I.

Ein Beitrag zur Kenntnifs der Ernährungsthätigkeit der Blätter.

Von

Julius Sachs.

Bei den hier zu beschreibenden Untersuchungen verfolgte ich den Zweck, die Stärkebildung im Chlorophyll der Blätter und das Verschwinden dieses Assimilationsproduktes unter normalen Vegetationsbedingungen kennen zu lernen, also bei Pflanzen, welche, im freien Lande eingewurzelt, zu kräftiger Entfaltung gelangen und dabei ebenso der Gunst wie der Ungunst des Wetters in jeder Weise ausgesetzt sind.

Die Untersuchungen wurden im Laufe des Juni, Juli und August, einige ergänzende auch Anfang Oktober 1883 gemacht; es gab abwechselnd große Hitze bei kräftigem Sonnenschein; dann trübes Wetter und Regen; wiederholt traten starke Depressionen der Temperatur ein; das war jedoch kein Hinderniß, sondern gerade für meinen Zweck erwünscht.

Manche der gewonnenen Ergebnisse können als feststehend betrachtet werden und scheinen mir nicht ohne Belang; daneben theile ich aber auch gelegentliche Wahrnehmungen oder noch unvollendete Untersuchungen mit, die ich einstweilen aus Mangel an Zeit und geeignetem Pflanzenmaterial nicht weiterführen konnte. Vor allem war es eben nöthig, sich auf diesem vielversprechenden Gebiete erst einmal zu orientiren, zu sehen, was sich machen läßt, ganz besonders aber geeignete Beobachtungsmethoden zu finden, und ihre Brauchbarkeit zu probiren.

Um weiterhin nicht immer binäre Namen benutzen zu müssen, will ich hier sogleich die Pflanzenspezies nennen, mit denen ich mich näher befaßt habe; es wird dann genügen, im Text nur die Gattungsnamen in Kürze anzugeben; es handelt sich um folgende Arten:

Helianthus annuus.	Nicotiana Tabacum.	Aesculus Hippocastanum.
Phaseolus multifl.	Atropa Belladonna.	Catalpa Bungei.
Cucurbita Pepo.	Tropaeolum majus.	Morus alba.
Humulus Lupulus.	Juglans regia.	Ampelopsis quinquefolia.
Datura Stramonium.	Vitis Labrusca.	Aristolochia Sipho.
Solanum tuberosum.	Populus Simoni.	Rheum officinale.
	Beta cycla.	

Es sind also Dikotylen der verschiedensten Familien; die Monokotylen und Kryptogamen habe ich aus verschiedenen Gründen einstweilen ausgeschlossen.

§ 1. Die Jodprobe.

Wenn man, wie ich es vor 22 Jahren that, die Stärke im Chlorophyll mikrochemisch aufsucht, und dabei die jetzt längst allgemeiu bekannte Methode anwendet, so kanu man entscheiden, ob die Chlorophyllkörner überhaupt Stärke enthalten oder uicht; auch ist es möglich, zu erkennen, ob viel oder wenig Stärke vorhanden, ob unter Umständen eine Vermehrung oder Verminderung eingetreteu ist. Allein die Untersuchung ist sehr zeitraubend, wenn es darauf ankommt, eine übersichtliche Vorstellung von dem Stärkegehalt zahlreicher, zumal größerer Blätter zu gewinnen, denn es steht ja nicht im voraus fest, daß alle Theile eiues umfangreichen Blattes zur selben Stunde gleichen Stärkegehalt zeigen müssen, und daß verschiedene Blätter derselben Pflanze zur selben Zeit sich gleichartig verhalten; aber gerade darüber wollte ich Gewißheit haben.

Manche sehr wichtige Fragen der Ernährung finden eine genügende Beantwortung schon dann, wenu mau nur mit Bestimmtheit konstatiren kann, ob überhaupt Stärke im Mesophyll vorhandeu ist oder nicht, ob eine deutliche Vermehrung oder Verminderung derselben stattgefunden hat; es ist durchaus nicht immer nöthig, Zahlen angeben zu können, weiterhin werde ich freilich zeigen, daß auch das Gewicht der durch Assimilation gewonnenen oder der aus den Blättern verschwundenen Stärke auf sehr einfachem Wege gefunden werden kann. Es kommt also zunächst darauf an, die Stärke in den Blättern makroskopisch nachzuweisen, wie ich es seit langer Zeit zum Zweck der Demonstration in Vorlesungen zu thun pflege, wobei es ja unbenommen bleibt, jederzeit auf mikroskopischem Wege etwaige Zweifel zu lösen.

Kocht man grüne, frisch geerntete Blätter etwa 10 Minuten lang in Wasser, so wird der größte Theil der im Wasser löslichen Stoffe extrahirt, ohne daß das Gefüge des Blattgewebes allzusehr leidet; man kann die Blätter, oder größere Stücke derselben nach dem Kochen noch bequem als feste Lamellen mit der Pincette herausheben, ohne daß sie zerreißen, was für meinen Zweck durchaus nöthig ist.

Der Farbstoff des Chlorophylls bleibt bekanntlich bei dem Kochen im Blatt, gewöhnlich sogar ändert sich der Farbenton nicht einmal; uur wenn gewisse Pflanzensäuren in den Blättern vorhanden sind, wie bei Vitis, Oxalis, Rheum u. a., verändert sich die Färbung des Chlorophylls, was aber für uns hier ohne Bedeutung bleibt.

Legt man nun die gekochten Blätter in starken Alkohol (96%), so wird der Farbstoff des Chlorophylls ausgezogen und mit ihm zugleich alle anderen Stoffe, welche in Alkohol löslich sind.

Das Blatt wird also im wesentlichen von den Stoffen befreit, welche in kochendem Wasser und in Alkohol überhaupt löslich sind. Das Blattgewebe ist demnach hinreichend gereinigt, um die nun folgende Jodreaktion auf Stärke ungehindert durch andere Stoffe deutlich hervortreten zu lassen.

Die gekochten Blätter entfärben sich im Alkohol gewöhnlich vollständig und erscheinen dann weiß wie gewöhnliches Papier, so z. B. bei Tropaeolum, Helianthus, Solanum, Cucurbita, Datura, Phaseolus u. a.; in manchen Fällen, besonders wie es scheint bei Holzpflanzen, und wie ich vermuthe in Folge der Gegenwart größerer Gerbstoffmengen, bleiben die Blätter nach der Extraktion braun und sind dann für manche Zwecke der Jodreaktion nicht geeignet.

Es ist leicht wahrzunehmen, daß die Extraktion des Chlorophylls unter dem Einfluß direkten Sonnenlichtes viel rascher vor sich geht, als im Schatten; offenbar vorwiegend infolge der starken Erwärmung durch die Sonnenstrahlen; ich habe daher, um rasch zum Ziel zu gelangen, was bei manchen Beobachtungen durchaus nöthig ist, das Verfahren eingeschlagen, den Alkohol auf 50—60° C. zu erwärmen, indem ich das Gefäß in heißes Wasser stellte; die vollständige Entfärbung der Blätter geht dann oft in wenigen Minuten vor sich, und ist jedenfalls in 15—30 Minuten vollendet.

Bei Blättern von lederartiger Konsistenz, wie denen von Populus u. a., geht die Extraktion mit Alkohol sehr langsam vor sich, infolge der außerordentlich geringen Diffusibilität des grünen Farbstoffs, von der man sich auch sonst leicht überzeugen kann. In solchen Fällen, wo man 10—12 und mehr Stunden, selbst Tage verlieren würde, kann man dadurch zum Ziel gelangen, daß man dem kochenden Wasser einige Cubikcentimeter starker Kalilauge zusetzt, worauf dann die Extraktion im Alkohol binnen wenigen Stunden vollendet ist.

Die meisten Demonstrationen in Vorlesungen über Pflanzenphysiologie leiden an dem Übelstand, daß die betreffenden Vorgänge sehr langsam verlaufen und daher im Laufe einer Vorlesung nicht vollständig gezeigt werden können. Dies ist selbst bei der Extraktion des Chlorophylls aus Blättern der Fall. Es wird daher vielleicht Manchem willkommen sein, zu wissen, wie man diesen Vorgang binnen wenigen Minuten demonstriren kann: man benutzt am besten ausgewachsene Blätter von Tropaeolum, die man während der Vorlesung einige Minuten in kochendes Wasser steckt und dann in ein Gefäß mit heißem Alkohol überträgt; der grüne Farbstoff tritt dann sofort in den Alkohol über und nach 2—3 Minuten kann man das völlig entfärbte Blatt aus dem prachtvoll grünen Alkohol herausziehen, um es sodann, wenn erwünscht, binnen wenigen Minuten in einer starken alkoholischen Jodlösung durch die nun eintretende Jodreaktion völlig schwarz oder hellgelb erscheinen zu lassen, je nachdem man an einem kleinen Abschnitt des Blattes vorher schon den Stärkegehalt oder die Abwesenheit der Stärke festgestellt hat.

Bei Untersuchungen der Art, wie sie in Folgendem beschrieben werden, ist es zweckmäßig, größere Quantitäten von Alkohol zu verwenden; ich benutze Gefäße (Bechergläser) von 1—2 Liter Inhalt; auch muß, wenn man rasche und vollständige Entfärbung der Blätter wünscht, der Alkohol öfter erneuert werden, da er sich bei häufigem Gebrauch sehr bald mit Chlorophyll und anderen Extraktivstoffen sättigt, also unwirksam wird.

Die extrahirten Blätter oder Blattstücke bringe ich nun in eine starke Jodlösung, von der ich 1—2 Liter in einem Glaszylinder mit eingeschliffenem Stopfen vorräthig halte. Ich verwendete anfangs eine Auflösung von Jod in Jodkalium, später jedoch ausschließlich eine alkoholische Jodlösung, die man am besten dadurch herstellt, daß man ein größeres Quantum Jod in starkem Alkohol auflöst und diesem dann soviel destillirtes Wasser zusetzt, bis die Flüssigkeit etwa die Farbe eines dunklen Bieres besitzt.

Die Blätter oder Blattstücke bleiben nun je nach Umständen eine halbe, oder 2—3 oder selbst mehr Stunden in der Jodlösung, d. h. solange, bis keine Farbenänderung mehr eintritt, denn es ist für unsere Zwecke nöthig, daß sich das Blattgewebe mit Jod vollständig sättigt.

Enthalten die untersuchten Blätter gar keine Stärke im Chlorophyll, so nehmen sie in der Jodlösung eine hellgelbe oder ledergelbe Färbung an; sind sie dagegen sehr reich an Stärke, so erscheint nach einiger Zeit das Mesophyll tief schwarz gefärbt, während (besondere Umstände abgerechnet) die Rippen sowohl, wie die im Mesophyll netzartig verzweigten dünnen Nerven farblos bleiben.

Die mit Jod gesättigten Blätter hebe ich nun mit der Pincette heraus und lege sie in einen mit reinem Wasser gefüllten weißen Porzellanteller, der am Fenster placirt ist. Auf dem weißen Untergrund hebt sich nun die Jodfärbung des Mesophylls völlig deutlich ab, und man ist im stande, zahlreiche Abstufungen der Jodfärbung, also auch des Stärkereichthums deutlich zu unterscheiden. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur Blätter der Kartoffel, der Sonnenrose, des Kürbis u. a. bei Sonnenaufgang und zu verschiedenen Tagesstunden der beschriebenen Behandlung zu unterwerfen, und sie sämmtlich in der angegebenen Weise im Wasser liegend zu besichtigen.

Nach meinen sehr zahlreichen Beobachtungen scheint es mir zweckmäßig, einige bestimmte Ausdrücke für die mit Jod gesättigten Blätter aufzustellen. Ich unterscheide folgende Färbungen der mit Jod gesättigten Blätter:

1. hellgelb oder ledergelb (keine Stärke im Chlorophyll).
2. schwärzlich (sehr wenig Stärke im Chlorophyll).
3. matt schwarz (reichlich Stärke).
4. kohlschwarz (sehr reichlich Stärke).
5. metallisch glänzend schwarz (Maximum des Stärkegehalts).

Ich will gleich hier bei dieser Gelegenheit eine Thatsache hervorheben, die zu weiteren Untersuchungen Anlaß geben dürfte. Es ist nämlich im Sommer eine gewöhnliche Erscheinung, daß Blätter, welche noch nicht das Maximum von Stärke enthalten, oder bereits einen Theil derselben verloren haben, auf der Oberseite nur schwärzlich oder braun erscheinen, während die Unterseite des Gewebes kohlschwarz oder selbst metallisch glänzend ist. Umgekehrt fand ich die Sache am 1. Oktbr. Abends 5 Uhr nach einem trüben, regnerischen Tage von 6—11° C., bei der Kartoffel, Datura, Phaseolus, Vitis Labrusca, Helianthus, Juglans und Populus, wo die Unterseite sehr wenig oder gar keine Stärke enthielt, während die Oberseite bei der Jodprobe kohlschwarz wurde.

