnte Wahrnehmungen von Werth mitgetheilt sind. Dieselben beziehen sich vorwiegend auf die chemische Seite der Ernährungsvorgänge und berühren manche Probleme, die ihre Erledigung erst in unserer Zeit gefunden haben; so z. B. die Angabe, es sei eine bekannte Sache: „daß die Erde ihre Fruchtbarkeit verliert, wenn Vieles daraus wächst; sonderlich was viel Nahrung erfordert, und man daher nöthig hat, dieselbe entweder

mit
Fra
Wie
Kür
fort
m o
Sach
chen
und
ölig
und
dürf
foll.
der
Del
Del
Dese
Nach
ri o t
selbst
müß
und
daß
gebro
könn
Theil
die
berlic
Nahr
der
hin u
Körp
durch
man
Waffe
e a

mit Mist oder Asche zu düngen"; worin wir also bereits die Frage nach der Erschöpfung des Bodens und die Lehre vom Wiederersatz der durch die Ernten entnommenen Bodenstoffe in Kürze angedeutet finden. „Absonderlich sei bekannt, fährt Wolff fort, wie der Salpeter das Erdreich fruchtbar mache; Vallemont habe den Nutzen des Salpeters gerühmt und andere Sachen angeführt, die wegen ihrer salzigten und öligten Theilchen eine gleiche Wirkung haben, wie das Horn von Hörnern und Klauen der Thiere; der Mist habe gleichfalls salzige und ölige Theilchen in sich, die auch der Asche nicht fehlen, und man sehe daran, daß auch solche Theilchen nicht fehlen dürften, wenn eine Pflanze durch das Wasser ernährt werden soll. Dasselbe zeige auch der Same, der die erste Nahrung der Pflanze bei sich führt, maßen keiner zu finden, der nicht Del und Salz enthält, dergestalt, daß sich aus vielen das Del herauspressen läßt; man finde auch in allen Pflanzen Dele und Salz, wenn man sie chemisch untersucht.“ Mit Nachdruck hebt Wolff auch den von Malpighi und Mariotte begründeten Gedanken hervor, daß in der Pflanze selbst die eingetretenen Nährstoffe chemisch verändert werden müssen. Da eine jede Pflanze, sagt er, ihr besonderes Salz und ihr besonderes Del habe, so werde man leicht zugeben, daß dasselbe erst in der Pflanze erzeugt, aber keineswegs hineingebracht wird. Weil aber gleichwohl die Pflanzen nicht wachsen können, wo die Erde ihnen keine salzige, sonderlich salpetrige Theilchen gewähren kann, so müssen diese doch dazu dienen, daß die Salze und Dele in der Pflanze erzeugt werden und absonderlich auch dazu erforderlich seien, daß das Wasser in einen Nahrungsstoff verwandelt wird. Weiterhin weist er auf die in der Luft schwebenden salpetrigen, salzigen und öligten Theile hin und auch die tägliche Erfahrung zeige, daß von verwesenden Körpern das Meiste in die Luft geht und wenn man das Licht durch eine enge Oeffnung in einen finsternen Ort lasse, könne man auch eine große Menge Stäubchen herumfliegen sehen; das Wasser aber nehme Salz und Erde leicht an sich und die mi-

neralischen Brunnen bezeugen, daß sich auch metallische Theilchen damit vermengen. Derowegen sei wohl auch kein Zweifel, daß nicht auch das Regenwasser mit allerhand Materie vermischt sein sollte, welche es den Pflanzen zuführt. Indem Wolff weiterhin noch einmal auf die nothwendig anzunehmende chemische Veränderung der Nährstoffe in den Pflanzen hinweist, knüpft er daran Betrachtungen über die Organe, in denen dies geschieht, wobei er sich eng an Malpighi anschließt: In Röhren, sagt er, könne dergleichen Aenderung nicht vorgehen, denn darin steige der Saft bloß in die Höhe oder hernieder. Derowegen bleibe wohl Nichts übrig als die schwammigte Materie (das Zellgewebe) darinnen der Nahrungsstoff zubereitet werden könne und vertreten demnach die Bläschen oder sogenannten utriculi die Stelle des Magens; die Veränderung aber, welche mit dem Wasser vorgeht, könne nur darin bestehen, daß die Theilchen verschiedener Materie die im Regenwasser anzutreffen sind, von demselben geschieden und auf eine besondere Art mit einander vereinigt werden, welches ohne besondere Bewegungen nicht geschehen kann. Wolff's Vorstellungen von diesen Saftbewegungen aber sind ziemlich unklar. Als bewegende Kräfte nimmt er die Ausdehnung der Luft und die Capillarität der Holzzöhren in Anspruch. Entschieden stellte er sich auf die Seite derer, welche außer dem aufsteigenden rohen Nahrungsstoff auch einen rückkehrenden annahmen, in welcher Beziehung er sich jedoch auf Major, Perrault, und Mariotte, statt auf Malpighi beruft; gleich diesem aber hebt er das Wachstum umgekehrt gepflanzter Bäume als Beweis hervor, daß die Säfte in den leitenden Organen sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen können und mit Mariotte schreibt er die Vergrößerung wachsender Organe der Auseinandertreibung durch die eindringenden Säfte zu.

Nicht nur diese wohlgemeinten Bestrebungen Christian Wolff's, sondern Alles, was seit Malpighi und Mariotte bis auf Ingen-Houß in der Ernährungslehre der Pflanzen geschah, wurde tief in den Schatten gestellt durch die glänzenden

Untersuchungen von **Stephan Hales** ¹⁾, in denen noch einmal der originelle Erfindungsgeist und die gesunde, urwüchsig Logik der großen Naturforscher aus Newton's Zeitalter hervortrat. Seine *Statical essays*, welche 1727 zuerst erschienen, kamen noch zweimal englisch, später in französischer, italienischer und deutscher Uebersetzung (diese mit einem Vorwort von Ch. Wolff) heraus. Es war das erste umfangreichere, ganz der Ernährung und Saftbewegung der Pflanzen gewidmete Werk, welches, die bisherige Literatur zwar beachtete, doch wesentlich nur neue Untersuchungen des Verfassers mittheilte. Eine Fülle neuer Experimente und Beobachtungen, Messungen und Berechnungen vereinigte sich hier zu einem lebensvollen Bild. Hatte **Malpighi** vorwiegend durch Analogien und gestützt auf die Struktur der Organe die physiologische Bedeutung derselben zu entziffern gesucht, **Mariotte** durch seine Combination physikalischer und chemischer Thatfachen die Abhängigkeit der Pflanze von ihrer Umgebung in ihren Grundzügen erkannt; so wußte **Hales** dagegen die Pflanzen gewissermaßen selbst reden zu lassen; durch klug ausgedachte, geschickt angestellte Experimente zwang er sie, die in ihnen thätigen Kräfte durch augenfällige Wirkungen zu verrathen, und so zu zeigen, daß in den ruhigen, anscheinend ganz passiven und unthätigen Vegetationsorganen bewegende

¹⁾ **Stephan Hales** wurde 1677 in der Grafschaft Kent geboren, wo er den ersten Unterricht im Vaterhaus erhielt ohne dabei besondere Begabung zu zeigen; mit 19 Jahren trat er in Cambridge als Pensionär des Christcollege ein, wo sich seine Vorliebe für Physik, Mathematik, Chemie und Naturgeschichte entwickelte; trotzdem blieb er bei der Theologie, in der er sich sogar auszeichnete und schon als junger Mann erhielt er eine kirchliche Anstellung; nach und nach war er Pfarrer in verschiedenen Grafschaften. Die Royal society nahm ihn 1718 auf, dort las er zuerst die *statical essays*. 1733 kam auch seine *Hämostatik* heraus. Nachdem er noch Untersuchungen und Erfindungen der verschiedensten Art gemacht und publicirt hatte, starb er 1761; er wurde in der Kirche zu Riddington, die er auf eigene Kosten neu hatte erbauen lassen, beigesetzt; die Prinzessin von Wales ließ ihm in der Westminsterabtei ein Epitaph setzen. (*Eloge in hist. de l'Acad. roy. des sc. 1762*).

Kräfte ganz besonderer Art thätig sind. Ganz durchdrungen von dem Geist des Newton'schen Zeitalters, welcher trotz einer streng teleologischen, ja theologischen Naturauffassung doch alle Lebenserscheinungen mechanisch, durch Anziehung und Abstoßung materieller Theilchen zu erklären suchte, begnügte sich Hales auch nicht damit, die Vegetationserscheinungen überhaupt nur anschaulich zu machen, sondern er ging darauf aus, sie auf die damals bekannten mechanisch-physikalischen Gesetze zurückzuführen. So wurde das von ihm gesammelte Erfahrungsmaterial durch geistvolle Reflexionen belebt, die einzelnen Thatfachen an allgemeinere Betrachtungen geknüpft. Es konnte nicht fehlen, daß ein solches Buch großes Aufsehen machte und selbst für uns ist es noch eine Quelle vielfacher und werthvoller Belehrung im Einzelnen, wenn wir auch immerhin die Gesamtheit der Vegetationserscheinungen in einen anderen Zusammenhang bringen, als Hales.

Den lebhaftesten Anklang fanden seine Untersuchungen über die Transpiration und Wasserbewegung im Holz. Er maß die von den Wurzeln aufgesogenen, von den Blättern ausgehauchten Wassermengen, verglich diese mit dem in der Erde enthaltenen Borrath an Feuchtigkeit, suchte die Geschwindigkeit zu berechnen, mit der das Wasser im Stamm aufsteigt, und diese zu vergleichen mit der Geschwindigkeit seines Eintritts in die Wurzeln und seines Austritts aus den Blättern. — Besonders auffallend und lehrreich waren die Experimente, durch welche er die Größe der Saugkraft des Holzes und der Wurzel, so wie die des Wurzeldruckes der blutenden Weinrebe demonstirte. Die von ihm angestellten Messungen und die Zahlen, die er seinen Berechnungen zu Grunde legte, waren keineswegs so genau, wie später vielfach geglaubt wurde; er selbst aber ging auch vielmehr darauf aus, runde, ungefähre Zahlen zu gewinnen, die unter den gegebenen Umständen durchaus genügende Grundlagen zur Aufstellung gewisser Sätze gewährten, die damals neu waren und eine gewisse Einsicht in den Haushalt der Pflanze ermöglichten und gerade in diesem Verfahren verrieth sich der geniale Experi-

mentator; denn an lebenden Körpern lassen sich nicht, wie an Metallen und Gasen Constanten auffuchen, die man allgemeinen Rechnungsformeln einschalten könnte, und bei deren Aufstellung daher die äußerste Genauigkeit geboten ist; vielmehr handelt es sich bei Messungen an Pflanzen immer um individuelle Einzelfälle, aus denen durch richtige Deutung die allgemeinen Gesetze der Vegetation zu gewinnen sind.

Um zu zeigen, daß die in der Pflanze thätigen Saug- und Druckkräfte nicht *sui generis* sind, sondern auch von lebloser Materie geltend gemacht werden, daß hier ein Fall der allgemeinen Anziehung der Materie vorliege, worauf man damals besonders achtete, ließ Hales Wasser auch von feinporigen Körpern aufsaugen, und maß er die Kraft, womit dieß geschieht. Diese Vorgänge aber verglich er mit der Kraft, welche quellende Erbsen auf Widerstände ausüben und so gewann er ein richtigeres Bild der bei der Wasserbewegung in der Pflanze thätigen Kräfte, als die Capillarität von Glasröhren gewährte, die Mariotte und Ray zur Veranschaulichung derselben benutzten.

Indem Hales den Werth von Malpighi's Betrachtungen über die Bedeutung der Blätter unterschätzte, und sich durch die Ausgiebigkeit der Wasserverdunstung verführen ließ, dieser eine zu große physiologische Wichtigkeit beizumessen, sah er in den Blättern wesentlich nur Transpirationsorgane, die wie Saugpumpen den Saft aus den Wurzeln durch den Stamm emporziehen. Dem entsprechend läugnete er auch die Existenz eines in der Rinde absteigenden Saftes und nur insofern ließ er eine rückläufige Bewegung zu, als Nachts in Folge der Abkühlung der aufsteigende Saft des Holzes sinken könne, wie das Quecksilber in einem Thermometer. Das war der schwache Punct bei Hales.

Eine seiner bedeutendsten Leistungen ist auch in neuerer Zeit überall übersehen worden; wohl deshalb, weil sie von seinen Nachfolgern im 18. Jahrhundert gänzlich vernachlässigt wurde; es ist der von ihm zuerst bewiesene Satz, daß zum Aufbau des Pflanzenkörpers, zur Bildung seiner festen Sub-

stanz, die Luft mitwirkt, daß gasförmige Bestandtheile in großer Masse zur Ernährung der Pflanzen beitragen; daß also weder das Wasser, noch die von ihm aus der Erde mitgenommenen Bestandtheile allein das Material zum Aufbau der Pflanze liefern, wie man bis dahin allgemein annahm. Er zeigte zunächst, besser als Niewentyt und Wolff, mit Hilfe der Luftpumpe, daß die Luft nicht nur durch die Blätter, sondern auch durch die Oeffnungen der Rinde in die Pflanzen eintreten und sich in den Hohlräumen des Holzes bewegen kann. Dieß brachte er nun in Verbindung mit der von ihm durch zahlreiche Versuche festgestellten Thatsache, daß aus Pflanzensubstanz durch Gährung und trockene Destillation große Quantitäten von „Luft“ gewonnen werden; diese durch Gährung und Hitze frei werdende Luft mußte seiner Ansicht nach während der Vegetationszeit der Pflanze condensirt, in einen festen Zustand übergeführt worden sein. Wir finden sagt er (im 7. Cap.) durch die chemische Analyse (trockene Destillation) der Vegetabilien, daß ihre Substanz aus Schwefel, flüchtigem Salz, Wasser und Erde zusammengesetzt ist; diese Principien sind sämmtlich mit gegenseitiger Anziehungskraft (ihrer Theile) begabt. In die Zusammensetzung der Pflanze tritt aber auch Luft ein, welche im festen Zustand mächtig anziehend, im elastischen jedoch mit größter Kraft abstoßend wirkt. Durch unendlich verschiedene Combinationen, Actionen und Reactionen dieser Principien nun werden alle Thätigkeiten in thierischen und pflanzlichen Körpern bewirkt. Bei der Ernährung ist die Summe der anziehenden Kräfte größer, als die der abstoßenden, wodurch zunächst schleimige (*viscid ductile*), endlich aber, indem das Wasser verdunstet, harte Theile erzeugt werden. Wenn diese jedoch wieder Wasser einsaugen, und dadurch die abstoßenden Kräfte das Uebergewicht gewinnen, dann wird der Zusammenhalt der vegetabilischen Theile aufgehoben, so daß sie durch diese Fäulniß wieder befähigt werden, neue vegetabilische Producte zu erzeugen; daher kann das Capital von Nahrungstoff in der Natur niemals erschöpft werden; diese nämlich ist dieselbe bei

Thieren und Pflanzen und geeignet, durch eine kleine Veränderung der Textur die Einen oder die Anderen zu ernähren.

Aus seinen Experimenten folge, fährt er fort, daß die Blätter bei der Ernährung der Pflanzen sehr nützlich sind, insofern sie Nahrung aus der Erde heraufziehen, sie scheinen jedoch noch zu anderen edlen und wichtigen Diensten geeignet; sie lassen das überflüssige Wasser abdunsten und halten dessen nahrhafte Theile zurück, indem sie auch ihrerseits Salz, Salpeter u. s. w. auch Thau und Regen auffaugen; und indem er, wie Newton, das Licht für einen Stoff hält, schließt er weiter: mag nicht das Licht ebenfalls, indem es in die Flächen der Blätter und Blüthen eindringt, viel zur Bereidung der Stoffe in der Pflanze beitragen?

Aus diesen Aeußerungen könnte man schließen, daß Hales nur den in der Luft suspendirten Stoffen eine Bedeutung für die Ernährung eingeräumt habe; dem ist jedoch nicht so; denn im 6. Capitel heißt es, er habe durch seine Experimente bewiesen, daß eine Menge wahrer, permanent elastischer Luft durch die Gährung und Dissolution (trockene Destillation) aus pflanzlichen und thierischen Körpern erzeugt wird; der Substanz derselben sei die Luft zu einem großen Theil unmittelbar und fest incorporirt und es folge daraus, daß bei der Bildung dieser Körper eine große Quantität von elastischer Luft beständig verbraucht werden muß.

Hales sieht in der Luft aber nicht bloß eine ernährende Substanz, sondern in ihrer Elasticität, welche der Attraktion der anderen Stoffe entgegenwirkt, auch die Kraftquelle, durch welche die inneren Bewegungen unterhalten werden. Wenn alle materiellen Theile, sagt er, nur mit Attraktionskraft begabt wären, so würde die ganze Natur sofort zu einem unthätigen Klumpen sich zusammenziehen; daher war es absolut nöthig, um diese ungeheure Masse attraktiver Materie in Bewegung zu setzen, und zu beleben, daß mit ihr ein hinreichendes Quantum stark abstoßender, elastischer Materie gemengt sei; und da diese elastischen Partikeln beständig in großer Menge durch die Attraktion der

anderen in einen festen Zustand versetzt werden, so mußten sie mit der Eigenschaft begabt sein, ihren elastischen Zustand wieder anzunehmen, wenn sie von der attraktiven Masse befreit werden. So bestehe ein beständiger Kreislauf von Bildung und Auflösung animalischer und vegetabilischer Körper. Die Luft sei nun sehr wichtig bei der Erzeugung und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen in zweifacher Weise; sie gebe ihren Säften Kraft (by invigorating), so lange sie sich im elastischen Zustand befinde, sie trage aber auch viel zur festen Vereinigung der constituirenden Theile bei, wenn sie fixirt worden ist.

Man sieht, wie gut Hales mit dem geringen Capital physikalischer und chemischer Begriffe seiner Zeit Haus zu halten wußte und es verstand, sich damit auf einen hohen Standpunct zu stellen, der ihn die Vegetationserscheinungen in ihren wichtigsten Beziehungen zur übrigen Natur, in ihrem inneren Verlauf und Zusammenhang verstehen ließ. Seine Nachfolger aber verstanden die principielle Bedeutung dieser Betrachtungen nicht und ließen den so fruchtbaren Gedanken, daß ein sehr großer Theil der Pflanzensubstanz aus der Luft und nicht aus Wasser und Erde stammt, unbenuzt liegen, um sich immer wieder darüber zu verwundern, daß doch nur so wenig von der Erde an die Pflanze abgegeben wird, wie schon van Helmont gezeigt hatte, ohne daß man aber mit diesem eine Verwandlung des Wassers in Pflanzensubstanz offen annahm. — Indem man so das Princip verlor, welches schon lange vor Ingen-Houß die wichtigste Beziehung der Pflanze zur Außenwelt, ihre Ernährung durch Bestandtheile der Atmosphäre, genügend erklären konnte und es verabsäumte diesen Gedanken experimentell weiter zu verfolgen, citirte und wiederholte man immer wieder die einzelnen Versuche und Beobachtungen des Hales, ohne das Band zu beachten, welches bei ihm diese einzelnen Wahrnehmungen verknüpfte.

