

ins Ungemessene hinausdrängt und die Spekulation bis in jene Urzeiten zurücktreibt, wo die amphigone Zeugung aus der monogonen hervorging. Was Darwin erreicht hat, das hat er in der Hauptsache auf dem bis dahin abseits gelegenen Gebiete der Domestikation erreicht. In gleicher Weise wird nach meiner Auffassung auch der weitere Fortschritt wesentlich geknüpft sein an die Ergründung aktueller Vorgänge. Und hier möchte ich glauben, dass die Wege der pathologischen Forschung auch Richtung und Mittel der biologischen Gesamtforschung bestimmen müssen. Sollte es mir gelungen sein, das Verständnis dafür durch meine Ausführungen in etwas gefördert zu haben, so wird die Frucht nicht ausbleiben.

(Fortsetzung folgt.)

Ueber die Sauerstoffabgabe der Pflanzen im Mikrospektrum.

Von **N. Pringsheim.**

(Fortsetzung.)

II. Die relative Lage der Maxima von Absorption und Sauerstoffabgabe chlorophyllgrüner Objekte bei simultaner Beobachtungsweise im Mikrospektrum.

Engelmann, von dessen Angaben wir hier notwendig ausgehen müssen, behauptet bekanntlich, zumal in seiner ersten Publikation, dass die Maxima der Absorption und Sauerstoffexhalation im Spektrum in ihrer Lage übereinstimmen. Wörtlich sagt er dort¹⁾ allerdings: „Bei von Null anwachsender Lichtstärke beginnt die Bewegung „der in unmittelbarer Nähe der grünen Zellen durch Sauerstoffmangel „zur Ruhe gekommenen Bakterien im allgemeinen zuerst im Rot, gewöhnlich zwischen *B* und *C* oder doch nahe bei *C*“.

Ich will nun gleich an dieser Stelle konstatieren, dass, wie ich im vorigen Abschnitte gezeigt habe, das Maximum der Absorption in chlorophyllgrünen Objekten niemals nahe bei *C* liegt, und dass somit, wenn man es genau nimmt, schon die eigne älteste Angabe Engelmann's über die Lage des Maximums der Sauerstoffabgabe mit der allgemeinen Folgerung, die er über die Koinzidenz der Maxima ziehen will, nicht übereinstimmt. Nach meinen eignen Erfahrungen mit dieser Methode muss ich es aber überhaupt in Abrede stellen, dass die Darstellung bei Engelmann ein getreues Bild der Erscheinung wiedergibt. Dies Bild der Ansammlung der Bakterien mit einer so entschiedenen und sichern Bevorzugung der Stelle im

1) Bot. Zeit., 1882, Nr. 26 und Pflüger's Archiv f. Physiol., Bd. XXVII S. 487.

Rot über *B* bis *C* Fraunhofer, wie es Engelmann gezeichnet hat, wird man vielleicht niemals wiederfinden und nur selten Fälle, die demselben ähnlich sehen.

Zunächst steht fest, dass der Eindruck, welchen der Beobachter in verschiedenen Versuchen erhält, ein wechselnder ist, und nicht einmal in ein und demselben Versuche sich unveränderlich gleich erhält. Vermehrt man die Anzahl der Versuche genügend und variiert man dieselben bezüglich der Dimensionen und Farbentönung der Objekte bei verschiedenen Intensitäten der Lichtquelle — wobei ja die Lagen der Maxima der Absorption sich durchaus nicht ändern — so wird es bald einleuchtend, dass der individuelle Charakter der Versuchsobjekte, und die Bedingungen, unter denen die Versuche angestellt sind, nicht ohne Einfluss auf die Lage des Maximums der Sauerstoffexhalation bleiben. Wir sehen daher sofort, dass die Erscheinungen der Sauerstoffabgabe noch von Ursachen bestimmt werden, die nicht in grader und direkter Proportionalität zur Größe der Absorptionen wirksam sind, und dass wir deshalb auch gar nicht erwarten können, durch die Beobachtungen im Spektrum unmittelbar zu einer positiven Einsicht in die Beziehungen zwischen Absorption und Sauerstoffabgabe der Gewächse zu gelangen.

Hiermit ist gleich von vornherein der wesentliche Teil meiner empirischen Befunde und ihre Abweichung von den Resultaten, die Engelmann und auch die Beobachter im Makrospektrum erhalten haben, bezeichnet. Das Gemeinsame und Uebereinstimmende in den Versuchen geht nur so weit, dass bei den chlorophyllgrünen Pflanzen unter allen Verhältnissen im Mikrospektrum die Energie der Bewegung der Bakterien und somit auch die Sauerstoffabgabe in der gesamten minder brechbaren Hälfte des Spektrums bedeutend größer gefunden wird, als in der brechbaren Hälfte. Diese geringere Sauerstoffabgabe im Blau-Violett ist übrigens, wie hier gleich betont werden soll, eine Thatsache, über welche alle Beobachter mit allen Methoden einig sind, und die, was besondere Beachtung verdient, auch Reinke, selbst nach Aufhebung der Dispersion im prismatischen Spektrum, wieder gefunden hat.