Das beschriebene Verfahren, d. h. das Kochen in Wasser, die Extraktion in Alkohol und die schließliche Färbung in Jod werde ich künftighin der Kürze wegen einfach als »Jodprobe« bezeichnen, und ich bemerke ausdrücklich, daß, wenn im Texte gesagt wird, es sei die Jodprobe angewendet worden, darunter keineswegs die Jodreaktion allein, sondern immer das ganze beschriebene Verfahren gemeint ist.

Die so behandelten Blätter oder Blattstücke kann man beliebig lange in schwachem Jodalkohol aufbewahren, sie als Belege oder als Demonstrationsobjekte benutzen, und da es sich bei der Untersuchung gewöhnlich um die Frage handelt, ob eine Zu- oder Abnahme von Stärke eingetreten ist, so kann man immer die früher hergestellten Objekte mit den späteren bequem vergleichen, nur müssen dieselben vorher immer hinreichend lange in derselben Jodlösung gelegen haben.

Bei der Jodprobe, wo es immer auf völlige Sättigung der kleinen Stärkekörnchen im Chlorophyll mit Jod abgesehen ist, nehmen dieselben nicht die bekannte blaue, sondern eine tiefschwarze Färbung an, indessen kann man, wenn es erwünscht sein sollte, nicht selten auch nach der Jodprobe die blaue Färbung hervorrufen, wenn man die Blätter einige Stunden lang in einem mit Wasser gefüllten Teller offen liegen läßt.

Bevor ich auf die eigentliche Anwendung der Jodprobe bei meiner Untersuchung eingehe, ist es vielleicht nicht ganz überflüssig, zweier Thatsachen zu erwähnen, die man ebenfalls bei Vorlesungen zur Demonstration benutzen kann. Man kann z. B. die Jodprobe dazu benutzen, die völlige Abwesenheit der Stärke in solchen Blättern zu demonstriren, die sich im Finstern vollständig entwickelt haben und dann bekanntlich gelb gefärbt sind. Ich habe in meinem Buche: »Vorlesungen über Pflanzenphysiologie« p. 498 ein Verfahren abgebildet, durch welches man bei Cucurbita etiolirte Blätter von einer Größe, die sich von der normaler grüner Blätter kaum unterscheidet, gewinnen kann; es interessirte mich, speziell in diesem Falle zu wissen, ob sich nicht etwa, von den grünen Blättern derselben Pflanze ausgehend, Stärke in diesen großen etiolirten Blättern ansammelt. Die Jodprobe zeigt aber, daß sie immer völlig frei davon sind, selbst dann, wenn

sich in dem finstern Raum eine Frucht von einigen (bis zwölf) kg Gewicht bildet, d. h. also, wenn von den grünen Theilen her eine sehr beträchtliche, 6—8 Wochen dauernde Einwanderung von Assimilationsprodukten in den etiolirten Theil der Pflanze stattfindet.

Einen besonders ansprechenden und lehrreichen Vorlesungsversuch kann man mit panachirten Blättern jeder beliebigen Art anstellen, um zu beweisen, daß bei der Jodprobe die Stärke ausschließlich in denjenigen Theilen der Blätter entsteht, welche Chlorophyll enthalten. Diese Stellen färben sich, wenn die Blätter am Licht assimilirt haben, bei der Jodprobe schwarz, wogegen die im lebenden Blatt farblosen oder doch chlorophyllfreien (chlorotischen) Stellen farblos bleiben, also keine Stärke enthalten. Sehr geeignet sind zu einem derartigen Versuch die bunten Blätter von Coleus, bei denen eine unendliche Mannigfaltigkeit der grünen, farblosen, rothen, gelben und braunen Stellen zu finden ist, und da die Blätter sehr zart sind, so kann man sie rasch extrahiren und in kurzer Zeit die Jodprobe selbst in der Vorlesung anstellen. Besonders geeignet sind solche Coleusblätter, die einen weißen, breiten Rand haben.

Noch schönere Präparate, aber erst nach längerem Liegen in Jodlösung geben die panachirten lederartigen Blätter von Sanchezia und Codiaeum variegatum, die sich besonders ihrer Haltbarkeit wegen zu längerer Aufbewahrung für spätere Demonstrationen eignen.

Schließlich noch einige Bemerkungen über die Auswahl der Blätter für die zu beschreibenden Beobachtungen. Es ist im Folgenden überall nur von völlig ausgewachsenen, durchaus gesunden und fehlerfreien Blättern die Rede, von Blättern, die als fertige und vollkräftige Assimilationsorgane der Pflanze funktioniren; die Vergleichung junger und alter, kranker oder sonstwie abnormer Blätter war gänzlich ausgeschlossen. Um mit Gewißheit sagen zu können, daß dasselbe Blatt z. B. bei Sonnenaufgang keine Stärke enthält, Nachmittags aber damit erfüllt ist, daß dasselbe Blatt am Vormittag gewöhnlich weniger als am Nachmittag enthält, um sicher zu sein, ob die vorhandene Stärke erst vor einigen Stunden entstanden ist, oder nicht etwa vom vorigen Tage her noch restirt u. s. w., hat man ein sehr einfaches Mittel, wenn man Stücke desselben Blattes zu verschiedenen Zeiten abschneidet und sofort der Jodprobe unterwirft. Gewöhnlich genügt es, zwei Beobachtungen an einem Blatt zu machen, und mit Rücksicht auf die Symmetrie, die sich auch betreffs der Assimilation im Blatt geltend macht, schneide ich zuerst die eine Längshälfte des Blattes mit sorgfältigster Schonung der Mittelrippe ab; die andere Hälfte der Lamina bleibt an dem Stiel und in Verbindung mit der Pflanze, um erst später der Beobachtung unterzogen zu werden; die zurückbleibende Hälfte wird durch das Abschneiden der anderen in ihrer Ernährungsfunktion durchaus nicht gestört; sie kann wochen- und monatelang gesund und frisch bleiben.

Es wäre durchaus unzweckmäßig, zuerst etwa die vordere Hälfte mit der Spitze, und später das Basalstück mit dem Stiel abzuschneiden, um die Stärkeveränderungen desselben Blattes durch die Jodprobe kennen zu lernen. Vielfache Erfahrung zeigte mir nämlich, daß die Stärke oft in der Blattspitze noch reichlich vorhanden ist, während die Basis der Lamina sich schon entleert hat.

Bei zusammengesetzten oder gefiederten Blättern (Kartoffel, Juglans, Ampelopsis u. s. w.) nehme ich zur Vergleichung zuerst die Foliola von einer Seite der Mittelrippe, und später die Foliola der andern Seite, oder auch Hälften derselben Foliola.

Gewöhnlich könnte man sich auch damit begnügen, zu verschiedenen Tageszeiten ganze, an einem Sproß benachbarte Blätter zu untersuchen, da sich dieselben meist ganz gleichartig verhalten. Trotzdem ist die angegebene Vorsichtsmaßregel doch nicht überflüssig, denn es kommen Fälle vor, wie ich namentlich bei Tropaeolum majus wiederholt fand, wo ganz gleichartig aussehende Blätter eines und desselben Sprosses sich doch ganz verschieden verhielten: das eine war an Stärke reich zu derselben Zeit, wo das andere stärkearm oder selbst stärkefrei war; in solchem Falle könnten bei Nichtbeachtung der angegebenen Methode große Irrthümer stattfinden.

§ 2. Stärkegehalt der Blätter zu verschiedenen Tageszeiten und bei verschiedenem Wetter.

Die im Folgenden angegebenen Temperaturen wurden an einem, nicht weit von den Versuchspflanzen, an einem Baume aufgehängten sehr großen Alkoholthermometer abgelesen; dasselbe, an der Nordseite eines Birkenstammes angeschraubt, konnte nur Nachmittags während kurzer Zeit von der Sonne getroffen werden, die Temperaturangaben werden davon aber nicht berührt.

Da ich früher gefunden hatte, daß die Stärke aus dem Chlorophyll der Blätter verschwindet, wenn man die Pflanzen längere Zeit in einem finstern Raume oder im tiefen Schatten wachsen läßt, und ebenso aus einzelnen Stellen von Blättern, die man durch Auflegen von Stanniol oder Papier verdunkelt hat, so war selbstverständlich zu erwarten, daß die bei Sonnenaufgang im Garten abgeschnittenen Blätter bei Anwendung der Jodprobe sich ärmer an Stärke zeigen würden, als am vorhergehenden Abend. Das bestätigte sich nicht nur, sondern meine Erwartung wurde weit übertroffen durch die Wahrnehmung, daß bei einer größeren Zahl von Arten die am Abend vorhandene Stärke während der Nacht vollständig verschwindet, so daß die Blätter bei Sonnenaufgang völlig stärkefrei sind. So fand ich es zwischen dem 20. Juni und 4. Juli, wo die Nächte sehr warm waren, bei Helianthus, Solanum, Nicotiana, Cucurbita, Humulus, Datura, Atropa, Phaseolus, Juglans, Vitis, Populus, Aesculus.

Die Präzision, mit der die Entleerung der Blätter im Laufe der wenigen Nachtstunden stattfindet, ist in der That überraschend, nicht minder aber die Energie, womit schon in den frühen Morgenstunden nach Sonnenaufgang die Stärkebildung im Chlorophyll wieder eintritt. Zuweilen findet man Blätter, die bei Sonnenaufgang zwischen 4 und 5 Uhr Morgens gänzlich stärkefrei waren, schon 2—3 Stunden später sehr reich an Stärke.

Anders verhält es sich in kühlen Nächten; manche Arten lassen auch bei niedriger Temperatur die Stärke aus ihren Blättern verschwinden, während andere nur theilweise oder gar nicht entleert werden. Am 8. August nach einer kalten Nacht fand ich bei Sonnenaufgang und bei einer Lufttemperatur von 9° C. die Blätter von Helianthus, Solanum, Datura, Atropa, Aesculus völlig entleert, d. h. stärkefrei, nachdem sie am vorhergehenden Abend sich als sehr stärkereich erwiesen hatten.

In derselben Nacht waren dagegen die Blätter von Phaseolus, Ampelopsis, Aristolochia zwar viel ärmer an Stärke als am Abend, aber doch nicht ganz entleert. In solchen Fällen ist gewöhnlich die Basis der Blattspreite stärker entleert als die Spitze. Die Blätter von Dioscorea Batatas waren am Morgen ganz erfüllt mit Stärke, besonders auffallend trat die Verschiedenheit am 3. August Morgens 5 Uhr bei 8° C. hervor: Helianthus war ganz entleert. Catalpa und Morus zeigten dagegen ihre Blätter noch ganz mit Stärke erfüllt.

Zur Vergleichung mit dem Verhalten der Blätter bei trübem, regnerischem, kaltem Herbstwetter (Temp. zwischen 6 und 11° C.) führe ich noch folgende Beobachtungen an. Den 1. Oktober fand ich 5 Uhr Abends in den Blättern von Kartoffel, Datura, Phaseolus, Vitis Labr., Helianthus, Juglans, Populus auf der Oberseite viel Stärke, bei Kürbis, Taback, Tropaeolum aber das ganze Mesophyll damit erfüllt. — Am 2. Oktober früh 6 Uhr bei 6° C. aber zeigte sich keine merkliche Entleerung beim Taback, sehr unvollkommene Entleerung (schwarze Wolken im Mesophyll) bei Juglans, Datura, Atropa, Phaseolus; wogegen eine vollständige Entleerung stattgefunden hatte bei Cucurbita, Tropaeolum, Helianthus, Kartoffel, Vitis Labr., Populus.

Die während der Nacht entleerten Blätter bilden während des Tages von neuem Stärke, die sich bei günstiger, aber nicht allzu hoher Temperatur (15—25° C.) mehr und mehr anhäuft, so daß man im allgemeinen die Blätter am Vormittag noch stärkearm, am Nachmittag stärkereich, am Abend so reich daran findet, daß sie bei der Jodprobe metallisch glänzend schwarz werden. Doch ist diese regelmäßige Zunahme nicht ausnahmslos: es ist mir vorgekommen, daß Blätter von Helianthus, die um 5 Uhr früh ganz stärkefrei waren, schon um 8 Uhr unter dem Einfluß kräftiger Morgensonne soviel Stärke enthielten, daß eine Vermehrung derselben kaum noch denkbar erschien.

Ein deutliches Bild der Vorgänge in ihrer Abhängigkeit von Wetter und Tageszeit werden folgende Beobachtungen geben.