Mit Hales schließt die Reihe der hervorragenden Naturforscher, welche die Pflanzenphysiologie zuerst begründeten. So fremd uns auch Manches bei ihnen anmuthet, sie waren es doch,

welche zuerst einen tieferen Blick in das innere Getriebe des Pflanzenlebens thaten und uns nicht nur vereinzelte Thatsachen desselben, sondern auch ihre wichtigsten Beziehungen überlieferten. Vergleicht man, was vor Malpighi bekannt war mit dem, was die statical essays des Hales enthalten, so staunt man über den raschen in kaum 60 Jahren gemachten Fortschritt, nachdem von Aristoteles bis auf Malpighi fast nichts geleistet worden war.

3.

Unfruchtbare Bemühungen um die Saftbewegung der Pflanzen.

1730—1780.

Hätten diejenigen, die sich nach Hales und vor Jengouss mit der Ernährung und vorwiegend der Saftbewegung der Pflanzen beschäftigten, Malpighi's Ansicht, daß in den Blättern die Nährstoffe zum Wachsthum vorbereitet werden, festgehalten und sie mit Hales Gedanken, daß die Pflanzen einen großen Theil ihrer Substanz aus der Luft entnehmen, in Verbindung gebracht, so hätten sie für die Untersuchung der Saftbewegung ein leitendes Princip gehabt, und durch Experimente an der lebenden Pflanze diesen Ideen selbst einen bestimmteren Ausdruck geben können, auch ohne, daß die Chemie und Physik einstweilen noch neue Anhaltspuncte darboten. Wie bereits erwähnt, geschah dieß jedoch nicht; man hielt sich an das Handgreifliche der Vegetationserscheinungen und glaubte so einen sicheren Boden zu haben, auf dem man jedoch über die gewöhnlichste, gedankenlose Empirie nicht hinauskam, da es der Beobachtung an einem Ziel, dem Urtheil an einem Princip fehlte. Man gerieth, wie immer in solchen Fällen, wo nicht eine wohl-durchdachte Hypothese die Beobachtung leitet, auf Abwege, die gerade in diesem Falle zu großer Unklarheit führten, weil man einen der wichtigsten Factoren zum Verständniß der Saftbewegung nicht hinreichend kannte: die feinere Struktur der Pflanzen, deren Kenntniß seit Malpighi und Grew nicht mehr weiter gefördert

worden war. Da die Meisten phytotomische Untersuchungen selbst gar nicht machten, so verstanden sie auch das von jenen Gesagte nur theilweise, man behalf sich mit verschwommenen und oft ganz unrichtigen Vorstellungen vom inneren Bau des Holzes und der Rinde und glaubte doch, mit solchen eine Einsicht in die Saftbewegung gewinnen zu können. Bei der Lectüre von Malpighi's, Grew's, Mariotte's und Hales', ja selbst bei der von Wolff's Schriften erfreut man sich, trotz zahlreicher Fehler im Einzelnen doch an dem logischen Zusammenhang und dem Scharfsinn, womit sie das Wichtige vom Unbedeutenden zu sondern wußten, wogegen uns die hier zu nennenden Beobachter höchstens durch vereinzelte Angaben entschädigen und wir keineswegs die Genugthuung empfinden, in ihnen mit Männern von hervorragendem Verstand zu verkehren.

Die ganz unbedeutenden Schriften von Friedrich Walther (1740), Anton Wilhelm Plaz (1751) und von Rudolph Böhmer (1753) können wir hier als bloße unfruchtbare Stielübungen völlig übergehen. Einige Aufmerksamkeit aber können wir denen von De la Baisse und Reichel schenken, da diese wenigstens bemüht waren, etwas Neues zu Tage zu fördern. Aber freilich war gerade die von ihnen benutzte Methode, farbige Flüssigkeiten von lebenden Pflanzen aufsaugen zu lassen, geeignet, damals und noch lange nachher grobe Irrthümer herbeizuführen. Nachdem schon Magnol 1709 derartige Versuche erwähnt hatte, war es zuerst der Jesuitenpater Sarrabat, genannt De la Baisse, der sich in seiner von der Akademie zu Bordeaux preisgekrönten Dissertation: Sur la circulation de la sève des plantes 1733 mit derartigen Experimenten befaßte.¹⁾ Er setzte die Wurzeln verschiedener Pflanzen in den rothen Saft der Phytolacca-Früchte und fand zwei bis drei Tage später die gesammte Wurzelrinde, ganz besonders aber die Endigungen der Wurzel-

¹⁾ Der Inhalt dieser Schrift ist mir jedoch nur aus Sprengel's Geschichte der Bot. I 229 und aus Reichel's und Bonnet's weiter unten genannten Schriften bekannt.

fasern innerlich roth gefärbt. Damals war der Schluß ganz selbstverständlich, daß gerade diese Theile es seien, welche die Nährstoffe ebenso wie hier den rothen Farbstoff besonders kräftig auffangen, und in der That erhielt sich diese Meinung selbst bis auf unsere Tage und auf derartige Ergebnisse hin stellte später sogar Pyrame de Candolle seine noch jetzt in Frankreich geltende Theorie von den Wurzelschwämmchen (*spongioles*) auf. Erst in neuester Zeit ist es nämlich bekannt geworden, daß Wurzelrinde und vor Allem die jüngsten Wurzelendigungen erst dann sich in solchem Falle färben, wenn sie vorher durch den Farbstoff vergiftet und getödtet worden sind; derartige Färbungen also, wie sie seit De la Baisse hundertfältig wiederholt worden sind, beweisen durchaus Nichts in Bezug auf die Thätigkeit der lebenden Wurzel und so war gleich von vornherein durch diese Methode des Experimentirens eine Quelle sehr schädlichen Irrthums in die Pflanzenphysiologie eingeführt und wir werden gleich sehen, daß noch andere Irrthümer aus derselben entsprangen. Weniger verwirrend war indessen ein anderes Resultat welches De la Baisse erhielt; als er nämlich die Schnittflächen abgeschnittener Zweige von Holzpflanzen in die farbige Flüssigkeit stellte, färbte sich der Holzkörper derselben nicht bloß, sondern auch die von ihm ausgehenden Holzbündel der Blätter und Blüthentheile roth, während das saftige Gewebe der Rinde und Blätter farblos blieb. Man konnte also folgern, daß der rothe Saft bloß im Holz fortgeleitet werde und durch eine gewagte Analogie schließen, daß auch die in Wasser gelösten Nahrungsstoffe der Pflanzen sich ähnlich verhalten; auch diese Ansicht ist freilich gegenwärtig nicht mehr stichhaltig und daß der von den Wurzeln zu den Blättern emporsteigende Nahrungsstoff zumal das Wasser nur im Holzkörper und nicht in der Rinde emporsteigt, war aber bereits durch Hales' und andere Versuche hinlänglich bewiesen. Zu neuen Irrthümern führte die kritiklose Behandlung derartiger Experimente später bei Christian Reichel¹⁾,

¹⁾ Georg Christian Reichel geb. 1727 gest. 1771 war Professor in Leipzig.

dessen hier zu erwähnende Dissertation: *De vasis plantarum spiralibus* 1758 sich übrigens durch sorgfältige Literaturangaben und eigene phytotomische Untersuchungen vor ähnlichen Producten jener Zeit vortheilhaft auszeichnet. Die von Malpighi, Nieuwentyd, Wolff, Thümmig, Hales beigebrachten Beweise für den Luftgehalt der Holzgefäße fand Reichel ungenügend. In abgeschnittenen, mit der Schnittfläche in das rothe Dekott des Fernambukholzes eingestellten Zweigen holziger und krautiger Pflanzen fand er ganz richtig, daß die rothe Färbung sich in allen Gefäßbündeln, auch in denen der Blüthen und Früchte verbreitete. Bei der mikroskopischen Beobachtung aber fand er die rothe Flüssigkeit zum Theil auch in den Hohlräumen der Gefäße, woraus er voreilig folgerte, daß dieselben auch im natürlichen Zustand nicht Luft, sondern Saft führen. Seine Beschreibung und Abbildung zeigt jedoch, daß nur einige Gefäße und diese nur zum Theil mit der rothen Flüssigkeit sich gefüllt hatten. Reichel ließ dabei ebenso wie seine zahlreichen Nachbeter die Frage außer Acht, ob denn die Gefäße vor dem Versuch mit Luft oder Flüssigkeit gefüllt waren, ob denn dasselbe Resultat auch dann eintreten würde, wenn Pflanzen mit ganz unverletzten, lebendigen Wurzeln die farbige Flüssigkeit aufnehmen, wenn also keine durchschnittenen Gefäße mit der letzteren in Berührung kommen. Nichts hinderte schon damals, die einfache Ueberlegung zu machen, daß die Gefäße eines durchschnittenen, in Flüssigkeit gestellten Zweiges, gerade dann wie enge Glasröhrchen capillar wirken müssen, wenn sie im natürlichen Zustand mit Luft erfüllt sind, und daß bei dem Versuch die Transpiration der Blätter das Aufsteigen des rothen Saftes in den Hohlräumen der Gefäße begünstigen müsse, wie schon aus anderen und besseren Versuchen von Hales zu schließen war. Allein diese einfache Ueberlegung wurde nicht gemacht, vielmehr das Versuchsergebniß ganz gedankenlos hingenommen, und dem wohlbegründeten Urtheil Malpighi's und Grew's, daß die Gefäße Luft führen, die ganz unbegründete Behauptung entgegengestellt, daß sie im natürlichen Zustand saftleitende Organe seien; so war auf Grund

schlecht interpretirter Versuche eine der wichtigsten Entdeckungen in Frage gestellt und noch hundert Jahre später hat es nicht an Personen gefehlt, welche auf dieselben Versuche, wie Reichel, gestützt, den Gefäßen des Holzes die Führung des aufsteigenden Saftes zumutheten, eine Ansicht, durch welche jedes wirkliche Verständniß der Saftströmung im Holzkörper bei transpirirenden Pflanzen von vornherein unmöglich gemacht wird. Aber auch das andere große Ergebnis Malpighi's, daß nämlich die Blätter die nahrungszubereitenden Organe sind, war schon vor Reichel durch Bonnet geleugnet und durch die ganz falsche Ansicht ersetzt worden, daß sie wesentlich zur Auffaugung von Thau und Regenwasser dienen. Bonnet¹⁾, der sich vorher um die Biologie der Insekten verdient gemacht, namentlich die ungeschlechtliche Fortpflanzung der Blattläuse entdeckt und sich dabei die Augen verdorben hatte, hielt es nun für einen passenden Zeitvertreib sich mit allerlei Experimenten an Pflanzen zu beschäftigen. Unter vielem ganz Unbedeutenden kam dabei auch allerdings Manches zu Tage, was später von urtheilsfähigeren Personen benutzt werden konnte, denn auch das wenige Brauchbare, was Bonnet über die mit dem Wachsthum verbundenen Krümmungen der Pflanzen beobachtete, zeigte von einem auffallenden Mangel an Urtheil. Dasselbe tritt aber auch nicht minder bei denjenigen Beobachtungen hervor, welche Bonnet über die Ernährungsthätigkeit der Blätter anstellte. Es war ein Zeichen der Zeit, daß eine so ganz gedankenlose Zusammenhäufung unverdauter Thatfachen, wie sie 1754 in Bonnet's *récherches sur l'usage des feuilles dans les plantes etc.* enthalten ist, damals all-

¹⁾ Charles Bonnet, geb. 1720 zu Genf, stammte aus einer reichen Familie und widmete sich anfangs der Jurisprudenz, beschäftigte sich aber schon in seiner Jugend mit naturwissenschaftlichen Beobachtungen, namentlich zoologischer Natur. Später wurde er Mitglied des großen Rathes seiner Vaterstadt und in seinen späteren Jahren schrieb er verschiedene Werke philosophisch-naturwissenschaftlichen, psychologischen und zum Theil theologischen Inhalts. Er starb 1793 auf seiner Besitzung Genthod bei Genf (*Biographie universelle und Carus, Gesch. d. Zool. p. 526*).

gemein für eine bedeutende Leistung gehalten werden konnte. Bonnet erzählt, daß ihn Calandrini darauf aufmerksam gemacht habe, daß wohl die Struktur der Unterseite der Blätter den Zweck haben könne „den aus der Erde aufsteigenden Thau“ aufzufangen und in die Pflanze einzuführen. Von dieser sinnreichen Vermuthung, wie es Bonnet nennt, ausgehend, machte er nun allerlei wirklich sinnlose Experimente mit abgeschnittenen Blättern, welche die Frage überhaupt gar nicht entscheiden konnten. Die abgeschnittenen Blätter wurden bald mit der Ober- bald mit der Unterseite auf Wasser gelegt, mit Del oder anderen schädlichen Dingen bestrichen und die Zeit ihres Verderbens beobachtet. Es ist unmöglich, sich schlechter ausgedachte Vegetationsversuche vorzustellen; denn wenn Bonnet Calandrini's „sinnreiche“ Vermuthung prüfen wollte, so mußte er vor Allem die Blätter an der lebenden Pflanze belassen und den Effect beobachten, den die etwaige Auffaugung von Thau auf die Vegetation hervorbringt. Zudem ist zu beachten, daß er unter dem aufsteigenden Thau offenbar Wasserdampf verstand, denn der wirkliche Thau schlägt sich auf der Oberseite der Blätter vorwiegend nieder; was konnte also für seine Frage herauskommen, wenn er abgeschnittene Blätter auf Wasser legte? Sie bewiesen nicht einmal im Entferntesten, daß die Blätter überhaupt den Thau aufsaugen; trotzdem aber zog Bonnet den Schluß, daß die wichtigste Verrichtung der Blätter eben in der Auffaugung des Thaus bestehe, und um dieses Resultat mit den Untersuchungen von Hales über die Transpiration in Einklang zu bringen, stellte er nun die Theorie auf: ¹⁾ „Der Nahrungsstoff, welcher am Tage aus den Wurzeln in den Stamm steigt, wird von den Holzfaseru mit Hilfe der Luftröhren vornehmlich in die untere Seite der Blätter geführt, wo die Oeffnungen zu seinem Austritt (Verdunstung) in größerer Menge vorhanden sind. Bei Hereinbrechen der Nacht, wenn die Wärme nicht mehr auf die Blätter und die in den Luftröhren enthaltene Luft wirkt, kehrt

¹⁾ In der deutschen Uebersetzung von Arnold 1762 p. 35.

der Saft wieder nach den Wurzeln zurück; alsdann fängt die Unterseite der Blätter ihre andere Berrichtung an, der langsam von der Erde aufsteigende Thau stößt auf diese Seite, er verdichtet sich hier und wird von den Härchen und sonstigen Berrichtungen aufgehalten (dies geschieht aber auf der Oberseite in viel höherem Grade). Die hier vorhandenen Röhrchen saugen ihn sogleich ein (was handgreiflich falsch ist, da der Thau bis Sonnenaufgang sich vermehrt) und führen ihn in die Zweige, von wo er in den Stamm übergeht.“ Bonnet legte so großen Werth auf diese wunderliche Theorie, daß er sogar die heliotropischen und geotropischen Krümmungen der Blätter und Stengel die er nicht aus einander zu halten wußte, und die Stellung der Blätter am Stamm nur mit Rücksicht auf seine oder besser Calandrini's Theorie teleologisch glaubte erklären zu können. — Es war um so nöthiger hier auf das ganz Sinnlose in Bonnet's Ansicht von der Bedeutung der Blätter hinzuweisen, weil sie insofern von historischer Bedeutung ist, als sie Jahrzehnte lang trotz der besseren älteren Leistungen geglaubt wurde und wir daraus ersehen, wie sehr die Urtheilskraft in solchen Dingen seit Malpighi abgenommen hatte. Das Lob aber, welches Bonnet von seinen Zeitgenossen gespendet wurde, hat offenbar verursacht, daß auch viel spätere Pflanzenphysiologen, die es besser wissen konnten, ihn für eine Autorität auf dem Gebiet der Ernährungslehre gehalten haben. Wo möglich noch unbedeutender als seine Versuche mit abgeschnittenen Blättern, waren seine „Versuche über das Wachsthum der Pflanzen in einer anderen Materie als der Erde.“ Auch hier war nicht einmal der Gedanke originell, denn erst auf die Nachricht hin, daß man in Berlin Landpflanzen statt in Erde, in zusammengehäuften Moos habe wachsen lassen, machte er selbst zahlreiche derartige Versuche und fand, daß manche Pflanzen auf diese Weise recht kräftig wachsen, blühen und Samen tragen. Für die Ernährungslehre war aber damit durchaus Nichts gewonnen, es war eine kindliche Spielerei ohne tieferen Sinn. Die wenigen Seiten, welche Malpighi über die Ernährung der Pflanzen

schrieb, waren viel mehr werth, als Bonnet's ganzes Buch über den Nutzen der Blätter; jener hatte aus einfachen Ueberlegungen und Analogieschlüssen den wahren Nutzen der Blätter wirklich erkannt, Bonnet aus zahlreichen sinnlosen Experimenten ihnen eine ganz andere Function als die richtige zugeschrieben.

Nicht viel günstiger lautet unser Urtheil über die Ernährungslehre eines um die Pflanzenphysiologie sonst viel verdienten Mannes, auf dessen wirkliche Verdienste wir im letzten Capitel noch zurückkommen werden. Zwar war auch Du Hamel¹⁾, um den es sich hier handelt, kein Naturforscher, der sich mit einem Malpighi, Mariotte oder Hales hätte vergleichen können; jenen Denkern gegenüber war er wesentlich nur Compiler und zwar ein ziemlich kritikloser. Vor Bonnet aber hatte Du Hamel voraus, daß er kein Dilettant war, sondern ein ernster Fachmann, der sich mit der Pflanzenwelt viel beschäftigt hatte und die Ergebnisse seiner physiologischen Studien praktisch zu verwerthen suchte. Seine langjährige Beschäftigung mit der Pflanzenwelt hatte in ihm einen gewissen Instinkt für das Richtige bei der Behandlung der Pflanzen ausgebildet und seine Art, zu beobachten und Experimente anzustellen, giebt Zeugniß davon; viele seiner Experimente und Beobachtungen sind noch jetzt lehrreich; was ihm jedoch fehlte, das war die Combinationsgabe, welche gerade bei pflanzenphysiologischen Untersuchungen aus Beobachtungen und Experimenten erst einen Sinn zu Tage fördern muß, und die Fähigkeit, das principiell Wichtige von Neben dingen zu unterscheiden. Dieser Meinung war auch sein Biograph Du Petit-Thouars.

Die hier genannten Vorzüge und Fehler vereinigen sich

¹⁾ Henry Louis Du Hamel du Monceau geb. 1700 zu Paris, starb 1781. Er war Grundbesitzer im Gatinais und verwerthete seine physikalischen, chemischen, zoologischen und botanischen Studien vorwiegend in einer langen Reihe von Werken, welche der Land- und Forstwirtschaft, dem Seewesen und der Fischerei gewidmet sind. Seit 1728 war er Mitglied der Akademie, nachdem er dieser eine Abhandlung über eine damals herrschende, von einem Pilz bewirkte Krankheit der Safranpflanzungen vorgelegt hatte (Biogr. univers.).

namentlich auch in Du Hamel's berühmtestem Werk: *Physique des arbres*, welches in zwei Bänden 1758 erschien und ein Lehrbuch der gesammten Anatomie und Physiologie der Pflanzen mit zahlreichen Kupfertafeln darstellt. Was er hier über die Ernährung und Saftbewegung der Pflanzen sagt, ist eine weitläufige Compilation, in welcher vorwiegend Malpighi, Mariotte und Gales benutzt werden, ohne daß es dem Verfasser gelingt, grade das theoretisch Wichtige und die umfassenden Gesichtspuncte derselben sich anzueignen. Er versieht in seine Darstellung auch die Resultate seiner eigenen Experimente, die an sich oft lehrreich, doch niemals zur Feststellung einer bestimmten Ansicht über den Zusammenhang der Ernährungsvorgänge benutzt werden. Nur wo es sich um ganz offen daliegende, handgreifliche Dinge handelt, trifft er das Richtige; so setzt er die Holzgefäße wieder in ihr altes Recht ein, folgert er aus Versuchen, wie bereits im 17. Jahrhundert geschehen war, daß in der Rinde ein wachsthumsfähiger Saft sich abwärts bewegt; so auch erkennt er, daß wenn Zwiebeln, Knollen, Wurzeln mit oder ohne Beihilfe aufgenommenen Wassers, Sprosse, selbst Blüthen austreiben, dieß auf Kosten vorhandener Reservestoffe geschieht, eine Wahrnehmung, die er jedoch nicht weiter verwerthet. Das Beste aber verdarb er gründlich: die Blätter waren ihm nur Pumpwerke, welche den Saft aus den Wurzeln emporsaugen; die bessere Ansicht Malpighi's citirt er wie ein Curiosum, auf welches er im Verlauf seiner Untersuchung nicht weiter zurückkommt; dafür aber wird Bonnet's verunglückte Theorie acceptirt, obgleich er selbst zahlreiche Thatsachen anführt, welche für Malpighi's Deutung der Blätter sprechen. Fast noch schlimmer sieht es mit seiner Behandlung der chemischen Ernährungsfragen aus; obgleich er hier die Darlegungen Mariotte's über die Nothwendigkeit einer chemischen Veränderung der Nährstoffe in der Pflanze wiederholt, und selbst Belege dafür beibringt, kann er sich doch von dem Aristotelischen Satz nicht freimachen, daß die Erde wie ein thierischer Magen die Nahrungsstoffe der Pflanzen vorbereitet und daß die Wurzeln diese präparirte Substanz wie Chylusge-

fäße auffaugen (phys. des arb. II. p. 189, 230). Obgleich er ferner aus seinen eigenen Vegetationsversuchen, Landpflanzen ohne Erde und durch gewöhnliches Wasser zu ernähren, den Schluß zieht, daß dieses den Pflanzen nur sehr wenig aufgelöste Theile darbiete, weiß er doch aus Gales' Angaben über die Mitwirkung der Luft bei dem Aufbau der Pflanze, keinen Vortheil zu ziehen und schließt (l. c. p. 204), er habe eben nur beweisen wollen, daß das reinste und einfachste Wasser den Pflanzen ihre Nahrung darbieten könne, was seine Versuche nicht beweisen. — So ist fast Alles was Du Hamel über die Ernährung sagt, ein Gemenge richtiger Wahrnehmungen im Einzelnen mit ganz verfehlten Schlüssen und Reflexionen, die sich immer an das Einzelne anklammern, ohne dem Zusammenhang im Ganzen Rechnung zu tragen. In noch viel höherem Grade treten diese Fehler in dem späteren, fast noch umfangreicheren Werk Mustel's: *Traité théorique et pratique de la végétation* 1781 hervor. Je weiter man sich in der Zeit von den Begründern der Pflanzenphysiologie entfernte, desto umfangreicher wurden die Bücher, desto dünner aber auch der Faden, der die einzelnen Erfahrungen zusammenhielt, bis er endlich ganz zerriß. Es war höchste Zeit, daß der Ernährungslehre wieder neues Licht zugeführt wurde, an der sie, wie eine vergeilte und verwässerte Pflanze, nun wieder erstarren konnte. Dieß geschah durch die Entdeckungen des Ingen-Houß und durch den gewaltigen Aufschwung, den die Chemie seit den siebziger Jahren durch Lavoisier nahm.

4.

Begründung der neueren Ernährungslehre durch Ingen-Houß und Th. de Saussure.

1779 — 1804.

Die beiden Cardinalfactoren der Ernährungslehre der Pflanzen, daß die Blätter die nahrungsbereitenden Organe sind und daß ein großer Theil der Pflanzensubstanz aus der Atmo-

sphäre stammt, waren, wie wir sahen, von Malpighi und Gales zwar constatirt und theoretisch verwerthet worden, es fehlte aber an einem augenfälligen Nachweis dafür, daß die grünen Blätter einen Bestandtheil der Atmosphäre aufnehmen und ihn zu ihrer Ernährung verwerthen. Der Mangel eines solchen directen Nachweises war es offenbar, der die Nachfolger jener ersten Physiologen veranlaßte, die Wichtigkeit dieser deductiv gefundenen Sätze zu übersehen und nun principlos im Dunkeln herum zu tappen.

Die Entdeckungen Priestley's, Ingen-Houß' und Senebier's, die quantitativen Bestimmungen Saussure's lieferten nun in den Jahren von 1774 bis 1804 den Beweis, daß die grünen Pflanzentheile, also namentlich die Blätter, einen Bestandtheil der Luft aufnehmen und zersetzen, dabei gleichzeitig die Bestandtheile des Wassers assimiliren und dem entsprechend an Gewicht zunehmen, daß dieß jedoch nur dann ausgiebig und in normaler Weise geschieht, wenn von den Wurzeln her gleichzeitig kleine Quantitäten mineralischer Stoffe in die Pflanze eingeführt werden. Die Entdeckungen und Thatsachen, aus denen diese Lehre hervorging, waren dieselben, welche den Sturz der Phlogistontheorie herbeiführten und aus welchen Lavoisier die Principien der neueren Chemie ableitete und erst durch Lavoisier's Lehren wurde auch die neue Ernährungstheorie der Pflanzen möglich; es ist daher nöthig, wenigstens einen flüchtigen Blick auf die in den siebziger und achtziger Jahren sich vollziehende Umwälzung in der Chemie zu werfen. Diese knüpfte bekanntlich ¹⁾ zunächst an die Entdeckung des Sauerstoffgases an, welches Priestley 1774 dargestellt hatte. Während dieser selbst hartnäckiger Anhänger des Phlogistons war und blieb, wurde seine Entdeckung für Lavoisier die Grundlage einer ganz neuen Anschauungsweise der chemischen Prozesse. Schon 1776 erkannte er die Zusammensetzung der „fixen Luft“ aus

¹⁾ Vergl. Kopp Gesch. der Chemie 1843 I p. 306 ff. und Kopp Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit 1873 p. 138 ff.

Kohlenstoff und „Lebensluft“, er gewann dieselbe durch Verbrennung von Kohle und Diamant. Ebenso wurden Phosphorsäure, Schwefelsäure und nach einer vorläufigen Entdeckung von Cavendish auch die Salpetersäure als Verbindungen der Lebensluft mit Phosphor, Schwefel und Stickstoff erkannt; 1777 zeigte Lavoisier, daß bei der Verbrennung organischer Substanzen fixe Luft und Wasser erzeugt wird und nachdem er 1781 die quantitative Zusammensetzung der fixen Luft annähernd festgestellt hatte, nannte er dieselbe Kohlensäure, die bisherige Lebensluft Sauerstoff. Nach einer abermaligen vorläufigen Entdeckung von Cavendish (1783), daß nämlich durch Verbrennung von Wasserstoffgas Wasser entstehe, war es wieder Lavoisier, der nun bewies, daß das Wasser eine Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff sei. — Diese Entdeckungen beseitigten nicht nur Schritt für Schritt die Phlogistontheorie und lieferten nicht nur die Principien der neuen Chemie, sondern sie betrafen auch gerade diejenigen Stoffe, welche bei der Pflanzenernährung die wichtigste Rolle spielen; jede dieser chemischen Entdeckungen ließ sich daher sofort auch physiologisch verwerthen. Schon 1779 fand Priestley, daß grüne Pflanzentheile gelegentlich Lebensluft aushauchen und in demselben Jahr beschrieb Ingen-Houß ausführlichere Untersuchungen, aus denen hervorging, daß dieß nur unter dem Einfluß des Lichtes an grünen Pflanzentheilen geschieht, während im Dunklen vielmehr fixe Luft von diesen ausgehaucht wird, was die nicht grünen sowohl im Licht wie im Finstern thun. Eine richtige Deutung dieser Vorgänge war jedoch 1779 noch nicht möglich; denn erst 1785 war Lavoisier selbst soweit vorgebrungen, sich von der Phlogistontheorie ganz frei zu machen und sein antiphlogistisches System im Zusammenhang zu entwickeln. Noch ist hier nachzutragen, was für die Pflanzenphysiologie später ebenfalls wichtig wurde, daß Lavoisier 1777 die Athmung der Thiere als einen Drydationsprozeß erkannte, der wie jede Verbrennung Wärme, die thierische Eigenwärme erzeugt. Doch dauerte es noch sehr lange, bis dieses Causalverhältniß auch für die Pflanzen erkannt wurde.

Mit der Constatirung der Thatsache, daß Pflanzentheile unter Umständen Sauerstoffgas abscheiden, war für die Ernährungstheorie der Pflanzen noch wenig oder nichts gewonnen ¹⁾; mehr aber leistete Priestley für uns nicht. Ingen-Houß dagegen erkannte die Bedingungen der Sauerstoffabscheidung und außerdem, daß alle Pflanzentheile beständig Kohlensäure erzeugen; dieß aber sind die Grundlagen der Ernährung und Athmung der Pflanzen; wir werden also Ingen-Houß als den Begründer der Ernährungs- und Athmungslehre der Pflanzen zu betrachten haben. Da es hierbei um eine Entdeckung von außerordentlicher Tragweite sich handelt, scheint es geboten, etwas näher auf die Einzelheiten einzugehen.

1779 erschien ein Werk Priestley's, welches im folgenden Jahr auch deutsch unter dem Titel: Versuche und Beobachtungen über verschiedene Theile der Naturlehre herauskam und in welchem (p. 257) auch Priestley's Versuche mit Pflanzen beschrieben sind. Die Art, wie er dieselben angestellt hatte, war aber auffallend unzuweckmäßig; auch gab er sie, ohne ein bestimmtes Resultat von physiologischer Bedeutung erzielt zu haben, auf, obgleich er den Gedanken, um den es sich hier handelte klar genug aussprach, indem er sagte: Wenn die von der Pflanze ausgehauchte Luft von besserer Beschaffenheit (sauerstoffreicher) ist, als die atmosphärische, so folge daraus, daß das Phlogiston der Luft in der Pflanze zurückbehalten und zur Ernährung benutzt werde, wodurch der entweichende Theil, feines Phlogistons entledigt, einen hohen Grad von Reinheit gewinnen müsse. Nachdem er seine Versuche mit Pflanzen 1778 aufgegeben hatte, fiel ihm auf, daß in den dabei benutzten Wassergefäßen eine grüne Materie sich abgesetzt hatte, welche eine sehr „reine“ Luft ab-

¹⁾ Noch weniger mit der von Bonnet gemachten Beobachtung, daß Blätter in lufthaltigem Wasser von der Sonne beschienen, Gasblasen an ihrer Oberfläche zeigen; Bonnet negirte ausdrücklich eine active Betheiligung der Blätter an diesem Vorgang, da abgestorbene Blätter in lufthaltigem Wasser ganz dieselbe Erscheinung zeigen.

schied; zahlreiche weitere Beobachtungen lehrten ihn, daß dies nur unter dem Einfluß des Sonnenlichts geschieht; von der vegetabilischen Natur dieser Substanz, welche später als Priestley'sche Materie bezeichnet und aus Algen bestehend erkannt wurde, hatte Priestley selbst indessen keine Ahnung.

In demselben Jahr (1779) erschien auch die erste ausführlichere Arbeit von Ingen-Houß ¹⁾ über denselben Gegenstand *Experiments upon vegetables, discovering their great power of purifying the common air in the sunshine and of injuring it in the shade and at night*, die sogleich in's Deutsche, Holländische und Französische übersetzt wurde. Schon der Titel zeigt, daß der Verfasser mehr und richtiger beobachtet hatte, als Priestley. Der innere Zusammenhang der Thatsachen aber wurde ihm erst später verständlich, nachdem Lavoisier seine neue antiphlogistische Theorie entwickelt hatte. In seiner 1796 erschienenen, 1798 auch deutsch (von Fischer) herausgegebenen, von A. v. Humboldt eingeleiteten Schrift: „Ueber die Ernährung der Pflanzen und Fruchtbarkeit des Bodens“ sagt Ingen-Houß selbst, als er 1779 seine Entdeckungen gemacht habe, sei das neue System der Chemie noch nicht öffentlich vorgetragen, und unbekannt mit dessen Vorzügen, sei er nicht im Stande gewesen, aus den Thatsachen die wahre Theorie abzuleiten; seitdem man jedoch die Analyse des Wassers und der Luft kenne, sei es weit leichter geworden, die Vegetationsercheinungen zu erklären. Um aber seine Priorität festzustellen, hebt er (p. 56) hervor, er sei glücklich genug gewesen, die wahre Ursache zu entdecken, warum Pflanzen die umgebende Luft zu einer Zeit schlechter machen, eine Ursache, welche von Priestley und Scheele auch nicht einmal geahnt wurde. Er habe im Sommer 1779 entdeckt, daß alle Vegetabilien unaufhörlich kohlenfaures Gas ausgeben, daß aber die grünen Blätter und Schöß-

¹⁾ Jan Ingen-Houß war Arzt in Breda, dann in London, Kais. österr. Leibarzt; geb. zu Breda in Holland 1730, gest. zu Boward bei London 1799.

linge allein im Sonnenlicht oder hellen Tageslicht Sauerstoff aushauchen. — Ingen-Houß hatte also nicht nur die Kohlenstoffassimilation und die eigentliche Athmung der Pflanzen entdeckt, sondern er wußte auch beide Erscheinungen nach ihren Bedingungen und in ihrer Bedeutung auseinander zu halten. Dem entsprechend war ihm auch der große Unterschied zwischen der Ernährung keimender und älterer grüner Pflanzen, die Unabhängigkeit jener, die Abhängigkeit dieser vom Licht vollkommen klar und daß er die atmosphärische Kohlenäure als die hauptsächlichste, wenn auch nicht alleinige Quelle des Kohlenstoffes der Pflanzen betrachtete, zeigt seine Widerlegung einer unverständigen Behauptung von Laffenfray, wonach der Kohlenstoff durch die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen werde, der er die Bemerkung entgegenstellte: es sei schwer begreiflich, wie ein großer Baum unter diesen Umständen seine Nahrung Jahrhunderte lang an demselben Ort finden könne. Es lag damals eine gewisse Kühnheit, ein großes Vertrauen auf die einmal gewonnene Ueberszeugung in diesen Aeußerungen von Ingen-Houß, da der Kohlenäuregehalt der Luft noch wenig beobachtet und quantitativ noch nicht sicher gestellt war, die relativ kleinen Quantitäten der atmosphärischen Kohlenäure aber manchen Anderen gewiß davon abgeschreckt hätten, in ihnen das Reservoir der ungeheuren Kohlenstoffmengen zu sehen, welche die Pflanzen in sich anhäufen.

Noch bevor Ingen-Houß in der zuletzt genannten Schrift die Resultate seiner 1779 gemachten Beobachtungen den neuen chemischen Ansichten gemäß deutete, und so die wesentlichen Grundlagen der Ernährungslehre schuf, machte Jean Senebier in Genf ¹⁾ ausgebehnte Untersuchungen über den Einfluß des

¹⁾ Jean Senebier geb. zu Genf 1742, der Sohn eines Kaufmanns, studirte Theologie und war seit 1765 evang. Pastor. Von einer Reise nach Paris zurückgekehrt, schrieb er „moralische Erzählungen“ und auf seines Freundes Bonnet Rath bewarb er sich um die Harlemer Preisfrage: worin die Kunst zu beobachten bestehe? er erhielt das Accessit. Nachdem er seit 1769 Pastor in Chancy gewesen, wurde er Bibliothekar von Genf

Lichts auf die Vegetation (1782—1788), deren Resultate er in seiner umfangreichen fünfbandigen *physiologie végétale* im Jahr 1800 mit ermüdender Weitschweifigkeit zu einer Ernährungstheorie ausarbeitete. Manches immerhin Werthvolle versteckt sich hier in einem Schwall von unbedeutenden Einzelheiten und langwierigen rhetorischen Stielübungen, die meist den Nagel nicht auf den Kopf treffen. Es ist jedoch nicht zu verkennen, daß Senebier mit gründlicheren chemischen Kenntnissen als Ingen-Houß ausgerüstet, Alles zusammentrug, was damals die chemische Literatur an zerstreuten Thatfachen darbot, um ein vollständigeres Bild der Ernährungsvorgänge zu gewinnen; namentlich war es für jene Zeit von Werth, das Princip zu betonen, daß die Ernährungsvorgänge innerhalb der Pflanze nach den allgemeinen Gesetzen der Chemie beurtheilt werden müssen; die organisirten Wesen, sagte Senebier, sind der Schauplatz, wo die Affinitäten der Bestandtheile der Erde, des Wassers, der Luft auf einander einwirken; die Zersetzung aber werden gewöhnlich durch den Einfluß des Lichts eingeleitet, welches den Sauerstoff der Kohlensäure aus den grünen Theilen der Pflanzen entbindet. Unter den von ihm hervorgehobenen Grundsätzen finden wir auch schon (l. c. II. p. 304) den betont, daß die einfachen Bestandtheile in allen Pflanzen dieselben sind, und daß die Unterschiede nur quantitativer Natur seien. Von diesen Gesichtspuncten ausgehend führt er nun der Reihe nach die einfachen und zusammengesetzten Bestandtheile der Pflanzen vor, unter denen, den Anschauungen jener Zeit entsprechend, auch das Licht und die Wärme als körperliche Wesen figuriren. Die alte

1773, wo er nun neben umfangreichen bibliographischen Arbeiten Spallanzani's wichtigere Werke übersezte, chemische Vorträge von Linné hörte und seine Untersuchungen über die Wirkungen des Lichts ausführte. Für die *Encyclopaédie méthodique* schrieb er die *Pflanzenphysiologie* (1791); die Revolution in Genf veranlaßte ihn, in das Waadland sich zurückzuziehen, wo er seine fünfbandige *Physiologie végétale* ausarbeitete; 1799 nach Genf zurückgekehrt, betheiligte er sich an einer neuen Bibelübersetzung; er starb daselbst 1809 (Biogr. univers.).

Frage nach der Bedeutung der Salze in der Pflanze behandelt er sehr ausführlich und für uns ist lehrreich zu sehen, wie er darüber Anskunft zu geben sucht, ob salpetersaure, schwefelsaure Salze und Ammoniak, die man im Saft der Pflanzen finde, von außen in diese eingeführt seien, oder ob sie erst in dieser selbst aus ihren Bestandtheilen entstehen; schließlich hält er jedoch ersteres für wahrscheinlich. Daß der Kohlenstoff der Pflanzen, wenigstens zum allergrößten Theil aus der Atmosphäre abstammt, konnte nach J n g e n - H o u ß kaum noch zweifelhaft sein; S e n e b i e r widmete aber gerade dieser Frage besondere Aufmerksamkeit und ließ es sich angelegen sein, alle hier mitwirkenden Factoren in Rechnung zu ziehen, namentlich suchte er von Neuem zu beweisen, daß der von der Pflanze am Licht entbundene Sauerstoff von eingefogener Kohlensäure herrührt, daß nur die grünen und keine anderen Organe im Stande sind, diese Zersetzung zu bewirken, und daß sich in der Natur hinreichende Quantitäten von Kohlensäure vorfinden, um die Ernährung der Pflanzen zu unterhalten. Obwohl er sich jedoch überzeugte, daß grüne Blätter die sie umgebende gasförmige Kohlensäure zersetzen, nahm er an, daß diese letztere vorwiegend durch die Wurzeln mit dem aufsteigenden Saft den Blättern zugeführt werde, eine Ansicht, die bei späteren Schriftstellern vielfach zu weiteren Irrthümern Anlaß gegeben hat.