Am 14. Juli hatten wir Nachts Regen gehabt, Tags immerfort dicke Wolken, wiederholt Regen, überhaupt sehr trübes Wetter bei 15—20° C. Die Blätter von Helianthus, Vitis, Solanum, Nicotiana, Cucurbita waren am Abend 5 Uhr so stärkereich, daß sie bei der Jodprobe kohlschwarz wurden. Die Assimilation war also selbst bei so trübem Wetter noch sehr kräftig, und in wie hohem Grade, leuchtet erst dann ein, wenn man bedenkt, wie wir weiter unten sehen werden, daß die vorhandene Stärke nur der Rest ist, der bei beständiger Fortführung aus dem Blatte übrig bleibt.

Am folgenden Morgen 5 Uhr bei 13° C. war die Stärke aus den Blättern von Cucurbita, Solanum, Helianthus vollständig verschwunden, wogegen in denen von Vitis eine geringe, an denen von Nicotiana gar keine Abnahme zu bemerken war.

Bis zum 17. Juli war das Wetter immer kalt und trübe, am 17. selbst regnete es fast den ganzen Tag und die Temperatur der Luft war um 3 Uhr Nachmittags nur 12° C.

Trotz dieser höchst ungünstig scheinenden Witterung enthielten die Blätter von Helianthus, Solanum, Cucurbita, Tropaeolum Abends 5 Uhr wieder sehr viel Stärke.

Am 3. August früh 5 Uhr bei 10° C. und Abends 6 Uhr bei 16° C. fand ich die Blätter von Helianthus Morgens ganz frei von Stärke, am Abend sehr reich, obgleich es während des ganzen Tages trübes und windiges Wetter war.

Am 16. August, nachdem früh 5 Uhr die Temperatur nur 10° C. gewesen, sich aber bis 9 Uhr bis 20° C. erhoben hatte, zeigte ein Blatt von Helianthus nur sehr wenig Stärke um 9 Uhr, obgleich es in den zwischenliegenden Morgenstunden hell und sonnig gewesen war. — Bis Nachmittag $^1/_2$4 Uhr war das Wetter trübe mit Wind und weißen Wolken, die Temperatur sank auf 17° C., drei Blätter verschiedener Sprosse derselben kräftigen Pflanze erwiesen sich nunmehr als sehr stärkereich, es hatte also von 9—$^1/_2$4 Uhr trotz des scheinbar ungünstigen Wetters doch noch kräftige Assimilation stattgefunden.

Am 18. August, nachdem bei Sonnenaufgang nur 8° C. gewesen, fand ich um 10 Uhr Morgens bei nunmehr 17° C. Blätter von Helianthus in der Nähe junger Blüthenköpfe an der Oberseite stärkearm, auf der Unterseite aber bereits stärkereich.

Besonderes Interesse dürfte folgende Beobachtung in Anspruch nehmen. Am 7. Oktober Morgens um 8 Uhr bei 1,5° C. (Abends vorher 5° C.) abgeschnittene Blatthälften von Helianthus, Kürbis, Vitis Labr. enthielten sehr wenig, kaum merkliche Spuren von Stärke. Am 7. Oktober selbst war das Wetter tagsüber sehr heiter, aber kühl: von 1,5° C. bei Sonnenaufgang stieg die Temperatur bis 9° C., um Abends auf 5° C. zu sinken; dennoch fand ich in den andern Blatthälften eine, wenn auch schwache, doch sehr

merkliche Zunahme[1]) an Stärke: die Jodprobe ergab bei Helianthus gleichmäßige schwärzliche Färbung, bei Kürbis am Rande keine Stärke, neben den Rippen kohlschwarze Färbung, bei Vitis Labr. gleichmäßig kohlschwarze Färbung. — Auf den 7. Oktober folgte nun eine kalte Nacht: um 6 Uhr früh (8. Oktober) stand das Thermometer auf 0°C. und alle der freien Strahlung ausgesetzten Kürbisblätter waren erfroren. Von zwei Helianthusblättern war trotzdem das eine ganz vollständig entleert, das andere beinahe; von zwei nicht erfrorenen Kürbisblättern ergab sich eines sehr stärkearm, das andere wenig entleert; ein erfrorenes Blatt erschien mit der Jodprobe schwarzfleckig, offenbar war es erst gegen Morgen dem Frost erlegen, nachdem die Auswanderung der Stärke bereits fortgeschritten war. — Bei Vitis Labr. war keine Verminderung der Stärke im Blatt zu bemerken, ebensowenig bei dem Taback, dessen Blätter am Morgen dieser kalten Nacht gar keine Verminderung der Stärke zeigten und kohlschwarz erschienen.

Es wäre sicherlich äußerst schwierig, sich durch mikrochemische Beobachtungen oder gar auf eudiametrischem Wege eine ebenso klare Vorstellung von den hier geschilderten Assimilationsvorgängen zu erwerben, wie dies durch die Jodprobe möglich ist.

Diese Beweglichkeit, dieses rasche Auftreten und Verschwinden der Stärke findet jedoch nur in den Blättern kräftig und normal vegetirender, namentlich solcher Pflanzen statt, an denen neue Sprossen oder Blüthen und Früchte sich entwickeln, oder wo wenigstens der Holzkörper des Stammes im kräftigen Wachsthum begriffen ist. Dagegen giebt es aber auch einen Zustand, wo Pflanzen scheinbar gesund, aber nicht, oder sehr schwach wachsend sich in einem Starrezustand befinden, in einem Zustand von Unthätigkeit der Blätter, deren Stärkegehalt alsdann wochenlang keinerlei Variationen zu erkennen giebt.

Diese Thatsache lernte ich zuerst im Juli 1882 bei sehr günstigem Wetter an mehreren Tabackpflanzen kennen, welche in kleinen Blumentöpfen eingewurzelt im Freien, später am Fenster standen und, obgleich zwerghaft, doch bereits blühreif waren. Ich hatte an einigen ihrer Blätter Stanniolbänder befestigt, um das Verschwinden der Stärke an diesen Stellen

1) Die mit der Stärkebildung im Chlorophyll ursächlich verbundene Sauerstoffabscheidung findet nach BOUSSINGAULT (Comptes rend. Bd. 68 p. 410) schon bei 0,5—2,4°C., bei Wiesengräsern mit 1,5—3,5°C. statt; HEINRICH fand das Minimum der Temperatur zur Abscheidung von Gasblasen für Hottonia palustris bei 2,7°C. Am 10. Oktober 1883 fand ich, daß Sprosse von Myriophyllum und Ceratophyllum, in Wasser von 3°C. liegend und von der Sonne beschienen, erst dann anfingen Blasen auszustoßen, als die Temperatur des Wassers langsam auf 7°C. gestiegen war. — Sprosse dieser Pflanzen, welche in Wasser von 14°C. lebhaft Gas absondern, hören sofort damit auf, wenn man sie in Wasser von 5—6 C. bringt, beginnen aber sogleich wieder, wenn man sie in das Wasser von 14°C. zurückversetzt.

in der Vorlesung zu demonstriren. Aber selbst nach 5—6 Tagen trat der gewünschte Erfolg nicht ein, während bei anderen kräftig wachsenden Pflanzen die Stärke unter dem Bleiband sehr bald verschwand. Ich vermuthete die Ursache des Mißerfolges in dem Umstand, daß bei der äußerst beschränkten Wurzelthätigkeit dieser Pflanzen die Wachsthumsvorgänge an den Sprossen sistirt und dementsprechend auch der Verbrauch und die Fortführung der Stärke aus den Blättern aufgehoben war.

Meine Erfahrungen im letzten Sommer lassen nun keinen Zweifel über die Richtigkeit dieser Annahme: während ich bei den im freien Land eingewurzelten und kräftig fortwachsenden Tabackpflanzen in den warmen Tagen des Juni und Juli den täglichen Wechsel im Stärkegehalt der Blätter vielfach beobachtete, hatte ich gleichzeitig mehrere Pflanzen derselben Art in ziemlich großen Blumentöpfen an den Fenstern stehen; sie waren anscheinend recht kräftig, fingen an zu blühen, besaßen 8—10 Blätter von 300—400 qcm Fläche, ohne jedoch ihre Achselsprosse zu entwickeln. Unter den an verschiedenen Blättern befestigten Stanniolbändern war aber selbst nach 8 Tagen noch keine Abnahme der Stärke zu bemerken, obgleich derselbe Versuch bei kräftigen Pflanzen im Freien in wenigen Stunden die Auflösung der Stärke ergab. — Eine der genannten Pflanzen wurde in einen finstern Raum gestellt, wo sie bei 16—22° C. acht Tage lang verweilte, ohne daß Wachsthum irgend welcher Theile zu bemerken war. Dementsprechend fand ich auch nach achttägiger Verdunkelung die Blätter noch so reich an Stärke, wie vor dem Versuch.

Aber keineswegs alle in Töpfen stehenden Pflanzen sind in dieser Weise unthätig: es kommt nur darauf an, ob wachsende Organe vorhanden sind, welche die assimilirte Stärke verbrauchen, den Abfluß derselben aus den Blättern möglich machen. So hatte ich im letzten Sommer eine Anzahl Helianthuspflanzen in Töpfen, welche in die Erde im Garten eingegraben waren; diese Pflanzen blieben zwar im Vergleich zu den im freien Land eingewurzelten sehr klein, aber ihre Achselsprosse und besonders ihre Blüthenköpfe entwickelten sich recht kräftig, und dementsprechend entleerten sich auch die kleinen Blätter während der Nacht, um sich während des Tages von neuem mit Stärke anzufüllen.

§ 3. Entleerung abgeschnittener Blätter bei Nacht.

Daß die am Tage durch Assimilation erzeugte Stärke im Chlorophyll der Blätter während der Nacht nicht nur aufgelöst, sondern daß das Lösungsprodukt auch aus den Blättern fortgeführt, in den Stamm hineingeleitet wird, ergiebt sich mit Bestimmtheit aus den Gewichtsveränderungen der Blätter, die ich später beschreiben werde, aber auch aus Wahrnehmungen, die sich mit Hilfe der Jodprobe ohne Gewichtsbestimmung gewinnen lassen, und von diesen will ich hier einige anführen. Offenbar sind es die dünnen,

im Mesophyll selbst ein Netzwerk bildenden Nerven, welche das Lösungsprodukt der Stärke aus dem Chlorophyll der Mesophyllzellen zunächst aufnehmen; durch sie wird es den vorspringenden dickeren Rippen, aus diesen der Mittelrippe, und dann dem Blattstiel zugeführt, um endlich in den Stamm überzutreten und dann weiter verbraucht zu werden.

In welcher Form das Lösungsprodukt innerhalb des Nervengewebes vorhanden ist und wandert, soll noch näher in Betracht gezogen werden; einstweilen wollte ich nur hervorheben, daß sowohl die dünnsten, wie auch die dicksten Nerven und Rippen während der Zeit der Entleerung der Blätter im Sommer bei der Jodprobe sich als farblos und durchscheinend zu erkennen geben, also jedenfalls keine oder sehr geringe Quantitäten von Stärke enthalten, die ihrerseits auch nur transitorischer Natur in dem schon früher von mir festgestellten Sinne sein könnte. Indessen giebt es auch Ausnahmen; die Nerven, besonders die stärkeren und vorspringenden der Blätter von Tropaeolum, werden bei der Jodprobe jederzeit tief schwarz, auch dann, wenn das Mesophyll selbst gar keine Stärke enthält, und zu solchen Zeiten, wo offenbar Auswanderung des Assimilationsproduktes aus den Blättern stattfindet. Etwas ähnliches fand ich bei Helianthus im Sommer nur in einigen Fällen, wo an abgeschnittenen Blättern das Mesophyll sich entleerte, ein Übertritt des Lösungsproduktes durch den Stiel in den Stamm aber unmöglich war; in diesem Falle wurde das Lösungsprodukt, da es nicht rasch genug fortgeführt werden konnte, in den Nerven transitorisch wieder in Stärke zurückverwandelt. Im normalen Verlauf der Vegetation im Sommer habe ich jedoch bei der täglich beobachteten Sonnenrose sowie bei anderen Pflanzen diese Erscheinung nicht wahrgenommen. Anders gestalten sich dagegen die Verhältnisse am Schluß der Vegetationszeit. Bei der schon oben erwähnten Untersuchung verschiedener Blätter am Abend des 1. und dem Morgen des 2. Oktobers färbten sich die Nerven und Rippen der Blätter bei der Jodprobe dunkel, selbst schwarz (so bei Atropa, Kartoffel, Datura, Taback, Phaseolus, Vitis, Juglans, Populus, Helianthus). [1])

Von 3 Helianthusblättern wurde am 8. August 6 Uhr Abends bei 20° C. je eine Längshälfte abgeschnitten und bei der Jodprobe so stärkereich befunden, daß metallisch glänzende Schwärzung eintrat. Von den restirenden Hälften, die also die Mittelrippe und den Stiel besaßen, wurde

a) eine an der Pflanze gelassen;
b) eine abgeschnitten, mit dem Stiel in Wasser gestellt und im Garten gelassen;
c) eine abgeschnitten, in Wasser gestellt und im Zimmer gelassen.

Um 5 Uhr früh am 9. August, also nach 11 Stunden, ergab sich:

---

1) Mit dieser Beobachtung stimmen meine Angaben über die herbstliche Entleerung der Blätter in Flora 1863 p. 214 ff.

a) die Stärke vollständig verschwunden;
b) noch stärkereich, aber doch viel weniger als am Abend;
c) noch stärkereich, besonders an der Blattspitze, die Basis der Lamina beinahe entleert.

Die Blatthälften *b* und *c* zeigen also, daß die Stärke nicht in normaler Weise auswandert, wenn das Blatt vom Stamm getrennt ist; dennoch wird ein beträchtliches Quantum aufgelöst; daß das Lösungsprodukt in die größeren Nerven und in den Blattstiel übergeht, ist schlagend durch folgenden Versuch bewiesen.

Am 10. August wurden um 5 Uhr Abends bei günstigem Wetter Blätter von Helianthus und Beta abgeschnitten und von jedem derselben verschiedene Stücke durch die Jodprobe als sehr stärkereich erkannt. Die abgeschnittenen Blätter wurden nun folgendermaßen behandelt:

a) je ein Blatt mit dem Stiel in Wasser gestellt (im Zimmer);
b) von je einem Blatt wurden Stücke der Lamina so ausgeschnitten, daß keine hervorspringenden Nerven dabei waren, und diese Stücke in einem großen Glascylinder von 8 Liter Raum, dessen Boden mit Wasser bedeckt war, aufgehängt.

Zunächst wurde nun am folgenden Morgen um 5 Uhr (bei 10° C.) constatirt, daß im Garten aus den an der Pflanze gelassenen Blättern die Stärke vollständig verschwunden war. — Ganz anders verhielten sich die Stücke *a* und *b* im Zimmer bei 16° C.:

a) Die Blätter mit Stiel im Wasser lassen eine deutliche Verminderung, aber keineswegs völlige Auflösung der Stärke im Mesophyll erkennen, besonders zu erwähnen ist dabei die Thatsache, daß die Nerven nunmehr stärkereich sind; das aus dem Mesophyll entleerte Lösungsprodukt der Stärke ist in den Nerven, da es nicht abfließen konnte, wieder in Stärke verwandelt worden.
b) Die von vorspringenden Nerven befreiten Mesophyllstücke, welche die Nacht in feuchter Luft zugebracht hatten, zeigten eine höchst unbedeutende Verminderung ihres Stärkegehaltes: die von Beta werden bei der Jodprobe beiderseits schwarz, doch nicht ganz so tief, wie am vorigen Abend; bei Helianthus wird die Oberseite ledergelb, die Unterseite schwarz.

Dieser einfache Versuch ergiebt also das wichtige Resultat, daß bei abgeschnittenen Blättern das Lösungsprodukt der Stärke aus dem Mesophyll in die dicken Nerven und in den Stiel wandert und in diesem, wenigstens zum Theil, wieder in Stärke zurückverwandelt wird.

Es ist noch zu bemerken, daß *a* und *b* zu diesem Zwecke 15 Stunden Zeit hatten, und zwar bei 16° C., während bei den Blättern an der Pflanze im Garten 12 Stunden bei einer auf 10° C. sinkenden Temperatur schon hinreichten, um die Stärke vollständig verschwinden zu lassen, d. h. in den Stamm überzuführen. Daß aber ein Theil der Stärke auch aus dem von den

vorspringenden Nerven isolirten Mesophyll verschwand, erklärt sich aus zwei Ursachen: 1. weil auch diese Stücke noch dünne Nerven enthielten, und 2. weil ein, wenn auch nur kleiner Teil der Stärke durch Athmung verloren geht.

§ 4. Auflösung der Stärke im Chlorophyll bei Sonnenlicht.

Daß die unter Zersetzung von Kohlensäure assimilirte Stärke aus dem Chorophyll der Blätter wieder verschwindet, wenn dieselben zwar dem Licht ausgesetzt sind, aber in einer kohlensäurefreien Luft nicht weiter assimiliren können, wurde schon von Moll (Arb. a. d. bot. Inst. Würzburg II, p. 110) vor mehreren Jahren konstatiert.

Aus Gründen, die weiterhin einleuchten werden, kam es mir darauf an, mich nochmals davon zu überzeugen, daß auch bei intensivem Sonnenlicht die Stärke im Chlorophyll aufgelöst und fortgeführt wird.

Am 14. August schnitt ich um 11 Uhr 30 Minuten von einem Helianthus 2 Blätter ab; im Zimmer wurde je die eine Längshälfte neben der Mittelrippe abgetrennt, und an dieser konstatirt, daß beide Blätter mit Stärke so beladen waren, daß die Jodprobe metallisch glänzende Schwärzung ergab; diese große Masse von Stärke war in den 6 Stunden von Morgens 5—11 Uhr gebildet worden. Die mit den Stielen verschenen Blatthälften wurden in je 1 Wassergefäß gestellt, dieses auf einen Teller, der mit starker Kalilauge gefüllt war, um die Luft in der darüber gestellten Glasglocke frei von Kohlensäure zu machen. Nur eine Stunde lang blieben die Apparate der Mittagssonne ausgesetzt, und die Jodprobe ergab dann, daß in dieser kurzen Zeit die Stärke aus der Oberseite der Blätter gänzlich, aus der Unterseite beinahe, aber nicht ganz verschwunden war.

Dieses überraschende Resultat war aber offenbar der sehr hohen Temperatur im Raum der Glasglocke zuzuschreiben; es war in einer Stunde bei hoher Temperatur fast all die Stärke aufgelöst, die vorher in 6 Stunden bei einer geringen Temperatur gebildet worden war. Würde auch bei gewöhnlicher Sommertemperatur die Stärke ebenso rasch aufgelöst, so könnte man niemals Stärke in den Blättern nachweisen; daß letzteres aber möglich ist, kommt offenbar nur daher, daß unter gewöhnlichen Verhältnissen im Freien die Bildung der Stärke rascher als ihre Auflösung fortschreitet. Genauere Einsicht in den Vorgang gewährt folgender Versuch.

Am 18. August war der Morgen um $^1/_2$6 Uhr sehr kühl, nur 8° C.; doch stieg die Temperatur bis 10 Uhr auf 15° C. bei hellem Sonnenschein. Neben einer kräftigen Sonnenrose im Garten wurde ein großer Glaskäfig von ca. 180 Liter Inhalt aufgestellt, dessen unterer Rand auf einem Untersatz von Zink ruhte und hier mit Wasser abgesperrt war. Auf einem Stativ innerhalb des Käfigs war ein Teller mit starker Kalilauge so aufgestellt, daß er ungefähr in der Mitte der Höhe sich befand; daneben war auch ein

Thermometer im Käfig aufgehängt. Ein kräftiger, etwa 1 m langer reich belaubter Seitensproß der Pflanze wurde nun mit seinem Gipfel, der einen jungen Blüthenkopf trug, durch das 5 cm weite Loch oben am Käfig in diesen so hineingesteckt, daß 4 Blätter mit eingeführt wurden. Mittelst eines halbirten, durchbohrten Korkes wurde der in den Käfig hineingebogene Sproßgipfel in der Öffnung befestigt.

Von jedem der 4 Blätter war vorher die eine Längshälfte abgeschnitten worden, um zu konstatiren, daß bei Anfang des Versuches um 10 Uhr 15 Min. sehr viel Stärke vorhanden war, wenn auch nicht gerade das Maximum.

Während der nun folgenden Versuchszeit schien die Sonne, der Himmel war zum Theil blau, theils mit leuchtend weißen Wolken bedeckt. Die Temperatur stieg im Käfig um 12 Uhr Mittags auf 23° C., nachher aber bis 3 Uhr sogar bis 37° C.

Um 11 Uhr 30 Min., also $1^1/_4$ Stunde nach Anfang des Versuchs, wurde das älteste der 4 in den Käfig eingeführten Blätter abgeschnitten, was mit Hilfe einer an der Seite des Käfigs angebrachten Glasthür leicht und rasch zu bewerkstelligen war. Die Jodprobe ergab jetzt noch keine merkliche Abnahme des Stärkegehalts.

Um $12^3/_4$ Uhr (also nach $2^1/_4$ Stunden) fand ich dagegen an dem nächst jüngeren Blatt die Stärke schon sehr vermindert.

Um $3^1/_4$ Uhr (also nach 5 Stunden) wurden die beiden jüngsten, aber auch schon ausgewachsenen Blätter im Käfig untersucht und die Jodprobe ergab, daß das eine völlig stärkefrei, das andere nur an der Spitze noch ein wenig stärkehaltig war.

Es hatte also bei einer von 23° C. bis auf 37° C. steigenden Temperatur 5 Stunden gedauert, bis diejenige Stärke aufgelöst und fortgeführt war, die sich vorher in etwa $5^1/_2$ Stunden (von Sonnenaufgang bis $10^1/_4$ Uhr) bei 8—15° C. gebildet hatte. Es ist daraus zu schließen, daß bei geringerer Temperatur, etwa bei 15—20° C., die Auflösung der Stärke langsamer fortgeschritten wäre, und daß man dann nach 5 Stunden noch einen Rest der assimilirten Stärke vorgefunden hätte.

Die durch die beschriebenen Versuche begründete Annahme, daß gleichzeitig mit der Assimilation auch eine beständige Auflösung von Stärke und Fortführung derselben aus dem Blatt vor sich geht, und daß dies um so energischer geschieht, je höher die Temperatur ist, wird auch durch das Verhalten der Pflanzen in freier Luft bei sehr hoher Sommertemperatur bestätigt.

So beobachtete ich wiederholt, daß an sehr heißen Nachmittagen bei 30—35° C. die Blätter von Helianthus weniger Stärke enthielten, als Vormittags, oder selbst Morgens um 8 Uhr; wogegen bei gewöhnlicher Sommerwärme von 20—25° C. das Stärkequantum in den Blättern vom Morgen bis Abend stetig zunimmt.

Am 2. Juli fand ich Nachmittags 4 Uhr bei 33° C. die Blätter von Tropaeolum (mit Ausnahme der Nerven) ganz frei von Stärke, während ich sie am selben Platze am 9. Juli 6 Uhr Abends bei 27° C. im Schatten ganz mit Stärke erfüllt antraf.

Bei der hohen Temperatur des 2. Juli Nachmittags 4 Uhr bei 33° C. fand ich auch die Blätter von Nicotiana beinahe stärkefrei, während dieselben sonst bei 15—25° C. um diese Tageszeit reichlich mit Amylum versehen sind. Auch am 3. Juli bei noch größerer Hitze um 5 Uhr war die Stärke aus den Tabackblättern verschwunden; als ich am 5. Juli, nachdem die Temperatur herabgegangen und Gewitter mit Regen eingetreten war, die anderen Hälften derselben Blätter untersuchte, fand ich reichlich Stärke in ihnen.

§ 5. Was wird aus der Stärke, wenn sie aus dem Chlorophyll der Blätter verschwindet, und wie findet die Auflösung statt?

Ein verhältnißmäßig nur kleiner Theil der assimilirten Stärke wird durch Athmung im gewöhnlichen Lauf der Dinge wirklich und vollständig zerstört, ihr Kohlenstoff in Form von Kohlensäure ausgeathmet; der Gewichtsverlust beträgt pro 100 g Trockensubstanz, d. h. für ca. 2 qm Blattfläche nach Weber (l. c. p. 349) bei Helianthus, Tropaeolum, Ricinus, Phaseolus binnen 24 Stunden 3—4 g, und ungefähr ebensoviel bedeutet es, wenn Müller-Thurgau für 100 Weinblätter in 24 Stunden einen Athmungsverlust von 3—4 g angiebt; diese Zahlen gelten für gewöhnliche Sommertemperatur; mit zunehmender Höhe der Temperatur wird bekanntlich die Athmung energischer und bei 0° sinkt sie auf ein äußerst Geringes herab. Wir werden aber weiterhin sehen, daß im Laufe von 15 Tagesstunden mehr als 20 g Stärke pro 1 qm durch Assimilation erzeugt und während 24 Stunden in den Stamm übergeführt werden.

Der bei der Athmung nicht zerstörte beträchtliche Rest von assimilirter Stärke, aus welchem eben der ganze Pflanzenkörper sich aufbaut, wandert aus den assimilirenden Zellen der Blätter aus, nachdem er sich in ein Lösungsprodukt umgewandelt hat, welches im stande ist, durch das Gewebe der Nerven und Blattstiele sich fortzubewegen. Die Frage ist nun, welche chemische Beschaffenheit dieses Lösungsprodukt besitzt. Nach Allem, was wir auf diesem Gebiet bereits wissen, kann es kaum zweifelhaft sein, daß aus der assimilirten Stärke der Chlorophylkörner meist Zucker entsteht, der in den Stamm wandert und gelegentlich wieder in Stärke transitorisch oder dauernd verwandelt wird, oder im Stoffwechsel der Pflanze ganz andere chemische Formen annimmt.