Es war nicht nur die ermüdende Weitschweifigkeit, welche Senebier's Werk zu keiner rechten Anerkennung und Wirkung kommen ließ, vielmehr trat dem das Erscheinen eines Werkes entgegen, welches durch seine glänzenden Vorzüge, durch die enorme Wichtigkeit seines Inhalts, die knappe Sprache und Durchsichtigkeit des Gedankengangs Senebier's verwässerte Stilübungen tief in den Schatten stellte. Dieses Werk war **Théodore de Saussure's** recherches chimiques sur la végétation 1804. Das Neue an diesem Werk¹⁾ waren nicht bloß

¹⁾ Nicolas Théodore de Saussure geb. zu Genf 1767, gest. daselbst 1845; er war der Sohn des berühmten Alpenforschers, dem er bei

die neuen Untersuchungen und Resultate, sondern noch viel mehr die neue Methode, die Ernährungsfragen vorwiegend quantitativ zu behandeln; dem entsprechend war natürlich schon die Fragestellung eine bestimmtere und da seine Vegetationsversuche mit souveräner Meisterschaft durchgeführt waren, so wurden die bestimmt gestellten Fragen auch bestimmt beantwortet. Saussure wußte seine Versuche so einzuleiten, daß das Resultat nothwendig deutlich werden mußte; er hatte nicht nöthig, dasselbe aus kleinlichen, sogenannten Genauigkeiten, durch welche ungeschickte Experimentatoren ihre Unsicherheit vertuschen, mühsam herauszurechnen. Diese Geradheit und kurz angebundene Art, mit durchschlagender Sicherheit quantitative Resultate zu Tage zu fördern, die Consequenz und durchsichtige Klarheit des Gedankenganges sind es vorwiegend, die uns bei der Lectüre dieses Werkes, sowie auch bei Saussure's späteren Schriften, ein Gefühl von Vertrauen und Sicherheit einflößen, wie kaum ein anderes Werk seit Hales bis auf die neueste Zeit. Mit den *statical essays* von Hales haben die *recherches chimiques* auch das gemein, daß die thatsächlichen Angaben darin noch später hundertfältig von Anderen theoretisch ausgebeutet worden sind, während man gerade so wie bei Hales vielfach den theoretischen Zusammenhang derselben verlor, wie wir zur Genüge im folgenden Abschnitt sehen werden. Es ist nicht Jedermann's Sache ein Werk wie dieses zu lesen und zu verstehen; denn es ist keine didaktisch zusammenhängende Darstellung der Ernährungstheorie, sondern eine Reihe von Versuchsergebnissen, welche

seinen Beobachtungen auf dem Mont-Blanc und Col du Géant half. Schon 1797 schrieb er eine Abhandlung über die Bedeutung der Kohlensäure für die Vegetation, als Vorläufer seiner *recherches chimiques*, die großes Aufsehen machten und ihm die Ernennung zum corresp. Mitglied des franz. Instituts eintrugen. Er hatte Geschmack für Literatur und nahm an öffentlichen Angelegenheiten Theil, er war wiederholt Mitglied des Rathes von Genf. Seine Vorliebe für die Einsamkeit soll ihn vom Lehramt fern gehalten haben. (Vergl. *Biogr. universelle, Supplement* und Poggendorff's *biographisch litter. Handwörterbuch*.)

sich um die fundamentalen Fragen der Pflanzenernährung gruppieren, wobei der theoretische Zusammenhang nur in kurzen Einleitungen und Recapitulationen fortgesponnen wird, während es dem Leser überlassen bleibt, durch sorgfältiges Studium aller Einzelheiten sich die Ueberzeugung selbst zu erwerben. Es war eben kein didaktisches, sondern ein grundlegendes Werk, welches vor Allem nicht lehren, sondern Thatsachen feststellen wollte. Die Darstellung hat daher auch, wie in solchem Falle selbstverständlich, nichts Geniales oder Schwunghaftes, eher tritt uns ein allzu ängstliches Festhalten an dem empirisch Gegebenen entgegen und es ist kein Zweifel, daß manche spätere Verirrungen der Ernährungsliteratur vermieden worden wären, wenn Saussure nach der inductiven Begründung seiner Lehren auch eine didaktisch deduktive Darstellung derselben gegeben hätte.

Die von Saussure untersuchten Vegetationsvorgänge waren im Wesentlichen dieselben, welche schon Ingen-Houß und Senebier ausführlich behandelt und in ihren allgemeinsten Umrissen richtig erkannt hatten. Das wesentlich Neue bei Saussure aber ist eben, daß es nicht bei den allgemeinen Umrissen der Erscheinungen bleibt, daß er vielmehr durch quantitative Bestimmungen eine Bilanz herstellt zwischen dem, was die Pflanze aufnimmt, was sie abgibt und dabei selbst erwirbt. Auf diesem Wege machte er vor Allem die großen Entdeckungen, daß mit dem Kohlenstoff zugleich die Bestandtheile des Wassers in der Pflanze gebunden werden und daß ohne die Aufnahme von Stickstoffverbindungen und Mineralbestandtheilen eine normale Ernährung der Pflanzen nicht stattfindet. Es ist jedoch nöthig, um Saussure's Verdienst würdigen zu können, seinen Leistungen mehr in's Einzelne zu folgen.

Betrachten wir zunächst, was er über die Kohlenstoffassimilation der Pflanzen feststellte; da ist das wichtige Resultat, daß größere Quantitäten von Kohlenensäure in der die Pflanze umgebenden Atmosphäre nur dann die Vegetation begünstigen, wenn die Pflanzen im Stande sind, jene zu zerlegen, wenn sie also von hinreichend intensivem Licht getroffen werden; daß da-

gegen jede Vermehrung des Kohlen säuregehaltes der Luft im Schatten oder im Finstern die Vegetation beeinträchtigt, und daß eine Steigerung des Kohlen säuregehaltes der Luft über 8% überhaupt schädlich einwirkt. Auf der anderen Seite aber fand er, daß die Zersetzung der Kohlen säure durch die grünen Theile im Licht eine nothwendige Beschäftigung derselben ist, daß die Pflanzen absterben, wenn sie daran verhindert werden. Den ersten tieferen Einblick in die innerhalb der Pflanze selbst bei der Kohlen säurezersehung stattfindenden chemischen Vorgänge gewährte die Wahrnehmung, daß die Pflanzen, indem sie ein bestimmtes Kohlenstoffquantum sich aneignen, ihre Trockensubstanz um ein beträchtlich größeres Quantum vermehren und daß dies nur von einer gleichzeitigen Bindung der Bestandtheile des Wassers herrührt, eine Thatsache, die allerdings erst später, als die Theorie der Kohlenstoffverbindungen, die organische Chemie, begründet war, in ihrer wahren Bedeutung aufgefaßt werden konnte. Was endlich die Bedeutung der Kohlen säurezersehung durch die grünen Organe im Licht für die gesammte Ernährung der Pflanzen betrifft, so kam Saussure durch viel bestimmtere Beweise als Ingen-Houß zu dem Resultat, daß nur ein kleiner Theil der Pflanzensubstanz aus den vom Wasser aufgelösten Bestandtheilen der Erde abstammt, daß die Hauptmasse des vegetabilischen Körpers aus der atmosphärischen Kohlen säure und den Bestandtheilen des Wassers sich aufbaut; diese Ueberzeugung gewann Saussure zum Theil durch die Vergleichung der geringen Quantitäten, welche das Wasser überhaupt aus einem Vegetationsboden aufzulösen im Stande ist, zum Theil durch Vegetationsversuche und Betrachtungen allgemeinerer Natur.

Nicht minder wichtig waren Saussure's Untersuchungen über die Sauerstoffathmung der Pflanzen, welche als Thatsache genommen allerdings schon Ingen-Houß entdeckt hatte. Saussure aber zeigte, daß ohne diesen Athmungsprozeß kein Wachs thum möglich ist, auch nicht bei Keimpflanzen, obgleich diese reich an assimilirten Stoffen sind. Er zeigte ferner, daß grüne Blätter und sich entfaltende Blüthen, überhaupt solche Pflanzentheile,

welche sich durch eine regere Lebensthätigkeit auszeichnen, auch mehr Sauerstoff zur Athmung verbrauchen, als minder thätige und ruhende. Er bestimmte den Gewichtsverlust, welchen die organische Substanz der Keimpflanzen durch die Athmung erleidet und fand auch diesen größer, als dem Gewicht des ausgeathmeten Kohlenstoffs entspricht; bei dem damaligen Zustand der Chemie mußte er jedoch im Zweifel bleiben, wie dieß zu verstehen sei. Fügen wir endlich noch hinzu, daß Saussure später (1822) die wichtigsten Beziehungen zwischen der Selbsterwärmung der Blüthen und dem Sauerstoffverbrauch derselben constatirte, so bleibt kein Zweifel, daß er die wichtigsten Elemente der neueren Athmungstheorie der Pflanzen geliefert hat, obgleich er dieselbe niemals in ihrem Zusammenhang aussprach.

Vor Ingen-Houß war trotz Hales' uns bekannten Ansichten die allgemeine Meinung offenbar die, daß die Pflanzen die überwiegende Quantität ihrer Nahrung den Bestandtheilen der Erde und dem Wasser verdanken. Seit man jedoch wußte, daß der Hauptbestandtheil der Pflanzensubstanz, der Kohlenstoff aus der Atmosphäre stammt und man beachtete, daß die bei Weitem überwiegende Quantität der vegetabilischen Stoffe verbrennlich ist, konnte es zweifelhaft erscheinen, ob denn die unverbrennlichen Aschenbestandtheile für die Ernährung der Pflanzen überhaupt von Bedeutung sind. Dieser ziemlich verbreiteten Ansicht trat nun Saussure entschieden entgegen; er betonte, daß vor Allem diejenigen Aschenbestandtheile, welche sich ausnahmslos in jeder Pflanze vorfinden, nicht wohl als zufällige Beimengungen zu betrachten seien, daß ebenso die geringe Menge derselben kein Beweis für ihre Entbehrlichkeit sei und durch eine große Zahl von Aschenanalysen, die lange Zeit unübertroffen dastanden, zeigte er, daß zwischen dem Vorhandensein gewisser Aschenbestandtheile und den Entwicklungszuständen der Pflanzenorgane gewisse allgemeine Beziehungen stattfinden, so z. B. fand er junge entwicklungsfähige Pflanzentheile reich an Alkalien und Phosphorsäure, ältere und unthätige vorwiegend reich an Kalk und Kieselsäure. Noch wichtiger aber waren Vegetationsversuche

durch welche er zeigte, daß Pflanzen, deren Wurzeln nicht in Erde, sondern in destillirtem Wasser wachsen, nur soviel an Aschenbestandtheilen zunehmen, als dem in das Wasser fallenden Staub entspricht. Viel wichtiger für die Hauptfrage aber war das andere Ergebniß, daß in einem solchen Fall auch die Zunahme der organischen, verbrennlichen Substanz der Pflanze eine nur höchst unbedeutende ist und daß eine normale Vegetation ohne die Aufnahme von genügenden Aschenbestandtheilen überhaupt nicht stattfindet. Leider hat es Saussure versäumt, diese Ergebnisse mit dem nöthigen Nachdruck und mit dem Hinweis auf ihre principielle Wichtigkeit hervorzuheben, so daß noch bis in die dreißiger Jahre hinein Zweifel an der Nothwendigkeit der Aschenbestandtheile für die Vegetation erhoben wurden.

Daß ein Theil der lebendigen Pflanzensubstanz stickstoffhaltig sei, war damals zwar bekannt, fraglich jedoch, wie die Pflanzen den Stickstoff aufnehmen. Da man wußte, daß die Atmosphäre zu $\frac{4}{5}$ aus diesem Gas besteht, so lag die Annahme sehr nahe, daß die Pflanze eben dieses zur Bildung stickstoffhaltiger Substanz benutze. Saussure suchte diese Frage auf volumetrischem Weg zu entscheiden, der, wie sich später zeigte, in diesem Falle allerdings nicht genügt. Trotzdem traf er das Richtige, daß nämlich das atmosphärische Stickstoffgas von den Pflanzen nicht assimilirt wird. Der Stickstoff mußte also in Form irgend einer chemischen Verbindung und zwar von den Wurzeln aufgenommen werden. Saussure unterließ es jedoch, diese Frage durch Vegetationsversuche zu entscheiden und begnügte sich mit der Vermuthung, daß die vegetabilischen und animalischen Extracte des Bodens, sowie die ammoniakalischen Dünste von den Pflanzen als Stickstoffquelle benutzt werden. Erst ein halbes Jahrhundert später wurde diese von Saussure allerdings ventilirte Frage, nachdem sie zu langwierigen Streitigkeiten Anlaß gegeben, durch Vegetationsversuche von Boussingault entschieden.

Im Zusammenhang mit seiner Untersuchung über die Bedeutung der Aschenbestandtheile legte sich Saussure auch die Frage vor, ob die Wurzeln die ihnen dargebotenen Lösungen

von Salzen oder anderen Substanzen unverändert aufnehmen. Er fand zunächst, daß allerdings die verschiedensten, auch giftigen Stoffe aufgesogen werden, daß also ein Wahlvermögen in dem Sinne, wie es Jungius einst vermuthet hatte, allerdings nicht besteht; dagegen ergab sich aber auch, daß die Lösungen doch nicht unverändert in die Wurzel eintreten, daß vielmehr bei seinen Versuchen jederzeit mehr Wasser als Salz, als der Zusammensetzung der Lösung entsprach, aufgenommen wurde, und daß bei sonst gleichen Verhältnissen einige Salze in größerer, andere in geringerer Quantität in die Pflanze übergehen. Damals und noch lange nachher war es jedoch nicht möglich, diese Thatsachen zu verstehen und richtig zu deuten; noch fehlte die Theorie der Diffusionen und noch mußten fünf bis sechs Decennien vergehen, bis es gelang, in diese von *Saussure* angeregten Fragen Licht zu bringen.

Das hier Mitgetheilte dürfte die wichtigsten Ergebnisse von *Saussure*'s 1804 erschienenem Werke wiedergeben. Was er später noch in einigen wichtigen Fragen der Pflanzenphysiologie leistete, wird weiterhin erwähnt werden. Vergleicht man aber den Inhalt der *recherches chimiques* mit dem, was vor 1780 über die chemische Seite der Pflanzenernährung bekannt war, so erregt der ungeheure Fortschritt in diesen 24 Jahren die lebhafteste Bewunderung. Die letzten Decennien des 18. Jahrhunderts hatten sich für die Theorie der Pflanzenernährung womöglich noch fruchtbarer erwiesen, als die letzten Decennien des 17. Jahrhunderts; beide Perioden haben überhaupt für den Fortschritt der gesammten Pflanzenkunde nach allen Richtungen hin die außerordentliche Fruchtbarkeit in der Entwicklung neuer Gesichtspuncte gemein. Aber auch darin sind beide Perioden einander ähnlich, daß auf jede derselben eine längere Zeit der Ermattung folgte; wie sich die Zeit von *Gales* bis auf *Jung-Houß* höchst unfruchtbar erwies, so auch die nächsten dreißig Jahre nach *Saussure*'s grundlegendem Werk, obgleich hinzugesetzt werden muß, daß in dieser Zeit wenigstens in Frankreich manches Gute geleistet wurde, während in Deutschland die neue

Ernährungstheorie der Pflanzen gerade von Seiten der Hauptvertreter der Botanik den größten Mißverständnissen erlag, wie im folgenden Abschnitt noch gezeigt werden soll. Es darf aber nicht verschwiegen werden, daß eines dieser Mißverständnisse, welches sich sogar bis in die sechziger Jahre hinein erhalten hat, von Saussure selbst veranlaßt worden ist. Er hatte beobachtet, daß die rothen Blätter einer Varietät der Gartenmelde ebensoviel Sauerstoff aus Kohlenäure entbinden, wie die grünen Blätter der gewöhnlichen Art. Sehr voreilig in diesem Fall zog er aus dieser vereinzeltten Wahrnehmung den Schluß, die grüne Farbe sei kein wesentlicher Charakter derjenigen Theile, welche Kohlenäure zerlegen; obgleich er nur nöthig gehabt hätte, die Oberhaut jener rothen Blätter abzuziehen, um sich zu überzeugen, daß das innere Gewebe derselben, ebenso intensiv grün gefärbt ist, wie bei gewöhnlichen grünen Blättern. Der sonst so äußerst sorgfältige Beobachter, war hier nachlässig und spätere Schriftsteller verfehlten nicht, wie es gewöhnlich geschieht, sich gerade an diesen einen schwachen Punct zu hängen und eine der wichtigsten Thatsachen der Pflanzenphysiologie, daß nämlich nur die Chlorophyllhaltigen Zellen Sauerstoff abgeben, immer wieder in Frage zu ziehen.

5.

Lebenskraft. — Atmung und Eigenwärme; Endosmose.

1804 — 1840.