In manchen Fällen, wie ich schon vor 22 Jahren auf mikrochemischem Wege nachgewiesen habe, ist es leicht, sich von der Richtigkeit des eben gesagten zu überzeugen, und besonderen Werth lege ich in dieser Bezie-

hung auf folgende Angabe von Müller-Thurgau[1]): »daß die Stärke, bevor sie weggeführt oder verathmet wird, sich in Zucker verwandelt, ergiebt sich aus folgenden Versuchen. Rießlingblätter, welche ca. 2% Zucker und 2% Stärke enthielten, wurden abgeschnitten, mit dem Stiel in Wasser gesetzt und in einen Raum mit einer Temperatur von 0° gebracht. Nach 9 Tagen war die Stärke bis auf Spuren verschwunden. Da jedoch bei 0° die Athmung eine sehr geringe ist, so konnte der daraus entstandene Zucker nicht verbraucht werden, und mußte sich also größtentheils noch in den Blättern vorfinden, die in der That auch am Ende des Versuchs einen Zuckergehalt von fast 4% zeigten«.

Aber so gut geht es nicht immer und zuweilen ist man in Verlegenheit zu sagen, was aus der großen Masse verschwundener Stärke wird. Denen, die sich mit der Sache näher befassen wollen, öffnet sich hier ein fruchtbares Feld der Beobachtung, wie man aus folgenden Wahrnehmungen schließen kann.

Am 14. Juli Abends 5 Uhr, nachdem das Wetter den Tag über trüb, selbst regnerisch bei 16—22° C. gewesen war, wurden Blätter von Vitis Labrusca im Freien abgeschnitten und sofort $^1/_2$ Stunde lang gekocht; es war unmöglich, in dem vorläufig gereinigten Dekokt mit der Fehling'schen und Trommer'schen Probe auch nur eine Spur von Zucker nachzuweisen; wurde derselben Flüssigkeit jedoch etwa 1 pro Mille Traubenzucker zugesetzt, so trat die bekannte Reaktion sofort ein, zum Beweis, daß das Dekokt der Blätter, welches stark eingeengt war, keine nachweisbaren Spuren von Zucker enthielt.

Am 23. Juli dagegen Abends 4 Uhr (18—20° C.) gaben 3 andere Blätter von derselben Vitis eine sehr reichliche Zuckerreaktion.

Besondere Beachtung verdient die Thatsache, daß es weder am 14. noch 23. Juli möglich war, eine deutliche Zuckerreaktion in dem auf etwa 10 ccm eingeengten Dekokt von 50 Kartoffelblättchen nachzuweisen. Zu dieser Zeit befanden sich die Pflanzen im lebhaftesten Wachsthum, und möglicherweise wurde der durch Lösung der Stärke entstandene Zucker so rasch aus dem Mesophyll entfernt, daß für die Nachweisung im Dekokt nichts übrig blieb. Am 16. September dagegen, als dieselben Pflanzen zu wachsen aufgehört hatten, wenigstens keine neuen Blätter mehr bildeten, fand ich früh um 8 Uhr in den Blattflächen selbst, wenn auch nicht viel, so doch deutlich Zucker, in den Blattstielen und Stengeltheilen sogar recht beträchtliche Quantitäten.

Das Dekokt von 3 großen Helianthusblättern, auf ca. 100 ccm eingeengt, gab am 23. Juli nur sehr schwache Zuckerreaktion, ebenso das von 2 Kürbisblättern. Auch der Müller'sche Versuch mit den eben genannten

1) In dem Bericht des Weinbaukongresses zu Dürkheim 1882.

Pflanzen ergiebt nicht immer eine Anhäufung von Zucker, obgleich die Jodprobe das Verschwinden der Stärke anzeigt.

Am 1. August waren früh 5 Uhr einige Kürbisblätter abgeschnitten und mit den Stielen in Wasser gesetzt worden, sie enthielten um diese Zeit noch ziemlich viel Stärke und blieben 40 Stunden lang im Dunkeln stehen. Das Dekokt der Blattflächen ohne die dicken Nerven zeigte aber kaum Spuren von Zucker.

Drei Blätter von Helianthus, am 4. August Abends in sehr stärkereichem Zustand abgeschnitten, und dann 12 Stunden lang über Nacht im Wasser gestanden, ergaben in dem stark konzentrirten Dekokt nur Spuren von Zucker, während ein Zusatz von 1—2 pr. Mille Traubenzucker zu dem Dekokt sofort reagirte.

Am 12. August schnitt ich Blätter von Rheum officinale Abends 5 Uhr in sehr stärkereichem Zustand ab, und stellte sie über Nacht 15 Stunden lang in einen dunklen Raum. Dann wurde das Mesophyll von den dickeren Blattrippen abgeschnitten und beides gesondert auf Zucker untersucht: das Mesophyll sowohl wie die Rippen enthielten sehr deutlich, wenn auch nur geringe Quantitäten von Zucker, und ebenso verhielten sich Blätter von Rheum, welche am 19. August früh 6 Uhr abgeschnitten und sofort untersucht wurden.

Jedenfalls zeigt sich also, daß für gewöhnlich, zumal bei so rüstig vegetirenden Pflanzen, wie Kartoffel, Kürbis und Sonnenrose, keine oder nur sehr kleine Quantitäten von Zucker in den Blättern nachweisbar sind zu Zeiten, wo die Stärke nachweisbar verschwindet, was besonders dann auffällt, wenn bei abgeschnittenen Blättern das Lösungsprodukt nicht entweichen kann. Es ist nicht daran zu denken, daß die Athmung allein den Stärkeverlust decken könnte; auch würde sich dies, was ich leider aus Mangel an Zeit nicht thun konnte, mit Hilfe der weiter unten zu beschreibenden Gewichtsbestimmung mit Sicherheit konstatiren lassen.

Wir wissen nicht, ob die Auflösung der Stärke im Chlorophyll durch eine dem Chlorophyllkorn selbst innewohnende Kraft bewirkt wird, oder ob ein besonderes diastatisches Ferment die Stärke in Zucker verwandelt; jedenfalls läßt sich aber experimentell zeigen, daß die im Chlorophyllkorn eingeschlossene Stärke durch Diastase saccharifizirt und extrahirt werden kann.

Am Abend im Juli abgeschnittene Blätter von Tropaeolum, Solanum, Cucurbita, Helianthus wurden an den abgeschnittenen Stücken zunächst als sehr stärkereich erkannt, und dann mit kochendem Wasser und Alkohol extrahirt, der Alkohol mit Wasser ausgelaugt. Darauf wurden die Blätter 16—24 Stunden lang in eine frisch aus Malz bereitete Diastaselösung gelegt und mehrere Stunden lang darin auf 40—50° C. erwärmt. Als diese Blätter ausgewaschen und dann in Jodlösung gelegt wurden, trat keine

Stärkereaktion mehr ein, aber sonderbarerweise wurden auch hier wieder die Nerven von Tropaeolum schwarz.

Indessen, wie gesagt, bedürfen alle diese Wahrnehmungen weiterer Untersuchung, und ich habe sie hier nur als gelegentliche Erfahrungen mit angeführt.

§ 6. Gewichtsbestimmung der assimilirten und der ausgewanderten Stärke.

Als ich im Juni wahrnahm, wie ein Blatt am Abend mit Stärke so beladen sein kann, daß es bei der Jodprobe tief schwarz und metallisch glänzend erscheint, während es bei Sonnenaufgang keine Spur davon besitzt, durfte ich mir sagen, daß bei so beträchtlichem Unterschiede auch Gewichtsdifferenzen von beträchtlicher Höhe sich ergeben würden, und daß es sich dabei nicht bloß um Zahlen von zweifelhaftem Werthe handeln könne.

Erwägungen allgemein physiologischer Natur, die in dem Satze gipfeln, daß es bei den chlorophyllhaltigen Blättern vor allem auf die Flächenausbreitung, nicht aber auf ihr Gewicht ankommt, worauf ich schon bei den Weber'schen Untersuchungen Werth gelegt hatte, stellte ich die Frage nicht dahin: wie viel von dem Trockengewicht der Blätter sich als Stärke zu erkennen giebt, sondern die Frage lautete: wie viel Stärke kann in einem Quadratmeter Blattfläche einer Pflanzenart unter bestimmten Bedingungen in einer Zeiteinheit erzeugt, oder aufgelöst und fortgeschafft werden?

Es kam also zunächst darauf an, mit genau bekannten Blattflächen zu arbeiten. Die bei mir von Weber ausgeführten Untersuchungen hatten aber gezeigt, wie zeitraubend und mühsam es ist, die Flächenräume ganzer Blätter zu messen, was durch den unregelmäßigen Umriß derselben verursacht wird.

Ich schlug daher ein ganz anderes Verfahren ein, welches sich ebenso sehr durch seine Genauigkeit, wie durch seine Einfachheit und den geringen Zeitverlust empfiehlt. Es handelt sich eben nur darum: Stücke der Blattflächen von beliebiger, aber bekannter Größe herauszuschneiden, und ihr Trockengewicht zu bestimmen.

Zu diesem Behuf schnitt ich mir aus Holzbrettchen von 3 mm Dicke zwei Stücke so heraus, daß das eine genau 10 cm lang und 10 cm breit war, also 100 qcm Fläche hatte; das andere war 10 cm lang und nur 5 cm breit, hatte also 50 qcm Fläche.

Die zu untersuchende Längshälfte eines Blattes wird nun auf einem Zeichenbrett flach ausgebreitet, die Unterseite nach oben gekehrt, um die vorspringenden Nerven besser zu sehen. Sodann lege ich eines der Brettchen so auf die Lamina, daß die stärkeren vorspringenden Rippen möglichst ausgeschlossen sind, was deshalb wünschenswerth ist, weil die Rippen in

diesem Falle nur als träge Masse gelten können; denn es handelt sich um die Gewichtsveränderung des Mesophylls, in welchem freilich noch immer viele kleinere Nerven verlaufen.

Je nach der Entfernung der großen Blattrippen unter sich, und je nach der Größe des Blattes selbst konnte bald das größere bald das kleinere Brettchen als Schablone benutzt werden. Auch wurde darauf geachtet, daß bei der vergleichenden Untersuchung der beiden Hälften eines Blattes die Schablonen in symmetrischer Lage aufgelegt wurden, was übrigens durch den Verlauf der größeren Nerven in den beiden Blatthälften sich beinahe von selbst ergiebt. Es wurden also von den beiden Blatthälften jedesmal symmetrisch gleiche Stücke untersucht.

Nachdem nun die betreffende Blatthälfte auf dem untergelegten Brett sorgfältig flach gestrichen ist, drückt man das Schablonenbrettchen mit der linken Hand fest auf die Lamina und fährt mit einem sehr scharfen Skalpell mit dünner Klinge an den 4 Seiten desselben hin wie an einem Lineal, so dass ein dem Brettchen gleich großes Stück der Lamina herausgeschnitten wird, wobei man besonders auf die Ecken Acht geben muß.

Bei den großen Blättern der Sonnenrose, des Kürbis, des Rhabarbers kann man auf diese Art 200—300 qcm aus der halben Lamina herausschneiden.

Der Fehler beträgt bei sorgfältigem Schneiden nur wenige Quadratmillimeter, also nur einige Zehntausentel des ganzen ausgeschnittenen Stückes, was bei der Natur der Untersuchung gar nicht in Betracht kommt.

Die so herausgeschnittenen Stücke der Lamina werden nun zur Untersuchung der im Blatt stattfindenden Gewichtsveränderung benutzt. Aber auch die wegfallenden, meist sehr umfangreichen Stücke des Blattes finden zweckmäßige Verwendung; sie werden sofort in kochendes Wasser gelegt und der Jodprobe unterworfen. Man hat auf diese Art ein Mittel, die zu erwartenden Ergebnisse der Wägung vorauszusehen, indem man findet, ob diese große oder kleine Differenzen ergeben wird. Die Erfahrung zeigt, daß die Resultate der Gewichtsbestimmung mit denen der Jodprobe immer parallel gehen, wodurch auch die Brauchbarkeit der letzteren im Sinne der vorausgehenden Paragraphen bewiesen wird.

Die herausgeschnittenen, viereckigen Blattflächenstücke werden nun, um einen Gewichtsverlust durch Athmung bei langsamer Trocknung zu vermeiden, rasch getödtet. Ich lege dieselben zu diesem Zweck auf ein Sieb von weitmaschigem Stramin, der auf einen Metallrahmen gespannt ist. Dieses Sieb wird über eine große, mit heftig kochendem Wasser gefüllte Schale gestellt, so daß der heiße Dampf die Blattstücke auf dem Sieb 4—5 Minuten lang trifft. Sie werden sofort schlaff, sehen aus wie gekocht; ein Gewichtsverlust, der bei etwaigem Eintauchen in kochendes Wasser stattfinden könnte, wird aber auf diese Art vermieden.

Die getödteten Blattstücke bleiben auf dem Straminsieb liegen, welches nun an einem, womöglich sonnigen, offenen Fenster aufgehängt wird, indem man zugleich durch Öffnung anderer Fenster für kräftige Zugluft sorgt So trocknen die Blattstücke sehr rasch; in 4—6 Stunden am Tage, Nachts freilich erst in 10—15 Stunden, sind sie in dem Grade lufttrocken, daß man sie leicht zu feinstem Pulver zerreiben kann. Dieses fülle ich in eine Schachtel von sehr dünnem Messingblech, die nun in den Trockenofen gestellt wird. Vor jeder Wägung wird der ganz dicht anschließende Blechdeckel aufgesetzt; man läßt bis zur Zimmertemperatur abkühlen und macht dann die Wägung in gewohnter Weise.

Dieses Verfahren bezweckt, die Aufnahme hygroskopischen Wassers während der Wägung zu vermeiden; bei einiger Übung kann man jedoch die lufttrocken gewordenen Stücke, die sich dabei außerordentlich kontrahirt haben, auch als solche im Apparat bei 100° trocknen und pure auf die Wagschale legen, was den Vortheil hat, daß bei sorgfältiger Aufmerksamkeit auch nicht der geringste Substanzverlust stattfindet.

Die Resultate der Wägung werden jedesmal auf 1qm Blattfläche berechnet; es ist daher erwünscht, nicht allzu kleine Bruchstücke derselben zur Wägung zu wählen. Ich habe 400—500, je nach Umständen auch 600—1400qcm zur Wägung benutzt, so daß die kleinen Wägungsfehler bei der Berechnung auf 1qm keine große Steigerung durch Multiplikation erfahren.

Wichtig ist es dagegen, die Zeitpunkte der Untersuchung genau festzustellen und letztere ohne Zeitverlust an den Blättern vorzunehmen.

Diese Methode, das Flächengewicht der Blätter zu verschiedenen Zeiten zu beobachten, gewährt den Vortheil, daß sie ausschließlich auf das Trockengewicht einer gegebenen Blattfläche Rücksicht zu nehmen braucht, wobei das wechselnde Frischgewicht derselben ganz gleichgültig bleibt; nur muß man Rücksicht darauf nehmen, daß nicht etwa straffe, turgeszente Blattstücke in dem einen Fall, und schlaffe, welke im andern verglichen werden, weil bei den welken die Blattfläche sich kontrahirt, also kleiner und relativ reicher an Trockengewicht werden muß.

Die Anwendung meines Verfahrens verlangt große Blätter; es hätte keinen Sinn, aus kleinen Blättern von 10—20 qcm einzelne Stücke herauszuschneiden, weil dann die wesentlichsten Vortheile des Verfahrens verloren gehen.

Dementsprechend mußte ich mich auch auf die Untersuchung einiger Pflanzenarten beschränken, welche, wie die Sonnenrose, der Kürbis, der Rhabarber, durch große Blattflächen sich auszeichnen, und zugleich boten dieselben den Vortheil dar, daß bei ihnen die Assimilation offenbar sehr ausgiebig ist; im Laufe von 100 Tagen können Sonnenrosen bis 1500 g, Kürbispflanzen noch weit mehr Trockengewicht ansammeln, woraus zu schließen ist, daß durchschittlich an einem Tage 15—20 g Stärke gebildet werden müssen, an langen, günstigen Sommertagen aber noch mehr.

Mir kam es aber eben nicht darauf an, eine mittlere Durchschnittszahl für die Assimilationsgröße, wie es bei den Weber'schen Untersuchungen der Fall war, zu gewinnen, sondern vielmehr darauf, zu erfahren, was an einem einzelnen, besonders günstigen Sommertag geleistet werden kann. Für die Theorie haben immer die Maximalleistungen der Pflanze einen ganz besonderen Werth, an ihnen läßt sich am besten die Richtigkeit einer Theorie prüfen: so ist es bei der Transpiration und der Geschwindigkeit der Wasserströmung in den Holzzellwänden, und so auch hier. Wie in der Industrie können auch sehr geringe physiologische Leistungen auf sehr verschiedenem Wege, bedeutende und ausgiebige aber nur auf einem ganz bestimmten zu stande kommen; und eben diesen hat die Theorie festzustellen.

Nach der ausführlichen Beschreibung der Beobachtungsmethode darf ich nun die einzelnen Versuche in übersichtlicher Kürze darstellen. Daß die Zahl derselben keine größere ist, wurde vorwiegend durch Mangel an Zeit, aber auch dadurch veranlaßt, daß die Untersuchung eine sehr große Zahl der besten Blätter erfordert hatte, so daß gegen Ende August der Vorrath erschöpft war.

Gerade für die Gewichtsbestimmungen dürfen nur ganz fehlerfreie, gesunde Blätter benutzt werden, auch darf man nicht etwa Blätter von Hauptsprossen mit denen der Nebensprosse vergleichen. Eine besondere Schwierigkeit entsteht aus dem häufigen Vorkommen von Löchern und kleinen trockenen Flecken auch an sonst ganz gesunden Blättern, wodurch diese für meine Methode vielfach unbrauchbar werden.

A. Auswanderung der Stärke bei Nacht.

I. Helianthus annuus.

22. Juli Abends 7 Uhr Blatthälften abgeschnitten; Tagsüber weiße Wolken, gelegentlich Sonnenschein, 15—28° C.

23. Juli früh 5 Uhr (10 Stunden Nacht, 10° C.).

Die Jodprobe ergiebt, daß die Blätter am Abend sehr stärkereich, am Morgen fast stärkefrei sind. Sowohl am Abend, wie am Morgen wurden je 500 qcm ausgeschnitten:

500 qcm wiegen trocken:	
am Abend	4,022 g
am Morgen . . .	3,540 g
1 qm Blattfläche wiegt trocken:	
am Abend	80,44 g
am Morgen . . .	70,80 g
In 10 Stunden ausgewandert . .	9,64 g.

In einer Nachtstunde pro 1 qm 0,964 g Stärke ausgewandert.

II. Cucurbita Pepo.

30. Juli Abends 6 Uhr 30 Minuten nach schönem, normalem Sommertag; Vormittag weiße Wolken, Nachmittag Sonnenschein. 20 — 25° C.

31. Juli früh 5 Uhr 10° C., Nachts Regen (10½ Stunde).

Die Jodprobe ergiebt sehr viel Stärke am Abend, einen kleinen Rest am Morgen.

Untersucht werden je 600 qcm.

600 qcm wiegen trocken:

am Abend	3,595 g
am Morgen . . .	3,077 g

1 qm Blattfläche wiegt trocken:

am Abend	59,92 g
am Morgen . . .	51,22 g
In 10½ Stunden ausgewandert .	8,70 g.

In einer Nachtstunde pro 1 qm sind 0,828 g Stärke ausgewandert.

B. Am Tage assimilirte Stärke.

a) Blätter an der Pflanze.

III. Helianthus annuus.

13. August früh 5 Uhr wurden 7 Blatthälften einer großen Pflanze abgeschnitten. — Gestern Abend 15°, früh 6 Uhr nur 7° C. Um 8 Uhr 30 Minuten wird konstatirt (bei 12,5° C.), daß ein anderes Blatt derselben Pflanze, welches um 5 Uhr ganz stärkefrei war, bei der Jodprobe metallisch glänzend schwarz wurde; die Assimilation an der Morgensonne von 5 — 8 Uhr war also höchst ergiebig. An demselben Tage um 3 Uhr Nachmittags werden die andern 7 Blatthälften abgeschnitten. Es war beständig sonnig heiteres Wetter mit blauem Himmel. — Die Temperatur stieg bis 25° C.

Von jeder Blatthälfte wurden 100 qcm ausgeschnitten, also am Morgen und Nachmittag je 700 qcm untersucht. Die Jodprobe der Abfälle zeigt die Blätter Morgens 5 Uhr ganz stärkefrei, Nachmittags 3 Uhr sehr stärkereich.

700 qcm wiegen trocken:

früh 5 Uhr	3,054 g
Nachmittags 3 Uhr .	3,693 g

1 qm Blattfläche wiegt trocken:

5 Uhr früh . . .	43,62 g
3 Uhr Nachmittags .	52,76 g
Zunahme an Stärke in 10 Stunden .	9,14 g.

In einer Tagesstunde pro 1 qm 0,914 g Gewichtszunahme.

IV. Cucurbita Pepo.

21. August 9 Uhr früh werden von 7 Blättern Längshälften abgeschnitten bei Sonnenschein und 18° C. Am selben Tag um 12 Uhr, also nach

3 Stunden bei 24° C. und nachdem beständig Sonnenschein geherrscht, werden die 7 andern Blatthälften geerntet.

Aus jeder Blatthälfte werden 200 qcm ausgeschnitten, also am Morgen und Mittag je 1400 qcm untersucht.

Die Jodprobe ergab während der 3 Stunden eine sehr merkliche Zunahme an Stärke.

1400 qcm wiegen trocken:

früh 9 Uhr . . .	7,880 g
Mittags 12 Uhr . .	8,167 g

1 qm Blattfläche wiegt trocken:

früh 9 Uhr . . .	56,30 g
Mittags 12 Uhr . .	58,33 g
Zunahme in 3 Stunden	2,03 g.

1 qm Blattfläche gewann in einer Stunde 0,68 g.

V. Rheum officinale.

19. August früh 6 Uhr bei 10° C. 3 Längshälften von Blättern geerntet.

An demselben Tag um 11 Uhr Vormittag bei 20° C. und herrschendem Sonnenschein wurden die andern Hälften geerntet.

Aus jeder Blatthälfte wurden 400 qcm ausgeschnitten, also im Ganzen jedesmal 1200 qcm untersucht.

Die Jodprobe ergab in den 5 Stunden eine beträchtliche Stärkezunahme, ohne daß das Maximum erreicht war.

1200 qcm wiegen trocken:

früh 6 Uhr	4,128 g
um 11 Uhr . . .	4,520 g

1 qm Blattfläche wiegt also trocken:

früh 6 Uhr	34,40 g
um 11 Uhr . . .	37,66 g
In 5 Stunden wurden assimilirt .	3,26 g.

In einer Stunde in 1 qm 0,652 g Gewichtszunahme.

b) abgeschnittene Blätter in Wasser gesetzt.

Die Blätter wurden in diesem Falle an der Basis des Stiels vom Stamm getrennt, und nachdem die eine Längshälfte der Lamina abgeschnitten war, die andere mit dem Stiel in eine enghalsige Wasserflasche gestellt. Diese Gefäße wurden im Garten so aufgestellt, daß sie während der Versuchszeit von keiner Seite beschattet wurden.

Die Gewichtszunahme war in diesem Falle bei weitem größer, als wenn die Blätter am Stamme saßen, was sich meiner Erwartung entsprechend einstellte, da in diesem Fall ein Abfluß der assimilirten Stärke in den Stamm während der Versuchszeit nicht eintreten konnte; es mußte also eine größere

Masse als im normalen Fall sich ansammeln, worauf ich im folgenden Paragraphen ausführlicher zurückkomme.

VI. Helianthus annuus.

6. August 5 Uhr früh wurden bei 15° C. und leichtem Regen 8 Blätter von den Hauptstämmen dreier großer Pflanzen abgeschnitten, im Zimmer in Wasser gestellt und um 8 Uhr früh zum Versuch benutzt, d. h. es wurde von jedem Blatt eine Längshälfte genommen, aus jeder derselben 100 qcm herausgeschnitten, also 800 qcm für den Versuch genommen.

Die noch mit dem Stiel versehenen Hälften wurden wie oben erwähnt behandelt und blieben bis 2 Uhr 45 Minuten im Garten stehen. Das Wetter war seit 8 Uhr trüb und feucht, um 11 Uhr wurde es heller bei 17° C., dann bis $2^3/_4$ Uhr weiße Wolken, hell, 25° C.

Eine der 8 Blatthälften wurde, weil sie gewelkt hatte, von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen; die andern 7 wurden, um sie turgeszent zu machen, $^1/_2$ Stunde ganz in Wasser gelegt.

Es kamen zur Untersuchung 800 qcm 8 Uhr früh und 700 qcm um $2^3/_4$ Uhr.

Die Jodprobe der Abfälle ergab: alle Blätter vor Beginn des Versuches völlig stärkefrei, am Ende desselben beträchtliche Stärkebildung.

Es wiegen trocken:

800 qcm früh 8 Uhr .	4,252 g
700 qcm $2^3/_4$ Uhr . .	4,498 g
1 qm Blattfläche wiegt trocken:	
um 8 Uhr früh . . .	53,15 g
$2^3/_4$ Uhr Nachmittags .	64,27 g
Zunahme in $6^3/_4$ Stunden	11,12 g.