In den fünfzehn bis zwanzig Jahren nach dem Erscheinen von Saussure's chemischen Untersuchungen wurde die Theorie der Pflanzenernährung kaum in irgend einer Richtung gefördert und was noch schlimmer war, es wurde das bereits Geleistete nicht einmal verstanden. Verschiedene Umstände wirkten zusammen, Mißverständnisse gerade auf dem Gebiet der Ernährungslehre herbeizuführen: vor Allem die in jener Zeit stärker als früher hervortretende Neigung, den Organismen eine besondere Lebenskraft zuzuschreiben, die man mit den mannigfaltigsten Kunst-

fertigkeiten ausstattete, sogar mit der Fähigkeit, Elementarstoffe, Wärme und Anderes aus Nichts zu erzeugen; wo irgend ein Vorgang in den Organismen der physikalisch-chemischen Erklärung Schwierigkeiten darbot, da überließ man es einfach der Lebenskraft, die fraglichen Erscheinungen in unerklärlicher Weise zu Stande zu bringen. Es handelte sich dabei nicht um die später von tieferen Denkern behandelte Frage, ob überhaupt außer den allgemeinen, die unorganische Natur beherrschenden Kräften, noch irgend ein besonderes Agens in den Organismen thätig sei. Denn gerade eine sorgfältige Untersuchung dieser Frage hätte zu den ernsthaftesten Versuchen, die Lebenserscheinungen ohne Rest physikalisch oder chemisch zu erklären, hinführen müssen; statt dessen aber machte man es sich bequem, und ließ die als erwiesen angenommene Lebenskraft die allerverschiedensten Dinge vollbringen, wobei man sich der Mühe, die Art, wie dieß bewirkt werde, zu erklären, überhob; die Annahme der Lebenskraft wurde nicht als eine die Untersuchung anspornende Hypothese, sondern als ein jedes Nachdenken überflüssig machendes Gespenst behandelt. Dazu kam nun noch, wo sich die Ernährungsfragen um die Saftbewegung drehten, die höchst mangelhafte Kenntniß der inneren Struktur der Pflanzen, deren Zustand wir bereits im zweiten Buch kennen gelernt haben. So wurde z. B. die Frage nach dem absteigenden Saft durch Du Petit-Thouart's Theorie von den zwischen Rinde und Holz absteigenden Knospenswurzeln in einer kaum glaublichen Weise verwirrt; Reichel's so schlecht bewiesene Ansicht vom Aufsteigen des Saftes in den Holzröhren war jetzt so ziemlich Gemeingut geworden und noch schlimmer war es, daß Andere die Interzellularräume des Parenchym's für die eigentlich saftführenden Organe hielten; noch 1812 mußte Moldenhawer und zwar ohne durchschlagenden Erfolg den Luftgehalt der Holzgefäße nachweisen und noch 1821 Treviranus hervorheben, daß die Spaltöffnungen dem Ein- und Austritt der Luft dienen. Was die Naturphilosophen, wie Kieser z. B., über Ernährung und Saftbewegung sagten, braucht hier nicht einmal weiter beachtet zu werden; aber auch diejenigen,

welche sich von den Auswüchsen dieser Richtung fern hielten, waren nicht im Stande, die Leistungen von Ingen-Houff, Senebier und Saussure zu benutzen oder gar zu fördern. Um nur ein Beispiel hervorzuheben, soll aus Link's 1807 erschienenen, uns bereits bekannten „Grundlehren der Anatomie und Physiologie“ citirt werden, was er über die Function der Blätter sagt; sie ist, heißt es daselbst p. 202, die Ausdunstung nach Gales, die Einsaugung nach Bonnet, das Ausschwitzen und Absondern verschiedener Flüssigkeiten nach Bjerkander, das Aufbewahren der Säfte nach Hedwig, und insofern die Blätter die grüne Oberfläche der Pflanze vermehren, Spaltöffnungen und Haare tragen, in ihrem häufigen Parenchym eine Menge Säfte fassen, könne man ihnen alle diese Funktionen zuschreiben, nur keine ausschließlich; eigenthümlich sei den Blättern nur, daß sie den jungen Theilen bereite Säfte zuführen.“ Gerade die Hauptsache, daß sie Kohlenensäure zerlegen, wird nicht angeführt. Diese Vernachlässigung der Lehren Ingen-Houff's, Senebier's und Saussure's war jedoch nicht individuell, sondern namentlich in Deutschland allgemein; wie man zumal aus den Bemühungen ersieht, die Existenz eines absteigenden Saftes in der Rinde wieder ganz in derselben Weise, wie es bereits im 17. und 18. Jahrhundert geschehen war, zu erweisen, nämlich durch den Erfolg ringförmiger Entrindungen u. dergl., während die einfache Erwägung, daß nur in den grünen Blättern kohlenstoffhaltige Pflanzensubstanz gebildet wird, die Existenz eines sogenannten absteigenden Saftes als selbstverständlich hätte erscheinen lassen und zu einer viel klareren Auffassung führen mußte. Diese einfache Erwägung aber wurde auch von denen, welche sich experimentell mit der Bewegung des absteigenden Saftes beschäftigten, entweder ganz übersehen, oder doch nur nebenbei angedeutet; so z. B. selbst in Heinrich Cotta's sonst vielfach lehrreichen „Naturbeobachtungen über die Bewegung und Function des Saftes in den Gewächsen“ 1806 und in Knight's ebenfalls anderweitig brauchbaren Experimenten über das Dickenwachsthum der Bäume. Erst viel später im Beginn der dreißiger

Jahre brach sich bei De Candolle und Dutrochet die Erkenntniß Bahn, daß die Assimilationsthätigkeit der grünen Blätter für die Beurtheilung der Saftbewegung im Stamm maßgebend sein müsse.

Nur ein Theil der Ernährungslehre im weiteren Sinn wurde schon in den zwanziger und dreißiger Jahren weiter ausgebildet, theoretisch vertieft und mit neuen Thatsachen bereichert; dieß war die Lehre von der Sauerstoffathmung aller Pflanzentheile, die schon deßhalb den Anschauungen jener Zeit adäquater war, weil hier die Analogieen mit der thierischen Athmung sich nach jeder Richtung hin von selbst darbieten. Schon 1819 hatte *Grishow* gezeigt, daß die Pilze überhaupt niemals Kohlenäure zerlegen, sondern immer nur Sauerstoff einathmen und Kohlenäure aushauchen, was 1834 von *Marcet* noch weiter ausgeführt wurde, nachdem schon vorher 1822 *Lh. de Saussure* eine ausgezeichnete Untersuchung über die Sauerstoffathmung der Blüthen publicirt hatte, eine Arbeit, welche zugleich die erste Grundlage für die Theorie der vegetabilischen Eigenwärme wurde, worauf wir noch zurückkommen. Ausführlich aber wurde zuerst die Sauerstoffathmung der Pflanzen mit der der Thiere verglichen von *Dutrochet* 1837, der auch ausdrücklich hervorhob, daß nicht nur das Wachstum, wie bereits *Saussure* erkannt hatte, sondern auch die Reizbarkeit der Pflanzen, von der Gegenwart des Sauerstoffs, d. h. von ihrer Athmung abhängt. Mit der Erkenntniß, daß die Sauerstoffathmung bei den Pflanzen dieselbe Rolle spielt, wie bei den Thieren, brach sich auch die Ansicht Bahn, daß die vegetabilische Eigenwärme einfach eine Folge der Athmung sei, wie bei den Thieren. Es ist nicht nöthig hier ausführlich auf die vor 1822 über die Eigenwärme der Pflanzen gemachten Versuche einzugehen; sie litten sämmtlich an einer Unklarheit der Fragestellung, die nothwendig jeden Erfolg vereiteln mußte; man suchte die Eigenwärme, von der man annahm, sie müsse sich immer durch eine Temperaturerhöhung der Pflanze über die Umgebung geltend machen, nämlich gerade da nachzuweisen, wo sie am wenigsten zu finden ist, im Holz, in

Früchten und Knollen, überhaupt in ruhenden, unthätigen Theilen. Zudem waren die älteren Versuche, die man in Goepfert's Buch über die Wärmeentwicklung der Pflanzen 1830 zusammengestellt findet, auch in ihrer Ausführung so ungeschickt, daß sie unmöglich zu einem Resultat führen konnten. Wenn es sich um die Frage handelte, ob die Pflanzen überhaupt, ähnlich wie die Thiere, Eigenwärme erzeugen, so konnten die wenigen Fälle lebhafter Wärmeentwicklung an Blüthen um so weniger entscheiden, als man sich damals im Zusammenhang mit der Theorie der Lebenskraft gern dem Gedanken hingab, daß gerade die Blüthen als Fortpflanzungsorgane wohl allein die Fähigkeit der Wärmeproduktion besitzen könnten.

Schon 1777 hatte Lavoisier die Quelle der thierischen Eigenwärme in der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanz durch den eingeathmeten Sauerstoff klar erkannt und durch Experimente bewiesen. Senebier, der zuerst die Erwärmung des Blütenkolbens von *Arum* mit dem Thermometer beobachtete, hatte in seiner Physiologie (III p. 315) schon 1800 wenigstens die Vermuthung geäußert, daß eine kräftige Sauerstoffathmung die Ursache des Phänomens sein könne. 1804 berichtete Bory de St. Vincent, ein Plantagenbesitzer Hubert auf Madagaskar habe unter Anderem beobachtet, daß die Luft, in welcher ein *Aroiden*-Kolben sich erwärmt hatte, weder thierische Athmung noch Verbrennung unterhalte. Diese Indicien wurden jedoch nicht weiter beachtet, bis Th. de Saussure 1822 direkt den Zusammenhang zwischen Sauerstoffathmung und Erwärmung der Blüthen nachwies. Trotzdem dauerte es noch lange, bis die Eigenwärme der Pflanzen als eine allgemeine und nothwendig mit der Athmung verbundene Thatsache begriffen wurde. Wäre dieß geschehen, so wäre die ganze von Goepfert in seinem erwähnten Buch 1830 angehäuften Masse von Thatsachen überflüssig gewesen, durch welche der Verfasser beweisen wollte, daß die Pflanzen (p. 228) in keiner Epoche ihres Lebens die Fähigkeit besitzen, eine eigene Wärme zu erzeugen, eine Ansicht, die Goepfert jedoch schon 1832 widerrief, indem es ihm gelungen war, an

zusammengehäuften Keimpflanzen, Knollen, Zwiebeln und grünen Pflanzen eine Temperatursteigerung nachzuweisen. Wie schwer es den Physiologen unter der Herrschaft der Lebenskraft wurde, sich an das einfache Princip der Eigenwärme, statt an vereinzelte Beobachtungen zu halten, zeigen auch die Aeußerungen De Candolle's 1835 und noch mehr die von Treviranus 1838. Dagegen ist erfreulich zu sehen, wie Meyen das Princip in seinem neuen System (II 1838) energisch geltend macht und die Wärmeentwicklung der Pflanzen als eine nothwendige Folge der Athmung und der chemischen Prozesse hinstellt. Meyen brachte selbst keine neuen Beobachtungen; dieß thaten aber Brolik und De Brieße 1836 und 39, indem sie durch mühsame Experimente die Abhängigkeit der Selbsterwärmung der Aroideen-Kolben von der Sauerstoffathmung nachwiesen. Principiell wichtiger aber war der von Dutrochet 1840 unternommene Nachweis, daß auch wachsende Sprossen geringe Quantitäten von Wärme erzeugen, was er mit einem thermoelektrischen Apparat darzuthun versuchte; man mag im Einzelnen an diesen Beobachtungen Dutrochet's Manches auszufehen finden; leugnen läßt sich jedoch nicht, daß ihnen eine klare Erkenntniß des Princip's der Eigenwärme zu Grunde liegt, wenn auch immerhin der Gedanke, daß Wärmebildung in der Pflanze nicht nothwendig mit Temperaturerhöhung verbunden sein muß, da abkühlende Ursachen die Wärmebildung überwiegen können, noch nicht zum Durchbruch kam. Jedenfalls war durch Saussure's, Brolik's, de Brieße's und Dutrochet's Beobachtungen, ebenso durch Meyen's und Dutrochet's Geltendmachung des Lavoisier'schen Princip's die Lehre von der Eigenwärme der Pflanzen in der Hauptsache begründet; es dauerte aber freilich wieder mehr als dreißig Jahre, bis sie zum Gemeingut der Pflanzenphysiologie erhoben wurde.

Mit der Erkenntniß, daß die Eigenwärme der Organismen ein Produkt der durch die Athmung angeregten chemischen Vorgänge sei, war der bisherigen rohen Auffassung der Lebenskraft eine ihrer wichtigsten Stützen entzogen, denn gerade diese galt

seit der aristotelischen Zeit als eine ganz spezifische Wirkung derselben. Nunmehr trat aber noch eine andere Entdeckung hervor, welche nicht minder geeignet war, allgemeine und wichtige Lebenserscheinungen der Pflanzen und Thiere auf mechanische Principien zurückzuführen, wo man bisher ebenfalls die Lebenskraft gedankenlos hatte wirken lassen. Es ist für uns ziemlich gleichgiltig, ob man den Breslauer Professor Fischer als den wahren Entdecker der Endosmose (1822) betrachten will; gewiß ist aber, daß Dutrochet¹⁾ diese Naturerscheinung zuerst genauer studirt und vor Allem ihre außerordentliche Wichtigkeit für die Erklärung gewisser Lebenserscheinungen erkannt hat. Von 1826—1837 hob Dutrochet wiederholt die Bedeutung der Endosmose für die Erklärung physiologischer Vorgänge hervor und versuchte er, die verschiedensten Vegetationserscheinungen auf dieses Agens zurückzuführen. Er hatte die Wirkungen der Endosmose zuerst an organischen Gebilden und zwar in ihren mechanischen Effekten kennen gelernt: der Austritt der Zoosporen eines Wasserpilzes und die Ausstosung des Sperma's aus den Samenbeuteln der Schnecken hatten ihn zuerst auf die Annahme geführt, daß der von den organischen Häuten umschlossene dichtere Inhalt eine

¹⁾ N. S. Joachim Dutrochet, 1776 geboren, stammte aus einer adeligen Familie des Indre-Departements, welche während der Revolution ihr Vermögen verlor; um sich nun einen Unterhalt zu sichern, studirte Dutrochet Medicin und promovirte 1806 an der Pariser Facultät; 1808 und 1809 machte er als Militärarzt den Feldzug in Spanien mit; sobald es ihm jedoch möglich wurde, gab er die Praxis auf, um in tiefer Zurückgezogenheit seinen physiologischen Studien zu leben; zunächst während einer Reihe von Jahren in der Tourraine. Seit 1819 correspondirendes Mitglied der Akademie, sandte er derselben seine Abhandlungen, und als er 1831 ordentliches Mitglied wurde, zog er nach Paris, wo er jedoch nur die Wintermonate zu verleben pflegte. Ein heftiger Stoß an den Kopf verursachte ihm ein langwieriges Kopfleiden, an welchem er zwei Jahre später 1847 starb. — Dutrochet war auch in der Thierphysiologie einer der erfolgreichsten Vorkämpfer der neueren Richtung, welche in den zwanziger und dreißiger Jahren die alte vitalistische Schule zu verdrängen begann. (Allgemeine Zeitung 1847 p. 780.)

Anziehung auf das umgebende Wasser ausübe, welches in den geschlossenen Raum eindringend daselbst im Stande ist, namhafte Druckkräfte geltend zu machen. Die Hervorhebung dieser mechanischen Wirkung der Endosmose und ihre Verwerthung zur Erklärung verschiedener Lebenserscheinungen ist ganz vorwiegend ein bleibendes Verdienst D ut ro ch e t 's; zahlreiche Erscheinungen, an deren mechanische Erklärung man bis dahin kaum dachte, konnten nunmehr auf ein mechanisches Princip zurückgeführt werden, dessen Wirkungen sich auch außerhalb des Organismus an künstlichen Apparaten hervorrufen und genauer studiren ließen. Mit Recht legte D ut ro ch e t besondern Werth darauf, daß sich durch Endosmose und Exosmose ohne Weiteres die verschiedenen Turgescenz-zustände des Pflanzengewebes erklären lassen, wenn er auch, wie es in solchen Fällen zu geschehen pflegt, das neu erkannte Erklärungsprincip selbst da zur Geltung brachte, wo es nicht am Orte war, wie wir noch weiter sehen werden. Was D ut ro ch e t über das Wesen der Endosmose selbst zu Tage förderte, kann gegenwärtig als durchaus veraltet betrachtet werden und ebenso wenig gelang es dem Mathematiker P o i s s o n und dem Physiker M a g n u s im Beginn der dreißiger Jahre eine genügende Theorie der Endosmose und der Exosmose aufzustellen. Erst im Lauf der nächsten zwanzig bis dreißig Jahre zeigte sich, daß die von D ut ro ch e t beobachteten Erscheinungen, welche er als Endosmose und Exosmose bezeichnet hatte, nur besondere complicirtere Fälle der sogenannten Hydrodiffusion darstellen, die selbst wieder mit der Gasdiffusion ein weitläufiges Feld der Molecularphysik ausmacht. D ut ro ch e t hatte ebenso, wie seine nächsten Nachfolger seine Untersuchungen über die Osmose mit thierischen und complicirt gebauten pflanzlichen Häuten ausgeführt, und mit diesen jedesmal außer dem endosmotischen Strom, welcher das Wasser zu der dichteren Lösung hinführte, einen Austritt von gelöster Substanz selbst erhalten, woraus er schloß, daß durch die die beiden Flüssigkeiten trennende Haut immer zwei entgegengesetzte Strömungen stattfinden müssen, daß nach seiner Ausdrucksweise mit der Endosmose auch immer Exosmose verbunden sei; dieser

Irrthum, der später sogar zu einer Theorie vom endosmotischen Aequivalent ausgebildet wurde, hat bis auf die neuere Zeit ganz wesentlich dazu beigetragen, die Zurückführung gewisser Vegetationserscheinungen auf die Vorgänge der Hydrodiffusion unmöglich zu machen oder zu erschweren; um hier nur Ein Beispiel zu nennen, hob schon Schleiden mit Recht hervor, daß, wenn die Endosmose in Dutrochet's Sinn die alleinige Ursache der Aufnahme des Wassers durch die Wurzeln sei, nothwendig auch eine entsprechende Exosmose an den Wurzeln stattfinden müsse; eine solche, sogenannte Wurzelabscheidung glaubte nun freilich Macaire Prinssep aufgefunden zu haben und selbst Liebig hielt bis in die neuere Zeit an der Existenz einer solchen fest, obgleich schon Wiegman und Polstorff 1842 und spätere sorgfältigere Untersuchungen zeigten, daß den großen Mengen von Wasser und darin gelösten Stoffen, welche die Wurzeln aufnehmen, keine irgendwie nennenswerthe Abscheidung durch Exosmose entspricht. Auch genügte Dutrochet's Endosmosentheorie noch keineswegs, Rechenschaft davon zu geben, wie die einzelnen Nährstoffe in die Pflanze eintreten und in ihr sich verbreiten. Trotz dieser und mancher anderer Mängel jedoch verdiente sie nicht bloß deshalb die größte Beachtung, weil sie den ersten Anstoß zu der späteren Ausbildung der Diffusionstheorie gab, sondern ebensosehr, weil in ihr ein mechanisches Princip zur Erklärung der verschiedensten, bis dahin unerklärten Vegetationserscheinungen lag. Dutrochet versäumte auch nicht, dieses Letztere wo nur irgend thunlich, zur Geltung zu bringen; so vor Allem in seiner Abhandlung über den auf- und absteigenden Saft. (Memoires 1837 I p. 365 ff.), welche sich vor allem bis dahin über die Saftbewegung in den Pflanzen Geschriebenen durch Klarheit der Fragestellung und Uebersichtlichkeit der Behandlung des Thema's auszeichnet. Namentlich ist hervorzuheben, daß Dutrochet die Bedeutung der Blattfunktion sowohl für den aufsteigenden, wie für den absteigenden Saft richtig erkannte und zum Theil sogar den principiellen Fehler andeutete, der in den früheren Experimenten mit Aufsaugung farbiger Flüssigkeiten

liegt. Nachdem er eine Reihe sehr guter Beobachtungen über die Wege des auf- und absteigenden Saftes mitgetheilt, namentlich auch hervorgehoben, daß die Holzgefäße der Rebe nur zur Zeit des Blutens im Frühjahr der Saftbewegung dienen, dagegen im Sommer, wo durch die Transpiration die lebhafteste Wasserströmung im Holz hervorgerufen wird, Luft führen; ging er zur Betrachtung der Kräfte über, durch welche sowohl im Frühjahr wie im Sommer die Bewegung des im Holz aufsteigenden Saftes vermittelt wird. Sehr zweckmäßig unterscheidet er zunächst, was bis dahin immer vermengt worden war, das Austhränen abgeschnittener Wurzelstöcke von dem Aufsteigen des Saftes im Holz transpirirender Pflanzen; das Erste findet nach ihm durch Impulsion, das Andere durch Attraktion statt, oder wie wir jetzt sagen würden, bei thränenden Wurzelstöcken wird das Wasser hinaufgepreßt, bei transpirirenden Pflanzen hinaufgesogen. Die Erscheinung der Impulsion nun führt er auf die Endosmose an den Wurzeln zurück und, ohne viel auf das Detail der anatomischen Verhältnisse einzugehen, vergleicht er einen blutenden Wurzelstock mit seinem Endosmometer, in dessen Steigrohr sich in Folge der Endosmose die eingesogene Flüssigkeit erhebt und oben sogar ausfließt; ein tieferes Verständniß der Erscheinung war damit freilich nicht erzielt, aber doch wenigstens das Erklärungsprincip angedeutet. Ebenso suchte Dutrochet nun auch die Bewegung des im Holz aufsteigenden Wassers transpirirender Pflanzen durch Endosmose im Holz von Zelle zu Zelle zu erklären. Das war nun freilich, wie die Zukunft lehrte, durchaus verfehlt, sehr gut aber verstand es Dutrochet, die früher versuchten mechanischen Erklärungen als unrichtig zu kennzeichnen und die ganze Abhandlung ist, wenn auch in ihrem Hauptergebniß ungenügend, doch durch eine große Zahl sinnreicher Experimente und scharfsinniger Bemerkungen ausgezeichnet.

Ueberhaupt war Dutrochet in den zwanziger und dreißiger Jahren neben Theodor de Saussure, der sich ausschließlich mit chemisch-physiologischen Fragen beschäftigte, der einzige Vertreter der Pflanzenphysiologie, der sich mit allen wichtigeren

Fragen derselben eingehend und experimentell befaßte: seiner trefflichen Abhandlung über die Athmung der Pflanzen wurde bereits oben gedacht; sie ist außerdem noch deshalb für ihre Zeit von großem Gewicht, weil Dutrochet hier zuerst die chemischen Vorgänge der Athmung, den Ein- und Austritt der Gase mit den Luftwegen der Pflanze, den Spaltöffnungen, Gefäßen und Interzellularräumen in richtigen Zusammenhang brachte und die Zusammensetzung der in den Hohlräumen der Pflanzen enthaltenen Luft einer sorgfältigen Betrachtung unterzog; auch diese Abhandlung war zu ihrer Zeit 1837 und noch lange nachher das Beste, was man über die Athmung der Pflanzen lesen konnte und wenn er auch darin einen Mißgriff beging, daß er als das Hauptagens bei der Athmung den von der Pflanze selbst im Licht entbundenen Sauerstoff betrachtete, während die sonstige Sauerstoffaufnahme ihm nur als subsidiäre galt, so entschädigte doch dafür die entschiedene Betonung der Thatsache, daß nur chlorophyllhaltige Zellen Sauerstoff entbinden und noch mehr die richtige Unterscheidung zwischen Athmung durch Sauerstoffaufnahme und der Kohlensäurezersehung am Licht; diese beiden Vorgänge wurden schon damals und später sehr unzuweckmäßiger Weise als Tages- und Nachtathmung der Pflanzen unterschieden und diese ganz schiefe, das Verständniß durchaus hindernde Ausdrucksweise ist dann trotz des 1851 auch von Garreau erhobenen Protestes doch bis in die sechziger Jahre hinein beibehalten worden, wo es endlich einem neueren deutschen Pflanzenphysiologen gelang, die richtige Unterscheidung zwischen Athmung und Assimilation der Pflanzen allgemein zur Geltung zu bringen. — Auch mit dem Worte Saftcirculation wurde in den dreißiger Jahren eine arge Verwirrung angerichtet: Man glaubte in der von Corti entdeckten, von Amici genauer beschriebenen „Circulation des Sastes“ (Protoplasma's) in den Schläuchen der Charen einen Beweis für die Existenz einer Saftcirculation auch in höheren Pflanzen finden zu müssen; Dutrochet (Memoires I. p. 431) wies ausdrücklich diese Begriffsverwirrung zurück und erwarb sich zugleich das Verdienst,

die „Circulation des Lebensaftes“, welche Schulz-Schulzenstein von der Pariser Akademie sich mit einem Preis hatte krönen lassen, als einen groben Irrthum zurückzuweisen.

Auf seine sehr ausführlichen Untersuchungen über die Reizbewegungen der Pflanzen, die er ebenfalls zuerst auf endosmotische Turgescenzänderungen in den Geweben zurückzuführen suchte, ohne jedoch den anatomischen Bedingungen derselben gerecht zu werden, kommen wir im folgenden Kapitel noch zurück. Hier aber mag noch die Bemerkung Platz finden, daß Dutrochet's Leistungen, zumal in Deutschland vielfach unterschätzt worden sind und zwar zum großen Schaden der Pflanzenphysiologie selbst. Mit Recht wurde von seinen jüngeren deutschen Zeitgenossen Mohl und Schleiden, später auch von Hofmeister das Irrthümliche und zum Theil Willkürliche in Dutrochet's mechanischen Erklärungen verschiedener Bewegungserscheinungen nachdrücklich hervorgehoben und nicht leugnen läßt sich, daß er vielfach in sehr bedenkliche Unklarheiten verfiel, z. B. wenn er ohne ersichtlichen Zusammenhang, als eine mechanische Bedingung des Saftsteigens, sowie der heliotropischen Krümmungen die Sauerstoffathmung betrachtete und daß seine Erklärungsversuche häufig sehr gezwungen und von vornherein unwahrscheinlich klangen: das Alles hindert jedoch nicht, daß ein aufmerksamer Leser auch jetzt noch in seinen physiologischen Schriften vielfach Belehrung und noch mehr Anregung zu eigener Untersuchung findet. Dutrochet war ein entschieden geistreicher Mann, ein selbständiger Denker, der sich zwar oft durch seine eigenen Vorurtheile heirren ließ, dafür aber den alten überlieferten Schlendrian in der Behandlung physiologischer Begriffe energisch entgegentrat und an die Stelle behaglicher Erzählung und bloßer Anhäufung einzelner Beobachtungen, wie sie damals Mode war, eine kritische Behandlung der Literatur sowohl, wie seiner eigenen Untersuchungen treten ließ. Nach Saussure's *Recherches chimiques* sind bis zum Jahre 1840 Dutrochet's *Memoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux et des animaux* 1837 ohne Zweifel

das Beste, was die physiologische Literatur in diesem langen Zeitraum aufzuweisen hat; hätten die späteren Botaniker, statt sich an seine Fehler zu hängen, das wirklich Gute in seiner Gesamtaufassung der Pflanzenphysiologie sorgfältig und kritisch weiter kultivirt, so wäre diese Disciplin in den vierziger und fünfziger Jahren gewiß nicht in dem Grade in Verfall gerathen, wie es wirklich geschehen ist. Um zu erfahren, welche Bedeutung Dutrochet in den dreißiger Jahren als Pflanzenphysiolog besaß, braucht man sein erwähntes Werk nur mit den besten Lehrbüchern der Pflanzenphysiologie desselben Jahrzehntes, mit denen von De Candolle, Treviranus und Meyen zu vergleichen. Keines derselben erreicht an Scharfsinn und Tiefe der Behandlung Dutrochet's Memoires.

Die drei eben erwähnten Lehrbücher enthielten zwar wenig oder nichts Neues auf dem Gebiet der Ernährungslehre, weder an Thatsachen, noch an Gedanken; alle drei waren vielmehr Sammlungen des bis dahin Bekannten und eigenthümlich war jedem nur die Auswahl des Stoffes und die Form, welche es der Ernährungslehre zu geben suchte; aber gerade hierin liegt ein Grund, uns diese Bücher noch etwas näher anzusehen, da wir in ihnen den Zeitgeist, wie er sich damals in der Pflanzenphysiologie abspiegelte und sich auf dem Gebiet der Ernährungslehre geltend machte, kennen lernen.

P. de Candolle's Werk erschien in zwei Bänden, von denen der erste allein der Ernährungslehre gewidmet ist, 1832 französisch und schon 1833 in deutscher Uebersetzung unter dem Titel: „Pflanzenphysiologie oder Darstellung der Lebenskräfte und Lebensverrichtungen der Gewächse“ mit zahlreichen, werthvollen Anmerkungen des Uebersetzers Koeper. Das Werk leidet gleich den beiden anderen und gleich den früheren Werken von Du Hamel, Mustel u. a. ganz vorwiegend an einer zu großen Breite der Behandlung, durch welche das principiell Wichtige in einem ungeheuren Ballast von Thatsachen und Literaturangaben sich verbirgt. Sehr Vieles ist darin aufgenommen, was entweder als gänzlich veraltet völlig wegbleiben konnte,

oder als rein chemisches Beobachtungsmaterial eine eigentlich physiologische Auswerthung damals noch nicht erlaubte. Trotzdem verdiente das Werk die große Beachtung, welche ihm zumal in Deutschland lange Zeit geschenkt wurde, denn De Candolle hatte sich die Aufgabe gestellt, die Pflanzenphysiologie als eine in sich abgeschlossene eigenartige Wissenschaft zu behandeln, gleichzeitig den physikalischen, chemischen, phytotomischen und eigentlich biologischen Anforderungen gerecht zu werden und so ein vollständiges und allseitiges Bild des Pflanzenlebens zu entwerfen; während gerade das Beste, was seit Du Hamel zumal über die Ernährung der Pflanzen geschrieben worden war, von Chemikern und Physikern, zum Theil von Pflanzenzüchtern, wie Knight und Cotta herrührte, von denen jeder einseitig seinen eigenen Standpunct geltend machte, keiner aber die Gesamtheit aller Vegetationserscheinungen in Zusammenhang zu bringen suchte; dem gegenüber ist De Candolle's Pflanzenphysiologie eben durch die Gesamtsform, welche er der Wissenschaft zu geben suchte, seit Du Hamel's *Physique des arbres* die bedeutendste Leistung und wenn es darauf ankommt, zu erfahren, welchen Fortschritt die gesammte Pflanzenphysiologie und in Besonderen die Ernährungslehre in dem Zeitraum von 1758—1832 gemacht hat, so braucht man nur den Inhalt dieser beiden Werke zu vergleichen; daß dieser Fortschritt immerhin ein sehr beträchtlicher war, wird eine kurze Uebersicht der gesammten Ernährungstheorie, wie De Candolle sich dieselbe am Schluß des ersten Bandes zurecht legte, deutlich genug erkennen lassen; zugleich zeigt uns dieselbe, daß De Candolle vorwiegend darauf ausging, mehr die gesammte innere Oekonomie der Pflanze zu klarer Vorstellung zu bringen, als die treibenden Kräfte, die Ursachen und Wirkungen aufzusuchen. Von letzterem mußte ihn schon die Annahme der Lebenskraft abhalten. Er unterschied nämlich vier Arten von Kräften: die Anziehungskraft, welche die physikalischen; die Wahlverwandtschaft, welche die chemischen Erscheinungen hervorruft; ferner die Lebenskraft als den Urquell aller physiologischen, und die Seelenkraft als

den der psychischen Phänomene. Von diesen Kräften seien nur die ersten drei in der Pflanze thätig und wenn es auch nothwendig sei, genau zu untersuchen, welche Vegetationsercheinungen physikalischer oder chemischer Natur sind, so bleibe doch die Hauptaufgabe der Pflanzenphysiologie gerade die Erkenntniß derjenigen Erscheinungen, welche durch die Lebenskraft hervorgerufen werden. Die letzteren seien aber vorwiegend solche, welche mit dem Tode der Pflanze aufhören (p. 6). Natürlich mußten auf diese Weise alle eigentlichen Ernährungsercheinungen, welche ausschließlich an der lebenden Pflanze auftreten, mit in das Bereich der Lebenskraft fallen. Man muß jedoch zugestehen, daß De Candolle von seinem Standpunct aus einen sehr mäßigen Gebrauch von der Lebenskraft machte, sich, wo irgend möglich, an physikalisch-chemische Erklärungen hielt und wenn es ihm nicht gelang auf diesem Wege Vieles, was er vitalistisch erklärte, physikalisch-chemisch zu deuten, so war daran weniger sein philosophischer Standpunct, als vielmehr seine weniger auf Forschung als auf Belehrung und Ueberlieferung ausgehende Darstellung Schuld. Zwar war De Candolle mit den Thatsachen der Physik und Chemie seiner Zeit vielleicht besser als irgend ein anderer Botaniker bekannt, und aller Anerkennung werth ist es, daß er neben seiner großartigen Thätigkeit als Systematiker und Morpholog sich soviel Verständniß physikalisch-chemischer Dinge aneignen konnte; aber immerhin fehlte es ihm, in späteren Jahren wenigstens, an der Übung und Gewohnheit physikalischen Denkens, welches dem Physiologen wichtiger ist, als zahlreiche physikalische Einzelkenntnisse. Das eben Gesagte trifft jedoch den großen Systematiker in weit geringerem Grade als Treviranus und Meyen, deren Werke bald darauf erschienen.

Nachdem De Candolle Alles zusammengetragen, was die Literatur seit der ältesten Zeit an physiologischen Thatsachen, namentlich auch in den letzten Jahrzehnten an chemischen Untersuchungen der Pflanzenstoffe zu Tage gefördert hatte, sucht er schließlich ein Gesamtbild der Ernährungsvorgänge der Pflanzen

zu entwerfen: „Die Saugschwämmchen (*spongiolae*, eine trüb-
felige Erfindung De Candolle's, die seitdem nicht mehr aus
der französischen Literatur verschwunden ist und selbst in Liebig's
neuestem Werk noch eine Rolle spielt) der Wurzeln saugen, ver-
möge ihrer lebsthätigen Contractilität und mit Hilfe der
ihrem Gewebe inwohnenden Haarröhrchenthätigkeit und hygros-
kopischen Kraft, das sie umgebende Wasser nebst den salzartigen
organischen oder gasförmigen Theilen ein, mit denen es etwa
beladen ist. Durch die Wirkung einer sich vorzüglich durch die
Contractilität der Zellen und vielleicht auch der Gefäße äußern-
den, durch die Hygroskopicität und Haarröhrchenthätigkeit des
Gewebes, sowie den durch die Aushauchung hervorgebrachten
leeren Raum und noch andere Ursachen unterstützten Thätigkeit
wird das von den Wurzeln eingefogene Wasser durch den Holz-
körper hindurch und insbesondere in den Interzellulargängen bis
zu den blattartigen Theilen geführt. Zu den blattartigen Theilen
gelangt dieses Wasser indem es in senkrechter Richtung von den
Blättern und in seitlicher Richtung, zu jeder Jahreszeit, vorzüg-
lich aber im Frühling von der zelligen Hülle (Rindenparenchym)
angezogen wird; ein beträchtlicher Theil wird den Tag über
durch die Spaltöffnungen als reines Wasser in die Außenwelt
ausgehauht, und läßt in den Organen, in welchen diese Aus-
hauchung stattfindet, alle salzartigen Theile und namentlich alle
mineralischen Bestandtheile, welche es enthielt, zurück. — Der
rohe Nahrungsast, welcher in den blattartigen Theilen anlangt,
wird daselbst von dem Sonnenlichte getroffen, und vermittelt
dieser Kraft wird das im Nahrungsaste aufgelöste kohlen-
saure Gas (mag dieses nun von dem durch die Wurzeln eingefogenem
Wasser oder aus der atmosphärischen Luft herrühren, oder auch
demjenigen angehören, welches der Sauerstoff der Luft mit dem
überschüssigen Kohlenstoff der Pflanze erzeugte) während des
Tages zerlegt; der Kohlenstoff setzt sich an die Pflanze ab, und
der Sauerstoff wird als Gas in die Außenwelt entleert. Die
unmittelbare Folge dieser Operation scheint die Bildung von
Gummi zu sein, welches aus einem Atom Wasser und einem

Atom Kohlenstoff besteht, und durch sehr geringe Umänderungen in Stärkemehl, Zucker und Holzstoff verwandelt werden kann, lauter Verbindungen, deren Zusammensetzung fast die gleiche ist. Der durch diese Bearbeitungen gelieferte Nahrungsstoff, welcher in einfachsten und gewöhnlichsten Zustande Gummi zu sein scheint, steigt während der Nacht, bei den Exogenen längs der Rinde und dem Spint, bei den Endogenen längs dem Holzkörper, von den Blättern zu den Wurzeln wieder hinab. Unterwegs stößt er, vorzüglich in der Rinde und nahe bei dem Ort, wo er gebildet ward, auf Drüsen oder drüsige Zellen, die sich von ihm vollsaugen und in ihrem inneren Raume besondere Substanzen erzeugen, von denen die meisten nicht zur Ernährung der Pflanzen dienen können und welche dazu bestimmt sind, in die Außenwelt entleert, oder anderen Stellen des Gewebes zugeführt zu werden. Auf seinem Wege setzt er die Nahrungsstoffe ab, welche in dem Holzkörper mehr oder minder mit dem aufsteigenden rohen Nahrungsstoffe gemengt, oder mit dem Wasser, welches die Zellenhülle seitwärts durch die Markstrahlen an sich zieht, eingefogen, von den Zellen und insbesondere den rundlichen oder nur wenig lang gestreckten Zellen aufgefogen und weiter ausgebildet werden. Diese Ablagerung von Nahrungsstoffen, welche hauptsächlich aus Gummi, Stärkemehl, Zucker, vielleicht aus Holzstoff, und bisweilen aus fettem Del besteht, findet häufig in dazu vorausbestimmten Organen statt, aus welchen diese Stoffe später wieder aufgefogen werden, um alsdann zur Ernährung anderer Organe zu dienen. — Das Wasser, welches von der Wurzel zu den blattartigen Theilen in die Höhe steigt, kommt in diesen fast rein an, wenn es durch holzige Theile, deren Moleküle wenig auflöslich sind, schnell durchströmt. Wenn im Gegentheil das Wasser solche Stellen durchströmt, an denen viel rundliches, mit Nahrungsstoffen angefülltes Zellgewebe vorkommt, so fließt es langsamer, vermengt sich mit diesen Stoffen und löst sie auf; wird es nun durch die Lebensthätigkeit der sich entwickelnden Theile über diese Stellen hinaus angezogen, so gelangt es nicht mehr als reines Wasser, sondern als Nahrungsstoffe führendes

Wasser zu den erwähnten Theilen. Die Säfte der Pflanzen scheinen hauptsächlich durch die Interzellulargänge weiter geschafft zu werden. Die Gefäße nehmen wahrscheinlich in gewissen Fällen an diesen Berrichtungen Theil, dienen aber meistens nur als Luftkanäle. — Wie es scheint, sind die Zellen, die bei der Ernährung wirklich thätigen Organe, in denen die Zerfegung und Assimilation der Säfte vor sich geht. Die Cyclose (nämlich des Schulze'schen Lebensstoffes) ist eine Erscheinung, die nur mit der Bereitung der Milchäfte in genauer Verbindung zu stehen scheint und durch die lebhafte Contractilität der Zellwände oder der Röhren veranlaßt wird. In jeder Zelle setzen sich holzige oder andere Substanzen in je nach den Arten und Nebenumständen verschiedenen Mengen ab und bekleiden ihre Wände; die ungleiche Dicke dieser abgelagerten Schicht scheint nach Hugo Mohl die Veranlassung zur Annahme durchlöcherter Zellen gegeben zu haben; es erscheinen nämlich die durchsichtig bleibenden Stellen der Zellwände unter dem Mikroskope wie Poren. — Jede Zelle kann allerdings als ein Körper betrachtet werden, der in seinem Innern Säfte bereitet; es steht aber bei den Gefäßpflanzen ihre Thätigkeit dermaßen mit einem aus Organen zusammengesetzten Ganzen in Verbindung, daß eine einzelne Zelle nicht das ganze Wesen vorstellt, wie man es hingegen von den unter sich ähnlichen Zellen gewisser Zellularpflanzen sagen kann. — Einen dem Kreislaufe der Thiere wirklich ähnlichen Kreislauf beobachtet man bei den Pflanzen nicht, wohl aber findet ein abwechselndes Auf- und Absteigen des rohen Nahrungsstoffes und des mit ihm oft vermengten Bildungsstoffes statt. Diese beiden allgemeinen Erscheinungen werden vielleicht durch die Contractilität der noch jungen Zellen bedingt, welches Zusammenziehungsvermögen alsdann die wahre Lebensverrichtung der Pflanzen sein würde."