Zunahme von 1 qm in 1 Stunde = 1,648 g.

Bei einem anderen Versuch dieser Art hatte ich nicht die Hälften der Blätter, sondern ganze Blätter miteinander verglichen, was ich später als nicht ganz korrekt erkannte; dennoch will ich anführen, daß dieser Versuch pro 1 qm in 1 Stunde die Gewichtszunahme von 1,735 g ergab, was immerhin mit dem vorigen hinreichend übereinstimmt.

§ 7. Betrachtungen über die Assimilationsenergie.

Ich stelle zunächst die im vorigen Paragraphen gewonnenen Resultate zusammen.

1 qm Blattfläche ergab pro Stunde:

A. Ausgewanderte Stärke in der Nacht.

I. Helianthus . . .	0,964 g
II. Cucurbita . . .	0,828 g.

B. Gewichtszunahme am Tage.

a) Blätter am Stamm.

III. Helianthus . . . 0,914 g
IV. Cucurbita . . . 0,680 g
V. Rheum . . . . 0,652 g.

b) abgeschnittene Blätter im Wasser stehend.

VI. Helianthus . . . 1,65 g.

Diese unmittelbaren Beobachtungsergebnisse geben an und für sich noch keine richtige Vorstellung davon, wie viel Stärke in 1 qm Blattfläche während einer Stunde bei einer der genannten Pflanzen durch Assimilation erzeugt wird.

Zunächst gelten die genannten Zahlen nicht für 1 qm des eigentlichen Mesophylls; denn wenn auch bei dem Herausschneiden der beobachteten Flächenstücke, wie erwähnt, die großen vorspringenden Rippen vermieden wurden, so enthielten dieselben doch noch zahlreiche dünnere Rippen, und unzählige kleine, ein Maschennetz bildende Nerven. Es würde sehr schwer sein, den Flächenraum derselben genau zu bestimmen. Eine ungefähre Schätzung läßt mich annehmen, daß etwa $^1/_4$—$^1/_5$ der gemessenen Flächen auf die Nervatur entfallen könnte, wonach also die genannten Zahlen betreffs des Mesophylls allein zu korrigiren wären.

Ich sehe jedoch einstweilen, wo noch so viele Zwischenglieder der Betrachtung fehlen, keinen großen Vortheil in diesem Verfahren, halte es vielmehr zunächst für das Richtige, zu fragen, wie groß die Leistung einer Blattfläche von 1 qm per Stunde überhaupt ist.

Aber auch diese Frage bedarf zunächst einer Klärung.

Die genannten Zahlen gelten streng genommen nur für die unmittelbar beobachteten Blätter der betreffenden Pflanze; ferner nur für die betreffenden Beobachtungstage oder eigentlich für die betreffenden Stunden, d. h. für die während derselben herrschende Temperatur und Lichtintensität; und auch die Mischung des Lichtes aus verschieden brechbaren Strahlen wechselt je nach dem Wetter von Stunde zu Stunde. Wir kennen auch nicht den Einfluß der Feuchtigkeit und Bewegung der Luft auf die Assimilation in den Blättern. Dies alles zu erwägen und durch Beobachtung festzustellen, wird Sache späterer Arbeiten sein müssen.

Trotz all dieser Bedenken halte ich die mitgetheilten Zahlen für beachtenswerth; sie geben uns eben doch ein Bild davon, was die Blätter an einem günstigen Sommertage bei kräftig vegetirenden Pflanzen zu leisten vermögen. Aber von der Assimilationsenergie, d. h. von der Größe des Stärkequantums, welches durch Assimilation in 1 qm Blatt per Stunde erzeugt wird, geben sie trotzdem nur dann eine richtige Vorstellung, wenn man in Betracht zieht, daß auch bei vollem Tageslicht, selbst im Sonnen-

schein und um so mehr, je höher die Temperatur steigt, die assimilirte Stärke aufgelöst und fortgeführt wird. Die in einigen Tagesstunden constatirte Gewichtszunahme der Blätter bezeichnet also nur einen Rest von Stärke, der nicht aufgelöst und fortgeführt worden ist.

Könnten wir daher genau bestimmen, wieviel von der assimilirten Stärke aufgelöst und fortgeführt worden ist, so würde dieser Verlust, addirt zu dem durch die Wägung bestimmten Rest, die Assimilationsenergie bezeichnen.

Allein die während der Assimilation aus den Blättern entführte Stärke läßt sich gegenwärtig auch nicht genau bestimmen, vielmehr nur angeben, wieviel wenigstens fortgeführt werden mag. Ich habe bestimmte Zahlen für die in den Nachtstunden aus den Blättern verschwundene Stärke angegeben und gezeigt, daß bei hoher Tagestemperatur die Entleerung eine weit kräftigere sein kann, so daß in 5 Stunden bei 23—37° C. der ganze von den 6 vorhergehenden Stunden bei 15—25° C. erübrigte Rest fortgeführt werden kann. Auch ist zu beachten, daß die Werthe der in einer Nachtstunde fortgeführten Stärke wahrscheinlich zu klein sind, weil die völlige Entleerung der Blätter schon vor Sonnenaufgang vollendet sein könnte, die Zahl der Stunden also zu groß angenommen wäre.

Will man sich daher vor Übertreibung schützen, und sich zunächst an die durch Beobachtung gewonnenen Zahlen halten, so wird man vielleicht am besten thun, die in der Nacht entleerte, direkt beobachtete Stärkequantität der Betrachtung zu Grunde zu legen, und wenn wir beachten, daß am Tage bei höherer Temperatur das fortgeführte Stärkequantum wahrscheinlich viel größer ist, als das in den kühlen Nachtstunden beobachtete, so gewinnen wir Zahlen, denen man keine Übertreibung nachsagen kann.

Addirt man also die pro Quadratmeter in einer Stunde der Nacht aus den Blättern verschwundene Stärke zu der während einer Tagesstunde beobachteten Gewichtszunahme, so erhält man auf Grund der oben genannten Zahlen folgendes:

für Helianthus:

Verlust durch Fortführung	0,964 g
+ Rest an Stärke im Blatt	0,918 g
Summe des Assimilationsproduktes =	1,882 g.

für Cucurbita:

Verlust der ausgewanderten Stärke .	0,822 g
+ Restirende Stärke im Blatt . . .	0,680 g
Summe der assimilirten Stärke . =	1,502 g.

Eine gewisse Probe für die Richtigkeit der gemachten Annahme liefern die beiden Beobachtungen über die Gewichtszunahme von Helianthusblättern, welche am Tage abgeschnitten im Wasser standen und deren Assimi-

lationsprodukt an der Auswanderung verhindert war.[1]) Der als ganz gelungen zu betrachtende Versuch hatte, wie oben angegeben, pro Quadratmeter und Stunde eine Gewichtszunahme von 1,65 geliefert. Der weniger genau durchgeführte Versuch ergab 1,735, das Mittel aus beiden giebt 1,7, also eine Zahl, welche zwischen den beiden theoretisch gewonnenen mitten inne liegt, was um so befriedigender ist, als man bei derartigen Untersuchungen ja überhaupt nur auf ungefähre Übereinstimmung rechnen darf.

Nehmen wir nochmals das Mittel aus den beiden für Helianthus gewonnenen Zahlen, so erhalten wir als Assimilationsprodukt

pro Quadratmeter in einer Stunde . . 1,8 g
und für Cucurbita . . . . . 1,5 g.

Bei dieser Berechnung, die ja überhaupt nur eine ungefähre Vorstellung und nur für den Fall sehr günstiger Assimilationsbedingungen geben soll, können wir den in einer Stunde stattgehabten Athmungsverlust übergehen. Für Helianthus würde derselbe nach Weber in 24 Stunden pro Quadratmeter nur etwa 1,7 g, also in einer Stunde 0,07 g ausmachen.

Es ist ja wahrscheinlich, daß für Helianthus und Cucurbita noch günstigere Beleuchtungs- und Temperaturverhältnisse, als bei meinen Versuchen eintreten können, und gewiß ist, daß je nach der Ungunst des Wetters zu gewissen Stunden oder Tagen nur die Hälfte, vielleicht nur ein Zehntel der genannten Stärkemenge assimilirt wird. Die gewonnenen Zahlen, 1,8 und 1,5, beanspruchen also nur die Assimilationsenergie für die genannten Bedingungen bei den untersuchten Pflanzen ungefähr anzugeben.

Unter diesen Einschränkungen und zugleich bei der Erwägung, daß bei günstiger Morgensonne schon in den ersten Tagesstunden oft sehr viel Stärke gebildet wird, was auch bei günstiger Abendbeleuchtung der Fall sein dürfte, können wir nun die beiden Zahlen dazu benutzen, uns eine Vorstellung von dem gesammten Stärkequantum zu bilden, welches an einem schönen und langen Sommertag von so kräftigen Pflanzen wie Helianthus und Cucurbita gebildet wird. Vielleicht ist es aber für diesen Zweck richtiger, das arithmetische Mittel aus den oben für beide Arten gefundenen Zahlen zu nehmen, und somit von der Ansicht auszugehen, daß bei

1) Man könnte vielleicht vermuthen, daß die Lösungsprodukte am Querschnitt des Blattstiels in das Wasser übertreten; obgleich längst und zahlreich gemachte Wahrnehmungen mich eines anderen belehrt hatten, machte ich doch noch folgenden Versuch: zwei große Blätter von Rheum, am Abend des 12. August abgeschnitten, wurden in einem Maßcylinder mit Wasser über Nacht stehen gelassen. In 15 Stunden sogen die Stiele 35 ccm Wasser; es blieben nur 15 ccm übrig; die Zuckerprobe ergab jedoch in letzteren nur eine kaum merkliche Spur von Zucker, obgleich der Stiel ziemlich reich an Zucker war und eine sehr beträchtliche Verminderung der Stärke im Mesophyll stattgefunden hatte. Bekanntlich geben auch sehr zuckerreiche Scheiben von Runkelrüben, in Wasser liegend, kaum Spuren von Zucker an dieses ab. Man kann daher ein in Wasser gestelltes Blatt als am Querschnitt des Stieles bezüglich der Stoffbewegung gesperrt betrachten.

diesen Pflanzen in 1 qm Blattfläche pro Stunde bei gutem Wetter rund 1,6 g Stärke gebildet wird.

Die Tageslänge von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang beträgt Mitte Juni $16^1/_4$ Stunden und sinkt bis Mitte August auf $14^1/_2$ Stunden. Diese 8 Wochen sind für unsere Pflanzen die Zeit der kräftigsten Vegetation.

Nehmen wir daher die mittlere Tageslänge zu 15 Stunden an, so ergiebt sich also, daß 1 qm Blattfläche au einem solchen Tage

$15 \times 1{,}6 = 24$ g Stärke assimilirt, wozu noch
ein Athmungsverlust von ea. 1 g zu addiren wäre.

Unter den von Weber beobachteten Pflanzen befand sich auch Helianthus, für den er pro Quadratmeter in 10 Stunden 5,559 g angiebt, was in 15 Stunden nur 8,338 g ergeben würde, also nur $^1/_3$ des von mir angegebenen Werthes. Diese Verschiedenheit kann jedoch nicht überraschen; denn Weber's Angabe ist ihrer ganzen Berechnung nach ein Mittelwerth aus der gesammten Vegetationszeit der Pflanze, in welcher günstige und ungünstige Tage eingeschlossen sind. Zudem wareu die Vegetationsbedingungen bei Weber's Beobachtungen überhaupt im allgemeinen ungünstig: seine Pflanzen standen hinter der Glaswand eines Gewächshauses, erhielten daher ein schwächeres Licht als im Freien, und zudem war im Verhältniß zur Beleuchtung wohl auch die Temperatur häufig eine zu hohe. Was aber noch weit ungünstiger wirken mußte, ist der Umstand, daß seine Pflanzen in Blumentöpfen eingewurzelt waren. Welchen überaus ungünstigen Einfluß dies auf die Assimilationsthätigkeit gerade von Helianthus, und ebenso auch von Cucurbita ausübt, habe ich bei meinen vielen Kulturen seit 25 Jahren zur Genüge erfahren Selbst in sehr großen Blumentöpfen, und selbst dann, wenn diese im Garten in die Erde eingegraben sind, bleiben auch die bestentwickelten Exemplare doch nur Zwerge im Vergleich zu den kolossalen Größen, welche Sonnenrose und Kürbis, im freien Gartenland eingewurzelt, erreichen.

Diese Erwägungen sollen daher nicht etwa die von Weber mit äußerster Sorgfalt gewonnenen Zahlen bemängeln, vielmehr zeigt gerade der relativ geringe Werth, den er für die Assimilationsgröße gewanu, die Genauigkeit seiner Beobachtung, aber ebenso, darf ich sagen, ist es auch Vertrauen erweckend, daß ich einen fast dreifach so großen Werth gefunden habe, weil dies den dargelegten Verhältnissen und allem, was wir theoretisch über die Sache sagen können, durchaus entspricht.