Das für uns Fremdartige in De Candolle's Ernährungsstheorie verdankt sie ganz vorwiegend dem Vorwalten der Lebenskraft; dabei giebt sie jedoch die Thatsachen in ihrem Gesamtzusammenhang und das Beste an ihr ist, daß im Centrum

sämmtlicher Ernährungsvorgänge die richtig erkannte Blattfunktion, die Zerfetzung der Kohlenfäure am Licht und die Erzeugung der organisirbaren Substanz in den Blättern steht. Ganz anders gestalteten sich in dieser Beziehung die Ansichten der beiden hervorragendsten deutschen Pflanzenphysiologen am Schluß des hier betrachteten Zeitraums: von *Treviranus* nämlich und *Meyen*, so verschieden auch beide sonst in ihrer Gesamtauffassung der Pflanzenphysiologie sich darstellen. In *Treviranus* gipfelt gewissermaßen Alles, was die ersten drei Jahrzehnte unseres Jahrhunderts an Vorurtheilen und Irrthümern auf Grund der Annahme der Lebenskraft hervorgebracht haben; zu einer Zeit, wo Andere bereits die physikalisch-mechanische Erklärung der Vegetationsercheinungen, als das anzustrebende Ziel, aufstellten, suchte *Treviranus* noch einmal das ganze Rüstzeug der veralteten Lebenskraftlehre hervor, so zwar, daß seine Physiologie der Gewächse, als sie 1835 erschien, auch schon als veraltet gelten konnte. In scharfem Gegensatz zu ihm trat *Meyen* im zweiten Band seines neuen Systems der Pflanzenphysiologie 1838; wo irgend möglich sucht er die Vegetationsercheinungen auf physikalisch mechanische und chemische Ursachen wieder zurückzuführen, wenn es ihm auch selten gelingt, in dieser Richtung etwas Neues und dauernd Brauchbares zu Tage zu fördern. Denn ihm sowohl, wie *Treviranus* fehlte gründliche physikalische und chemische Bildung; sie standen nicht wie einst *Hales* und *Malpighi* in dieser Beziehung auf der Höhe ihrer Zeit; dabei lag aber ein großer Unterschied in der Behandlung der ihnen vorliegenden Literatur: *Treviranus*, der in früheren Jahren sich um die Phytotomie namhafte Verdienste erworben hatte, war dieser Aufgabe nicht gewachsen; in allen seinen physiologischen Darlegungen spricht sich eine greisenhafte Gedankenschwäche, eine Unfähigkeit, den Zusammenhang der Thatsachen zu übersehen, aus; alles in den letzten Jahrzehnten Geleistete ist ihm verdächtig, fast überall stützt er sich auf das im 18. Jahrhundert Publicirte, ja er lebt in den Vorstellungen dieser Vergangenheit, ohne sich indessen an der treffenden Logik und Gedankenfrische eines *Mal-*

pighi, Mariotte und Hales zu erwärmen. Ganz im Gegensatz dazu erscheint Meyen's Behandlung der Physiologie frisch und jugendlich; ohne das Alte zu mißachten, hält er sich doch vorwiegend an die neueren Errungenschaften der Wissenschaft; während Treviranus mit merkwürdigem Mißgeschick fast immer das Brauchbare und Folgenreiche übersieht, findet Meyen aus der vorliegenden Literatur gewöhnlich das Beste heraus; furchtsam vermeidet Treviranus, irgend eine Ansicht entschieden auszusprechen und sie festzuhalten, wogegen Meyen, bei seiner uns bereits bekannten Massenproduktion, keine Zeit findet, seine Gedanken zu ordnen, in seinem Urtheil sich vielfach überstürzt und sich häufig widerspricht. Trotz dieser Mängel in Meyen's Darstellung, erscheint er jedoch als Vorkämpfer der sich neu anbahnenden Richtung; während Treviranus ganz und gar in der Vergangenheit lebt, und in ihm keine Spur des rüstig schaffenden Geistes zu finden ist, der sich bald darauf im Beginn der vierziger Jahre auf allen Gebieten der Naturwissenschaft so kräftig entfalten sollte.

Betrachten wir nun, was beide auf dem Gebiet der Ernährungslehre leisteten, so zeigen sich die angegebenen Unterschiede ihrer Gesamtauffassung zunächst in der Behandlung der aufsaugenden Thätigkeit der Wurzel, der Mechanik des aufsteigenden Saftes; hier ist bei Treviranus Alles Lebenskraft, die Gefäße des Holzes leiten vermittelst derselben die Säfte aus den Wurzeln in die Blätter und dergleichen Veraltetes mehr; Meyen dagegen acceptirt Dutrochet's Standpunct und weist sogar die Wurzelschwämmchen De Candolle's zurück. Mit der Athmung weiß Treviranus Nichts anzufangen; Meyen erklärt sie rundweg als eine der thierischen Athmung entsprechende Function und findet in ihr die Hauptursache der Eigenwärme, welche Treviranus in alterthümlicher mystischer Weise aus der Lebenskraft ableitet. In Einem Punct aber stimmen beide überein, in der völligen Verkennung der maßgebenden Bedeutung der Kohlenäurezersehung in den Blättern für die gesammte Ernährung der Pflanzen. Es ist zum Verständniß der Begriffsverwirrung,

welche sich damals in die Ernährungslehre eingeschlichen hatte und zur richtigen Würdigung dessen, was bald darauf Liebig und Boussingault leisteten, nöthig, noch etwas näher auf die chemische Seite der Ernährungstheorie bei Treviranus und Meyen einzugehen.

Treviranus lehnte zwar in der Einleitung seines Werkes eine von der Materie trennbare Lebenskraft ab, war aber trotzdem ganz und gar in dem Gedankenkreise derselben befangen und machte von ihr einen viel ausgiebigeren Gebrauch als De CandoUe; noch schlimmer aber war, daß ihn seine höchst mangelhafte chemische Bildung auf die grob materialistische Annahme einer Lebensmaterie verfallen ließ (l. c. I. p. 6). Diese Lebensmaterie sei jenes halbflüssige Wesen, welches man durch Kochen und Fäulniß aus allen belebt gewesenen Körpern erhalte. Sie entstehe zwar aus den Elementen, sei aber selbst der eigentliche Elementarstoff, mit dem es die Physiologie allein zu thun habe; sie sei dem Thier- und Pflanzenreich gemeinschaftlich, am reinsten zeige sie sich in Form von Schleim, Eiweiß und Gallert; da Thiere und Pflanzen gleichmäßig aus dieser Lebensmaterie bestehen, so erkläre sich, warum die Pflanzen den Thieren und umgekehrt, die Thiere den Pflanzen zur Nahrung dienen. Im weiteren Verfolg von Treviranus' Ernährungslehre zeigt sich nun, daß eine ähnliche schmierige Substanz, welche die Chemiker den Extraktivstoff des Bodens nannten, und den auch allerdings viele Chemiker für einen wesentlichen Nährstoff der Pflanzen hielten, die eigentliche Nahrung der Pflanzen darstelle. Der Extraktivstoff des Bodens war also die Lebensmaterie, welche die Pflanzen aufsaugen; es war natürlich daß Treviranus auf die Kohlensäurezersehung in den Blättern kein weiteres Gewicht legte, um so mehr, als er den chemischen Zusammenhang alles dessen, was Ingen-Houß, Senebier und Saussure geleistet, nicht verstand. Die Mitwirkung des Lichts zur Ernährung der Pflanzen erklärte er für eine bloß „formelle Bedingung“ und die im Bodenwasser gelösten Salze waren ihm Reizmittel für die Wurzelenden, die sich dadurch in „Lebensturgese-

cenz“ verfezt fühlten, und da für Treviranus die Blattfunktionen, wie Malpighi und Gales sie geahnt, Ingen-Houß, Senebier und Saussure sie bewiesen hatten, nicht existirte, so fand nach ihm auch die Assimilation des Bodensaftes einfach unterwegs statt, während er die Pflanze aufsteigend und absteigend durchströmte. Es läßt sich, wie man sieht, Nichts kläglicheres denken, als diese Ernährungstheorie; sie wäre schlecht gewesen am Ende des 17. Jahrhunderts, sie war ein unbegreiflicher Rückschritt dreißig Jahre nach Saussure's Werk.

Im Einzelnen ist Vieles besser in Meyen's Ansichten über die chemischen Vorgänge bei der Ernährung der Pflanzen; vor Allem weiß er aus den früheren Versuchen zu folgern, daß die mit dem Wasser in die Wurzeln eintretenden Salze nicht bloß Reizmittel, sondern Nahrungstoffe sind und, wie schon erwähnt, wußte er sich die Sauerstoffathmung der Pflanzen nach Saussure's Beobachtung trefflich zurecht zu legen; aber auch ihm war die Kohlenstoffassimilation der Stein des Anstoßes; wie so Vielen vor und nach ihm, wurde auch ihm das Verständniß verwirrt durch die simple Thatsache, daß es sich sowohl bei der Ernährung, wie bei der Athmung der Pflanzen um gasförmige Stoffe handelt; indem er beide Vorgänge als Respirationprocessse in einen Topf warf, schien ihm die Sauerstoffathmung als die allein wichtige und begreifliche Funktion; während ihm die Kohlen säurezersehung am Licht unnöthig, für den Haushalt der Pflanze gleichgiltig erschien; statt eine einfache Rechnung anzustellen, ob die anscheinend so geringe Menge der atmosphärischen Kohlen säure nicht doch vielleicht ausreiche, um die Vegetation mit Kohlenstoff zu versehen, erklärt er sie einfach für ungenügend, und weil Pflanzen in sterilem Boden mit kohlen saurem Wasser begossen nicht gedeihen wollten, war es mit der Bedeutung der Kohlen säure vorbei. Auch ihm war die von den Chemikern unterdessen ausgebildete Humustheorie bequemer; wie Treviranus ließ auch er den gesammten Kohlenstoff der Pflanzen aus Bodenextrakt sich absetzen, ohne auch nur die hier einschlägigen Thatsachen sich genauer anzusehen; daß ein Bege-

tationsboden durch die Pflanzen nicht ärmer, sondern reicher an Humus wird, leugnete Meyen ausdrücklich. Es versteht sich nun von selbst, daß alles, was Treviranus und Meyen über die chemische Seite der Pflanzenernährung etwa sonst noch im Einzelnen richtig zu sagen wußten, doch für eine Gesamtauffassung der Ernährungsvorgänge völlig werthlos blieb, da die Cardinalpunkte der gesammten Ernährungstheorie der Pflanzen: die Herkunft des Kohlenstoffs derselben, die Mitwirkung des Lichts und der Atmosphäre durchaus verkannt waren. Das Beste, was Ingen-Houß, Senebier und Saussure geleistet hatten, war so für die deutschen Pflanzenphysiologen völlig abhanden gekommen.

6.

Feststellung des Nahrungsmaterials der Pflanzen.

1840 — 1860.

Im vorigen Abschnitt zeigte sich bereits, wie schon im Lauf der dreißiger Jahre Ansichten hervortraten, welche geeignet waren, die Annahme der Lebenskraft wenigstens bei der Erklärung einzelner wichtiger Vegetationserscheinungen als überflüssig erscheinen zu lassen: so die Erklärung der Eigenwärme durch chemische Vorgänge, die der Saftbewegung durch Diöziose; auch auf dem Gebiet der Chemie, wo noch 1827 Berzelius die organischen Stoffe als die unter dem Einfluß der Lebenskraft gebildeten von den unorganischen unterschieden hatte, brach sich schon im Lauf der dreißiger Jahre die Ansicht Bahn, daß ein derartiges Eingreifen der Lebenskraft zurückzuweisen sei, da es wiederholt gelang, organische Verbindungen auf künstlichem Wege aus unorganischem Material, also ohne die Hilfe der Lebenskraft zu erzeugen. Ueberhaupt lag es in der nunmehr zur Geltung kommenden, gegen die frühere Naturphilosophie sich kehrenden Richtung, die mit dem Begriff der Lebenskraft verknüpfte Unklarheit abzuweisen und dem Gedanken Geltung zu verschaffen, daß die chemischen und physikalischen Geseze außerhalb wie innerhalb der Organismen in gleicher Weise gültig sind und von den hervorragenderen Vertretern

der Naturwissenschaft wurde dieser Gedanke seit 1840 wie ein Axiom, wenn auch nicht immer ausgesprochen, so doch bei jedem Erklärungsversuch physiologischer Erscheinungen zu Grunde gelegt.

Von dieser Seite her also war der geistigen Bewegung schon vor dem Jahre 1840 eine freiere Bahn geöffnet, und wie auf dem Gebiet der Morphologie und Phytotomie um diese Zeit die streng inductive Forschung, vor Allem die Feststellung der Thatsachen und eine strengere Handhabung der Logik gefordert wurde, so geschah dasselbe auch auf dem Gebiet der Ernährungslehre. Hier handelte es sich aber zunächst weniger darum, neue Thatsachen zu entdecken, als vielmehr das bereits Bekannte, das, was Ingen-Houff, Senebier und Saussure geleistet, richtig zu würdigen und es von all den Verirrungen der letzten Jahrzehnte zu befreien. Die Hauptvertreter der Pflanzenphysiologie, De Candoile, Treviranus, Meyen u. A. hatten sich die Aufgabe erschwert, indem sie die einzelnen Fragen der Ernährungsphysiologie, zumal die chemischen von den mechanischen nicht streng genug sonderten; über einem ganz überflüssigen Wüsth von Nebendingen war die nächstliegende Frage: aus was für Stoffen denn überhaupt die Nahrung der Pflanzen bestehe, mehr nebensächlich behandelt worden, und durch die von den Chemikern und Landwirthen ausgebildete Humustheorie, die sich bei Treviranus u. A. so leicht in die Lehre von der Lebenskraft einreihen ließ, wurde die Sache vollends verdorben. Es war Liebig's großes Verdienst, diese Unklarheiten und all den überflüssigen Ballast, der sich an die Frage nach den Nährstoffen der Pflanze nach und nach angehängt hatte, zu beseitigen und die hier in Betracht kommenden Fragepunkte vollkommen klar zu legen; war dieß einmal geschehen, so verstand sich ihre Beantwortung fast von selbst, denn die vorliegenden Erfahrungen lieferten dazu genügendes empirisches Material. Manche sich hierbei ergebenden tiefer in das Einzelne eindringenden Fragen erforderten dagegen neue, ausgedehnte experimentelle Untersuchungen, welche im Lauf der vierziger und fünfziger Jahre an Boussingault ihren fruchtbarsten und befähigsten Bearbeiter fanden.

Bevor wir jedoch auf eine nähere Betrachtung der Leistungen Liebig's und Boussingault's eingehen, mag zur Charakteristik der Schwankung, welche die Ansichten in den Jahren vor und nach 1840 erfuhren, noch einer anderen Literatur-Erscheinung gedacht werden. Ein ungenannter „Freund der Wissenschaft“ hatte 1838 der Göttinger Akademie einen Preis für die Beantwortung der Frage zur Verfügung gestellt: „ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanzen gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie denselben von außen nicht dargeboten werden; und ob jene Elemente so wesentliche Bestandtheile des vegetabilischen Organismus sind, daß dieser sie zu seiner völligen Ausbildung durchaus bedarf.“ Der erste Satz dieser Frage erscheint uns jetzt geradezu unsinnig, insofern er die Möglichkeit zuläßt, daß Elementarstoffe überhaupt entstehen, und daß speciell gewisse Elemente in den Pflanzen entstehen sollen, eine Annahme, die noch ganz in den Gedankenkreis der Naturphilosophie und Lebenskraft gehört. Es war den Verfassern der gekrönten Preisschrift: Wiegman und Polstorff (1842), zwei Männern der neueren Richtung, nicht schwer, diesen ersten Theil der Frage zu verneinen, um so mehr, als die Beantwortung des zweiten Theiles diese Verneinung bereits in sich schloß. Die zum Zweck der letzteren von Wiegman und Polstorff angestellten Untersuchungen waren in durchaus verständiger Weise eingeleitet, wenn sie auch immerhin noch von der Annahme ausgingen, daß ein gewisses Quantum humusfaurer Verbindungen in den Nahrungsgemenge nicht fehlen dürfe. Ihre viel zweckmäßiger, als alle früheren, durchgeführten Vegetationsversuche, zeigten schlagend, daß die Aufnahme der Aschenbestandtheile zur normalen Ernährung der Pflanzen nothwendig ist und zugleich ließen es sich die Verfasser angelegen sein, eine Reihe anderer Ernährungsfragen in den Kreis ihrer Betrachtung zu ziehen, wobei sich jedoch bereits der Einfluß von Liebig's unterdessen erschienenem Buch geltend machte.

Es war dieß die 1840 zuerst erschienene, später noch vielfach neu aufgelegte und erweiterte Schrift: „Die organische

Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie.“ Schon der Name des Autors, des hervorragendsten Chemikers Deutschlands, ließ erwarten, daß hier die Ernährungsfragen in einer ganz andern Form, als bisher würden behandelt werden und diese Erwartung wurde nicht nur nicht getäuscht, sondern noch weit übertroffen durch die Neuheit und Kühnheit, mit welcher Liebig die wichtigsten Punkte der Ernährungstheorie beleuchtete, das principiell Wichtige herausgriff und unbekümmert um alles Herkommen das Nebensächliche und Unbedeutende, was die Frage bisher nur verwirrt hatte, ganz außer Acht ließ. Dazu kam, daß sich Liebig gerade in den wichtigsten Punkten auf längst bekannte Thatsachen stützen konnte und daß er dieselben nur mit dem Licht seines chemischen Wissens zu beleuchten brauchte, um an die Stelle des bisherigen Dunkels, plötzlich Klarheit treten zu lassen. Seiner Hauptabsicht entsprechend, die organische Chemie und Pflanzenphysiologie der Agricultur dienstbar zu machen, richtete Liebig die Schärfe seiner Kritik zunächst gegen die bisher von den Chemikern und Landwirthen ausgebildete, von verschiedenen Pflanzenphysiologen unbedachtsam angenommene Humustheorie; sie mußte vor Allem beseitigt sein, wenn die Frage beantwortet werden sollte, aus welchen Stoffen die Nahrungssubstanz der Pflanzen besteht; denn die Humustheorie war nicht nur unrichtig, sondern viel schlimmer als das, sie war das Produkt einer Gedankenlosigkeit, welche die ganz offen daliegenden Thatsachen übersah; Liebig zeigte, daß der sogenannte Humus durch die Vegetation nicht nur nicht vermindert, sondern beständig vermehrt wird, daß der vorhandene zur Ernährung einer kräftigen Vegetation auf die Dauer gar nicht hinreichen würde und daß er von Pflanzen überhaupt nicht aufgenommen wird. War dies einmal festgestellt, und Liebig's Berechnungen ließen darüber keinen Zweifel, so blieb eben nur eine einzige Quelle des Kohlenstoffs der Pflanze übrig: die atmosphärische Kohlensäure, von welcher eine sehr einfache, auf die eudiometrischen Ergebnisse gestützte Rechnung darthat, daß ihre Quantität auf undenkliche Zeiten hinaus für die Vegetation der gesammten Erde ausreicht.

Freilich ging Liebig in seinem Eifer viel zu weit, wenn er in der ächten Athmung der Pflanzen, weil dieselbe mit Kohlensäure-Aushauchung verbunden ist, etwas Widersinniges fand und die Thatsächlichkeit derselben einfach bestritt. Dagegen fand erst jetzt die von *Saussure* festgestellte Thatsache, daß mit dem Kohlenstoff zugleich die Elemente des Wassers assimilirt werden, ihre klare theoretische Beleuchtung. Besser als *Saussure* verstand es *Liebig*, die ganze Bedeutung dieser Thatsache für die Ernährungstheorie zu verwerthen. Doch waren es nicht diese gewichtigen Erwägungen, welche von den Anhängern und Gegnern *Liebig's* in erster Linie beachtet wurden; die praktische Tendenz seines Buches brachte es vielmehr mit sich, daß sich die Diskussion, welche dasselbe zumal bei Chemikern und Landwirthen hervorrief, vorwiegend um die Frage nach der Herkunft des Stickstoffs der Pflanzensubstanz drehte. Wie den Kohlenstoff, so ließ die bisherige Humustheorie auch den Stickstoff in Form organischer Verbindungen in die Pflanzen eintreten. *Saussure* hatte zwar in seinem grundlegenden Werk 1804, wie wir sahen, das Ammoniak als eine Stickstoffverbindung genannt, welche mit in Betracht gezogen werden könne, ohne jedoch zu einer bestimmteren Entscheidung zu gelangen. Von ganz anderen Gesichtspuncten ausgehend, gestützt auf seine eigenen Untersuchungen über die Natur des Stickstoffs und seiner Verbindungen, kam dagegen *Liebig* zu dem Resultat, daß das Ammoniak in letzter Instanz die einzige Quelle des Stickstoffs der Pflanzensubstanz sein müsse und daß das Ammoniak in der Atmosphäre und im Boden vollkommen hinreiche, um die Vegetation mit genügenden Stickstoffmengen zu versehen, gerade so, wie die atmosphärische Kohlensäure zuletzt die einzige Quelle alles Kohlenstoffs der Pflanzen ist; und so kam *Liebig* zu dem Schluß: „Kohlensäure, Ammoniak und Wasser enthalten in ihren Elementen die Bedingungen zur Erzeugung aller Thier- und Pflanzenstoffe während ihres Lebens. Kohlensäure, Ammoniak und Wasser sind die letzten Produkte des chemischen Processes ihrer Fäulniß und Verwesung.“

Weniger glücklich, unseres Bedünkens, war wenigstens in der

Form der Darstellung, was Liebig über die Nothwendigkeit und specifische Bedeutung der Aschenbestandtheile für die Ernährung der Pflanze sagt. Statt den Nachdruck auf die experimentelle Beantwortung der Frage zu legen: welche Bestandtheile der Asche sind für das Gedeihen einer oder aller Pflanzen absolut unentbehrlich, verlor sich Liebig hier in geistreiche chemische Theorien, welche über die Bedeutung der unorganischen Basen für die Bindung der Pflanzensäuren Auskunft geben sollten, über die gegenseitige Ersetzbarkeit verschiedener Basen u. s. w.

Es ist für unsern Zweck nicht nöthig, den Anwendungen zu folgen, welche Liebig von seinen theoretischen Betrachtungen auf die Agricultur machte und noch viel weniger brauchen wir uns hier mit dem ungeheuren Aufsehen und den Diskussionen zu befassen, welche Liebig's Werk unter praktischen und theoretischen Landwirthen und Agriculturchemikern hervorrief. Keiner und bestimmter, als auf diesen Gebieten trat der wissenschaftliche Gewinn von Liebig's Betrachtungen über die Ernährung der Pflanzen bei den Pflanzenphysiologen hervor; für diese kamen ganz vorwiegend die oben hervorgehobenen Punkte in Betracht. Zwar rief Liebig's Werk auch hier lebhaften Widerspruch hervor und gerade die beiden Hauptvertreter der Pflanzenphysiologie im Anfang der vierziger Jahre, Schleiden und Mohl, traten mit schonungsloser Kritik gegen ihn auf, die zum Theil jedenfalls durch die eigenthümliche Beweisführung Liebig's, durch die den Botanikern ganz ungewohnte deduktive Behandlung physiologischer Fragen hervorgerufen war; außerdem aber hielten es beide für ihre Pflicht, den ehrenrührigen Auslassungen Liebig's gegen die Pflanzenphysiologen entgegenzutreten. Diesen letzteren und den Botanikern hatte er nämlich die Verantwortung für den ganzen Nonsens der Humustheorie und ihrer Dependenz aufgebürdet, und mit Recht fragte Mohl, ob etwa Saussure, Davy, Carl Sprengel, Berzelius, Mulder, welche die Humustheorie begründet hatten, Botaniker seien. Ganz überflüssig aber war, daß Mohl, Schleiden u. A. sich durch Liebig's Vorwurf getroffen fühlten, insofern es sich um Pflan-

zenphysiologen von Fach handelte; sie waren das ebensowenig wie Davy, Berzelius oder Mulder. Pflanzenphysiologen von Fach, officielle öffentliche Vertreter der Pflanzenphysiologie gab es ja überhaupt nicht und damals wie jetzt wurde eben Jeder, der sich gelegentlich mit pflanzenphysiologischen Fragen beschäftigte, als Pflanzenphysiolog bezeichnet. Die Polemik lief in dieser Beziehung also auf einen Wortstreit hinaus, während Liebig, Mohl und Schleiden sich die schöne Gelegenheit entgehen ließen, dem Gedanken öffentlich Geltung zu verschaffen, daß es hohe Zeit sei, für eine so wichtige Disciplin endlich öffentliche officielle Vertreter anzustellen, die sich ihr ganz ausschließlich widmen konnten; wie sollte man von den Professoren der Botanik, von denen Regierung und Publikum die Förderung und Ueberlieferung der Systematik, nunmehr auch die der Phytotomie, zudem die der Pharmacognosie erwarteten, und denen die Verwaltung botanischer Gärten einen guten Theil ihrer Zeit raubte, eine energische Förderung der Pflanzenphysiologie erwarten, die ihrerseits ausgedehnte physikalische und chemische Studien verlangt, und wo waren denn die Laboratorien und die Instrumente zum fachmäßigen Betrieb der Pflanzenphysiologie? Dieß Alles wurde nicht angeregt und so blieb es denn einstweilen bei altem Herkommen.

In der Sache selbst bezog sich übrigens die von Mohl, Schleiden, verschiedenen Agriculturchemikern u. dgl. gegen Liebig erhobene Polemik mehr auf Nebendinge, zu denen auch das gerechnet werden konnte, daß Liebig von den anatomischen Verhältnissen der Pflanze so gut wie Nichts verstand. Denn Hauptsache war, daß er die schiefen Ansichten über die wahre Natur der Pflanzennahrung zurecht gerichtet, grobe Irrthümer abgewiesen, das principiell Wichtige vom Unbedeutenden gesondert hatte. Daß ihm dieß vollkommen gelungen war, zeigt die gesammte Literatur über die Pflanzenernährung nach 1840; auch die erwähnten Streitschriften standen in der Hauptsache auf dem von Liebig geklärten Boden. Auf einmal wußten jetzt Alle, welche Bedeutung die Kohlen säurezersehung in grünen Pflanzen-

theilen habe, daß die Aschenbestandtheile für die Vegetation nicht bloß ein Gewürz sind u. dergl. m.; für Alle war in diesen Dingen ein fester Boden gewonnen, eine Anzahl von wissenschaftlichen Sätzen zum dauernden Gemeingut geworden; das schloß freilich nicht aus, daß es nunmehr für die Andern ein Verdienst war, die übrigen von Liebig aufgestellten Theorieen zu prüfen, z. B. seinen großen Mißgriff Betreffs der Athmung der Pflanzen zu corrigiren, was Mohl mit Nachdruck that.

Es ist bei den hier verfolgten Aufgaben weder möglich noch thunlich, auf alle die Einzelheiten einzugehen, welche in Folge der von Liebig gegebenen Anregungen nunmehr bis in die sechziger Jahre hinein diskutirt wurden, zumal alles das, was über die ersten Assimilationsprodukte in den Pflanzen und ihre etwaigen weiteren Metamorphosen durch den Stoffwechsel zur Sprache kam: ob die basischen Mineralbestandtheile nur wesentlich zur Bindung von Pflanzen Säuren dienen, ob diese letzteren die ersten Produkte der Assimilation sind, oder ob diese sofort Kohlenhydrate erzeugt u. s. w. mehr bloße Vermuthung, Deduktion und Combination blieb, die sich auf sichere Beobachtungen und geeignete Methoden nicht stützte; erst nach 1860 wurden in dieser Richtung neue Wege eingeschlagen und Resultate von Belang erzielt. Viel wichtiger war in jener Zeit für den Fortschritt der Wissenschaft die weitere Bearbeitung der Frage nach der Herkunft des in den Pflanzen assimilirten Stickstoffs; eine definitive Entscheidung hierüber war um so nöthiger, als Liebig's Deduktionen noch manchen Zweifeln Raum gaben und gerade der berühmteste Vertreter der Pflanzenphysiologie, Theodor de Saussure, in seinen alten Tagen den Fehler beging, sich zum Vertheidiger der Humustheorie Liebig gegenüber aufzuwerfen und die Behauptung aufzustellen (1842), daß das Ammoniak oder salpetersaure Salze nicht selbst Nahrungsmittel der Pflanze sind, sondern nur zur Auflösung des Humus dienen. Auch Andere konnten sich schwer von der alten, liebgewordenen Humuslehre ganz lossagen; wenn man sich auch, wie Mohl, der Wahrnehmung nicht verschloß, daß der Kohlenstoff der Pflanzen der Hauptsache nach aus der

Atmosphäre allein stammt, so glaubte man doch dem Humus schon wegen seines Stickstoffgehaltes eine die Vegetation wesentlich begünstigende Rolle zuschreiben zu müssen. Unter solchen Umständen war es höchst verdienstlich, daß Boussingault, der sich schon vor dem Erscheinen von Liebig's Buch mit experimentellen und analytischen Untersuchungen über die Keimung und Vegetation, speciell auch mit solchen über die Herkunft des Stickstoffs in den Pflanzen beschäftigt hatte, diese Frage aufnahm. Seine 1837 und 1838 hierüber ausgeführten Vegetationsversuche waren ohne ganz durchschlagendes Resultat geblieben; Boussingault aber setzte seine Vegetationsversuche Jahre lang fort und bildete von Jahr zu Jahr die Untersuchungsmethoden weiter aus. Durch seine zwischen 1851 und 1855 angestellten zahlreichen Experimente wurde endlich mit aller Sicherheit das Ergebniß festgestellt, daß die Pflanzen nicht im Stande sind, den freien Stickstoff der Atmosphäre zu assimiliren, daß man dagegen eine normale und kräftige Vegetation erzielt, wenn ihnen der Stickstoff in Form von salpetersauren Salzen dargeboten wird. Diese Vegetationsversuche Boussingault's lehrten zugleich, daß es möglich ist, in einem Boden, dem durch Ausglühen jede Spur organischer Substanz entzogen worden ist, dem man aber außer den Aschenbestandtheilen ein salpetersaures Salz zusetzt, eine normale Ernährung der Pflanzen zu erzielen; wodurch zugleich bewiesen war, daß der gesammte Kohlenstoffgehalt solcher Pflanzen ausschließlich aus der atmosphärischen Kohlensäure stammt, und daß die Mitwirkung des Humus dabei ganz überflüssig ist, daß also die günstige Wirkung eines humusreichen Bodens auf die Vegetation ganz andere Ursachen haben müsse, als die von der Humustheorie früher angenommenen. Es ist unmöglich, Boussingault's weitere Verdienste um die Ernährungstheorie der Pflanzen hier zur Sprache zu bringen, da sie sich zum Theil auf Spezialitäten beziehen, die besten und wichtigsten derselben aber erst nach 1860 publicirt worden sind, und deßhalb nicht mehr in den Rahmen unserer Geschichte gehören. Das aber ist hervorzuheben, daß Boussingault als der Be-

gründer der neueren Methoden. Ernährungsversuche anzustellen, genannt werden muß. Wie kläglich die Art und Weise war, in welcher man nach Saussure bis in die dreißiger Jahre hinein Vegetationsversuche im Interesse der Ernährungstheorie anzustellen pflegte, darüber hatte sich bereits Liebig drastisch genug ausgesprochen, ohne jedoch selbst bessere Methoden einzuführen; dies aber that Boussingault; um nur Eins z. B. hervorzuheben, hatten sich diejenigen, welche die Humusfrage experimentell entscheiden wollten, wie z. B. Hartig im Einverständniß mit Liebig u. A. gewöhnlich damit befaßt, den Pflanzen humusfaure Verbindungen darzubieten und zu sehen, was nun daraus entstehen würde. Boussingault machte es hier wie Columbus mit dem Ei: er zwang einfach die Pflanzen ohne jede Spur von Humus in einem künstlich bereiteten Boden und Nährstoffgemenge sich zu ernähren, um so unwiderleglich zu zeigen, daß sie des Humus nicht bedürfen.

In ähnlicher Weise wie Boussingault experimentirte auch in Deutschland der Fürst Salm-Horstmar, der sich vorwiegend mit der Frage beschäftigte, welche Bedeutung die einzelnen Säuren und Basen der Asche für die Ernährung der Pflanzen haben, ob einzelne derselben entbehrlich sind und welche die Pflanze nothwendig aufnehmen muß; Fragen die indessen erst im Lauf der sechziger Jahre ihrer Erledigung entgegengeführt wurden und zum Theil noch jetzt nicht entschieden sind.

Die Feststellung der Thatsache, daß chlorophyllhaltige Pflanzen die Gesamtmasse ihres Kohlenstoffs aus der atmosphärischen Kohlenäure beziehen, und daß diese auch für die nicht chlorophyllhaltigen Pflanzen und Thiere die ursprüngliche Quelle des Kohlenstoffs ist, daß ferner der in den Pflanzen assimilirte Stickstoff in Form von Ammoniak- oder salpetersauren Salzen aufgenommen wird und daß die Alkalien, alkalischen Erden in Form von schwefelsauren und phosphorsauren Salzen zur Ernährung der Pflanzen unerläßlich sind, halte ich für die Hauptergebnisse aller Bestrebungen auf dem Gebiet der Ernährungslehre in dem Zeitraum von 1840 — 1860, ohne damit behaupten zu wollen,

daß nicht schon Vieles angebahnt wurde, was erst nachher in den Vordergrund der Forschung trat.

Kaum nennenswerth sind dagegen die geringen Fortschritte, welche die Theorie der Saftbewegung der Pflanzen seit Dutrochet bis tief in die fünfziger Jahre hinein gemacht hat; doch war es ein Fortschritt, daß man die Endosmosenlehre nach und nach in ihrer physiologischen Bedeutung immer mehr schätzen lernte und daß die tiefere Begründung und die genauere Kenntniß der osmotischen Vorgänge nach und nach eine mehr in's Einzelne gehende Erklärung der Stoffbewegung ermöglichte, wenn auch noch keineswegs ein genügender Abschluß erzielt wurde; als eine Entdeckung von großem Belang ist hier aber vor Allem auf die 1857 von Hofmeister constatirte Thatsache hinzuweisen, daß dieselbe Erscheinung, welche man seit Jahrhunderten an der Weinrebe und an einigen Bäumen, später auch an den Agaven und an manchen Schlingpflanzen der Tropen unter dem Namen des Thränens oder Blutens kannte, und welche man auf gewisse Vegetationsperioden beschränkt glaubte, nicht nur allen mit ächten Holzzellen versehenen Gewächsen zukommt, sondern an diesen auch durch geeignete Mittel zu jeder Zeit hervorgerufen werden kann. Diese Verallgemeinerung war für die weitere Erforschung des Thränens selbst von großer Bedeutung.

Am schlimmsten sah es auch in dieser Periode noch mit der Lehre vom absteigenden Saft aus; auch jetzt noch berief man sich in dieser Beziehung immer wieder auf Experimente von derselben Art, wie bereits Malpighi, Du Hamel und Cotta sie angestellt hatten, Experimente, die im Grunde gar Nichts anderes bewiesen, als daß bei dikotylen Holzpflanzen überhaupt eine von den Blättern bereitete Nahrung durch die Rinde abwärts geführt wird. War jedoch einmal erkannt, daß alle organische Substanz ursprünglich in den Blättern entsteht, woran seit 1840 Niemand zweifeln konnte, so verstand es sich auch ohne solche Experimente von selbst, daß die zum Wachsthum der Wurzeln, wie der Knospen und Früchte

nöthigen Bildungstoffe aus den Blättern dorthin geleitet werden müssen. Die Frage konnte gar nicht mehr sein, ob überhaupt eine derartige Bewegung assimilirter Stoffe stattfindet, vielmehr trat jetzt die neue Frage heran, welche Gewebeformen diese Fortleitung vermitteln und von welcher Natur die in den Blättern erzeugten und in den übrigen Organen fortgeleiteten Substanzen sind. Beide Fragen ließen sich der Organisation der Pflanze entsprechend wesentlich nur auf mikrochemischem Wege entscheiden, ein Weg, der jedoch erst seit 1857 betreten und dann weiter ausgebildet wurde. Ueber die chemischen Verbindungen, welche durch die Assimilation in den Blättern zuerst erzeugt werden, wußte man, wie schon erwähnt, auch in den vierziger und fünfziger Jahren nichts Gewisses; De Candolle hatte, wie wir sahen eine gummiartige Substanz als primären Bildungsfaß daselbst entstehen lassen, aus welchem sich nun in den verschiedenen Gewebeformen die verschiedensten anderen Pflanzenstoffe abscheiden sollten. Theodor Hartig der sich in den fünfziger Jahren durch seine Untersuchungen über die Stärke im Holz der Bäume, das Klebermehl in den Samen, durch die Entdeckung der Siebröhren, durch Beobachtung des Wassergehaltes der Hölzer in verschiedenen Jahreszeiten und durch verschiedene andere Beiträge verdient gemacht hatte, beschäftigte sich auch mit der Theorie des absteigenden Saftes, den er sich als einen formlosen Urschleim dachte, aus welchem ähnlich, wie aus De Candolle's Gummi, unterwegs die verschiedensten anderen Pflanzenstoffe sich absetzen. „In den Blättern, sagt Hartig bot. Zeitung 1858 p. 341, wird der rohe Nahrungsfaß zu primitivem Bildungsfaß umgewandelt,“ und ferner „die Bildung der festen Reservestoffe (aus jenem) kann nicht ohne Abscheidung bedeutender Mengen wässriger Flüssigkeit geschehen.“ Die gelegentlichen Bemerkungen der verschiedensten Pflanzenphysiologen in den vierziger und fünfziger Jahren beweisen, daß ähnliche Vorstellungen von der Bildung eines derartigen Urschleims in den Blättern allgemein verbreitet waren.