Dieses Resultat ist aber auch insofern ein erfreuliches, weil meine Untersuchung über die Assimilationsgröße nach einer Methode angestellt wurde, die mit der von Weber benutzten (aber gleichfalls von mir angegebenen) gar keine Ähnlichkeit besitzt.

Schließlich können wir uns jetzt noch fragen, wie groß wohl die assimilatorische Leistung einer ganzen Helianthuspflanze oder einer Kürbispflanze zur Zeit der kräftigsten Vegetation, wenn die Fruchtbildung beginnt,

also etwa Anfang August, während eines 15stündigen heiteren Tages sein mag, wobei ein günstiger nahrungskräftiger Boden vorausgesetzt wird.

Ich habe zu diesem Zwecke die gesammte Blattfläche zweier Pflanzen im August gemessen und folgendes gefunden: eine recht kräftige, mit zahlreichen Blüthenköpfen versehene, aber keineswegs zu den größten zählende Pflanze von Helianthus annuus besaß

145 Blätter aller Größen zusammen = 1,5 qm.

Eine Kürbispflanze, deren Wurzel drei kräftige Hauptsprosse ernährte, an denen unreife Früchte saßen, ergab

116 Blätter = 7,3 qm.

Die Assimilationsgröße dieser beiden Pflanzen würde also in einem 15stündigen Tage ergeben:

für Helianthus . . . 36 g
für Cucurbita . . . 185 g.

Auch diese Zahlen sind sicherlich noch nicht als die höchsten Werthe zu betrachten, da es weit größere Pflanzen der genannten Arten giebt, die in derselben Vegetationszeit eine viel größere Quantität von Pflanzensubstanz erzeugen.

§ 8. Weitere Schlufsfolgerungen.

Aus der vorausgehenden Darstellung ergeben sich 2 Thatsachen von besonderem Gewicht:

1. daß man durch die Jodprobe sehr leicht konstatiren kann, ob überhaupt Stärke in den Blättern ist, oder nicht, ob ihr Quantum zu- oder abnimmt;

2. daß man im stande ist, die durch Assimilation angesammelte ebenso wie die nach der Auflösung fortgeführte Stärke nach einer sehr einfachen und bequemen Methode ihrem Gewicht nach zu bestimmen.

Durch verständige Anwendung beider Methoden wird es gelingen, eine lange Reihe der wichtigsten Fragen der Pflanzenphysiologie zu beantworten.

Hier beschränke ich mich einstweilen darauf, einige dieser Fragen anzuregen.

1. Es ist eine in der Pflanzenkultur immer wiederkehrende Thatsache, daß warme Nächte nach heiteren, warmen Tagen das Gedeihen der Pflanzen ganz besonders fördern, vor allem aber solcher Pflanzen, die in wärmeren Klimaten heimisch sind. Ich habe nun gezeigt, daß bei manchen Pflanzen, wie Helianthus, Datura, Atropa, Beta u. a. selbst in sehr kühlen Sommernächten, wo die Temperatur bei Sonnenaufgang bis auf 6° C. herabsinkt, noch eine vollständige Enteerung der Stärke aus den Blättern in den Stamm stattfindet, während bei anderen Pflanzen, wie bei dem Tabak, dem Maulbeerbaum, Catalpa u. a., dies nur in warmen Nächten gelingt.

Es ist aber klar, daß eine Pflanze um so kräftiger wachsen kann, je

vollständiger die am Tage assimilirte Stärke während der Nacht in den Stamm übertritt, um von dort aus in die Knospen, Wurzelspitzen, Blüthen und jungen Früchte übergeführt zu werden und daselbst als Wachsthumsmaterial zu dienen. Bleibt in den Blättern aber ein beträchtlicher Rest des Assimilationsproduktes zurück, so kann dasselbe auch nicht zum Wachsthum jener Organe verwendet werden: und was vielleicht ebenso wichtig ist, wenn am Morgen noch beträchtliche Quantitäten von Stärke im Chlorophyll der Blätter vorhanden sind, so wird, wie man annehmen darf, die Neubildung derselben beeinträchtigt, da ja in einem Chlorophyllkorn nicht jedes beliebige Quantum von Stärke Raum findet. Andererseits ist aber auch zu bedenken, daß eine Pflanze, wie etwa der Tabak, deren Blätter in kalten Nächten (z. B. im Oktober bei 8—6° C.) nicht merklich entleert werden, doch noch fortwachsen kann, wenn nur während der Tagesstunden eine günstigere Temperatur herrscht; weil bei dieser ebenfalls Abfluß von Stärke nach den wachsenden Theilen hin stattfindet.

2. Vielfach werden Blätter verschiedenster Pflanzen zu besonderen landwirthschaftlichen oder technischen Zwecken verwendet. Da nun, wie ich gezeigt habe, die Blätter am frühen Morgen stärkefrei, oder doch stärkearm sind, am Nachmittag und Abend dagegen gewöhnlich sehr stärkereich, so leuchtet ohne weiteres ein, daß das Material, welches man am Morgen erntet, ein wesentlich anderes ist als am Abend, und ähnliche Differenzen ergeben sich bei kühlem und sehr warmem Wetter.

Die Blätter des Weinstocks und der Runkelrübe, im höheren Norden auch die verschiedener Bäume, werden als Futter für Hausthiere benutzt: es war aber bisher unbekannt, daß dieses Futter eine ganz wesentlich andere Mischung von Kohlehydrat und Eiweißsubstanz besitzt, je nachdem die Blätter am Morgen oder am Abend, bei kühlem oder heißem Wetter geerntet worden sind. Dasselbe Bedenken würde bei der Zucht der Seidenraupe zu beachten sein, denn die stärkefreien Blätter des Maulbeerbaumes, wenn sie am frühen Morgen geerntet sind, bieten eine Nahrung dar, welche sehr reich an Wasser und Eiweißsubstanzen, am Abend dagegen reich an Stärke ist. Ebenso wird sich der Unterschied in solchen Fällen geltend machen, wo spezifisch eigenthümliche Stoffe der Blätter das Ziel der Pflanzenkultur darbieten: so z. B. bei dem Tabak und dem chinesischen Thee. Die dem Raucher und Theetrinker wichtigen Stoffe der Blätter müssen am frühen Morgen, nach einer warmen Nacht, wo keine oder wenig Stärke in den Blättern ist, in relativ viel größerer Menge als am Abend vorhanden sein; Tabakblätter, am Nachmittag geerntet, enthalten ein großes Quantum Stärke, erhöhen das Gewicht der Waare durch einen Stoff, der als ganz gleichgültiger Ballast für den Konsumenten gelten muß, das Produkt aber vertheuert, und bei dem Tabak sicherlich auch verschlechtert. Ich habe mir sagen lassen, daß in der Pfalz die Ernte der Tabakblätter am Morgen stattfindet, was also ganz rationell wäre; wie es mit dem Thee steht, weiß ich nicht.

3. Wir haben gegenwärtig zahlreiche Aschenanalysen, vorwiegend von wichtigen Kulturpflanzen, unter denen zum Theil auch die Aschengehalte der Blätter Beachtung verdienen. Aus dem in dieser Richtung wichtigsten Werke von Emil Wolf (Aschenanalyse, Berlin 1871) entnehme ich beispielsweise folgende Daten:

Für die Blätter des Rothklees (p. 61) finde ich den Aschengehalt zwischen 7,3 und 9% der Trockensubstanz. Für das »Kraut«, d. h. also vorwiegend die Blätter der Kartoffel, schwankt der Aschengehalt in verschiedenen Monaten zwischen 5,1 und 8,5%.

Bei den Blättern der Runkelrübe (p. 77) schwankt derselbe zwischen 13 und 17,8%.

Bei den Blättern der Zuckerrübe (p. 87) in den Monaten Juli bis Oktober zwischen 9,5 und 20,7%.

Der Aschengehalt der Maulbeerblätter (p. 120) zwischen 7,5 und 13,4%.

Ohne den Einfluß des Alters, des Bodens, der Düngung oder auch der Varietäten bezweifeln zu wollen, muß aber hervorgehoben werden, daß bei der Aschenanalyse der Blätter mehr als alles andere der Stärkegehalt zu beachten wäre, der fortwährend mit der Tagesstunde und dem Wetter wechselt. Es hat keinen bestimmten Sinn, keine allgemeine Geltung für eine Pflanzenart, zu sagen, die Blätter enthalten 6 oder 10% der Trockensubstanz an Asche, so lange man den wechselnden Stärkegehalt nicht kennt.

Daß es sich hier nicht etwa um Haarspaltereien handelt, sondern um Dinge, welche für die Agrikultur von höchster Bedeutung sein können, leuchtet ohne weiteres ein, wenn ich die betreffenden Zahlen aus § 6 anführe.

Dort zeigte sich, daß 1 qm Blattfläche trocken wiegt:

bei Helianthus:

am Abend	80,44 g
am Morgen . . .	70,80 g
Differenz	9,64 g,

d. h. die Trockensubstanz eines Blattes vermehrt oder vermindert sich von 100 auf 113,5.

Bei Cucurbita:

am Abend	59,92 g
am Morgen . . .	51,22 g
Differenz	8,70 g,

d. h. das Trockengewicht eines Blattes schwankt von 100 auf 116,8.

Bei Helianthus:

5 Uhr früh . . .	43,62 g
3 Uhr Nachmittags .	52,76 g
Differenz	9,14 g,

d. h. das Trockengewicht eines Blattes schwankt in 10 Tagesstunden zwischen 100 und 121.

Diese sehr bedeutenden Schwankungen des Trockengewichts werden aber, wie wir wissen, durch temporäre Erzeugung und Abfuhr von Stärke hervorgebracht, und es ist nicht wahrscheinlich, daß auch die Mineralstoffe in proportionalen Massen ein- und auswandern. Daraus folgt aber, daß die Blätter am Morgen nach der nächtlichen Entleeruug der Stärke relativ mehr Asche enthalten müssen, als am Abend oder am Mittag, wenn neue Stärke angehäuft worden ist; oder um bei unserem letztgenannten Beispiel zu bleiben: 100 g Trockensubstanz der Blätter von Helianthus können am Morgen gerade so viel Asche enthalten, wie 121 g Blätter, welche um 3 Uhr Nachmittags geerntet worden sind.

Da es nun so leicht ist, durch Einsammeln der Blätter bei Sonnenaufgang ganz stärkefreies Material zu ernten, so wäre man in der Lage, den Aschenanalysen ein von dem Stärkegehalt unabhängiges Trockengewich zu Grunde zu legen, und so das jeder Pflanzenart spezifisch Eigenartige betreffs des Aschengehaltes der Blätter zu konstatiren; ganz besonders aber wäre dies dann zu wünschen, wenn z. B. die Blätter von Pflanzen untersucht und verglichen werden sollen, die auf verschieden gedüngtem Boden gewachsen sind, oder Blätter derselben Art, aber von verschiedenem Alter.

Ein viel übersichtlicheres und besser zu verwerthendes Bild von der chemischen Zusammensetzung der Blätter würden wir jedoch gewinnen, wenn man fortan bei quantitativen Analysen derselben nicht das Trockengewicht als Einheit zu Grunde legte, um darauf die Quantitäten der einzelnen Stoffe zu beziehen, wie es bei prozentischen Angaben bisher geschieht, sondern die Gewichtsmengen jedes einzelnen Stoffes auf einen Quadratmeter der frischen Blattfläche berechnete. Die so gewonnenen Zahlen sind dann ganz unabhängig vom Trockengewicht, die im Blatt stattfindenden physiologischen Veränderungen treten in den Analysen deutlicher hervor, und wenn es zu gewissen Zwecken nöthig sein sollte, das Trockengewicht einer prozentischen Berechnung zu Grunde zu legen, so ergiebt sich dasselbe bei der vorgeschlagenen Untersuchungsweise ja nebenbei auch noch.

Bei den grünen assimilirenden Blättern kommt es ja, bei Beurtheilung ihrer physiologischen Leistungen, überhaupt nur wenig auf ihr Gewicht an; die Hauptsache ist die Flächenausbreitung, denn von ihr hängt die Transpiration, also die Zufuhr der Mineralstoffe, die Aufnahme der Kohlensäure und die Erzeugung der Stärke ab.

Diese Bemerkungen betreffen natürlich nur diejenigen Analysen, welche zum Zweck pflanzenphysiologischer Schlußfolgerungen gemacht werden; wo es sich dagegen um rein praktische Zwecke der Landwirthschaft u. s. w. handelt, da wird die bisherige Berechnung in Prozenten der Trockensubstanz ihren alten Werth behalten.

Würzburg, den 17. October 1883.

—

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: 3

Autor(en)/Author(s): Sachs Julius

Artikel/Article: Ein Beitrag zur Kenntniss der Ernährungsthätigkeit der Blätter 1-33