Bei Anwendung von Gas- und Petroleumlicht sinkt die Bewegung im Mikrospektrum im Blau auch bei weiter Spaltöffnung hinter *F* bis fast auf Null herab. Bei direktem Sonnenlicht reicht sie zwar noch über *G* hinaus, bleibt aber hier bei engem Spalt stets deutlich schwächer, als in der minder brechbaren Hälfte, nicht nur im Orange und Gelb, sondern auch im anfang Grün.

In dieser minder brechbaren Hälfte, Rot, Orange und Gelb bis kurz hinter *D*, ist die eigentliche Lage des Maximums, d. h. das Zentrum der Bakterienbewegung, nicht in jedem einzelnen Falle mit voller Sicherheit sofort und leicht festzustellen.

In manchen Fällen ist der Bakterienschwarm, der sich an das

Objekt herandrängt, zu unbestimmt verbreitet, oder die Orte der stärkern Ansammlung und Bewegung, die bemerkbar werden, sind doch zu wenig scharf ausgesprochen und die Bewegung zu unregelmäßig, um eine exakte Bestimmung zuzulassen.

So unterliegt z. B. bei lebhafter Sauerstoffausscheidung, und wenn zahlreiche Bakterien im Versuchstropfen vorhanden sind, die Gestalt und der Umriss des beweglichen Bakterienchwarms oft sichtlich einer fortwährenden Veränderung, und es wechseln die Zentren der Ansammlung in Rot und Orange hin und wieder schon während einer und derselben Beobachtung ihre Lage. Es ist dann hier ebenso wenig möglich etwa nach Intervallen von Wellenlängen die Stellen im Spektrum genau anzugeben, wo die Bewegung die größte Höhe erreicht, als es z. B. bei einem Mückenschwarm in der Luft möglich wäre, eine konstante und bestimmte Spitze desselben zu fixieren. Eine numerische Bestimmung der Bewegungsgröße an verschiedenen Stellen des Spektrums ist in solchen Fällen absolut ausgeschlossen.

Andererseits kann es für die Beurteilung ebenso störend sein, wenn die Sauerstoffausscheidung des Versuchsobjektes nur gering ist, oder wenn nur wenige und träge Bakterien in der Nähe desselben befindlich sind. Die geringe, mehr oder weniger ungleich über die Regionen des Spektrums verbreitete Bewegung, die sich in solchen Fällen einstellt, bringt dann gar keinen überzeugenden Eindruck von der Bevorzugung einzelner, bestimmt fixierbarer Orte hervor.

Solche Umstände, die zu vielen Trugschlüssen Veranlassung geben können, wenn man die Beobachtungen nicht mit großer Sorgfalt vornimmt, und über eine große Anzahl von Versuchen ausdehnt, beeinträchtigen leider die Brauchbarkeit der Methode, namentlich für quantitative Zwecke, in hohem Grade. Allein es gibt andererseits Fälle genug, wo jene störenden Bedingungen nicht vorwalten und ein bestimmteres Urteil über die Centra der Bakterien-Ansammlung möglich wird. Dann unterliegt zum mindesten die Bestimmung der Lage des Maximums keiner erheblichen Schwierigkeit mehr. Oft entscheidet hierüber schon der erste Blick. Man findet dann in der großen Mehrzahl der Fälle, in welchen eine genügend sichere Bestimmung möglich ist, den Hauptsitz der Bewegung entschieden hinter *C* Fraunhofer, beim Uebergang des Rot ins Orange, oder in Orange selbst, jedenfalls in dem Raume zwischen *C* und *D* Fraunhofer.

Das eigentliche Maximum, soweit es sich innerhalb dieser Region noch genauer begrenzen lässt, scheint etwa in der Mitte zwischen *C* und *D* zu liegen, doch ist auch dies Verhältnis, welches allerdings in vielen Fällen ausgedrückt ist, nicht absolut konstant und unänderlich; oft scheint es näher an *C*, oft näher an *D* zu rücken. Aber auch solche Fälle sind mir vorgekommen, wo dasselbe ganz nahe bei *C*, auf *C* selbst oder noch ein klein wenig vor *C* im Rot zu liegen schien. Andererseits aber sind mir auch bei chlorophyllgrünen

Objekten wiederum solche Fälle vorgekommen, in welchen das Maximum sogar noch hinter D schon im anfang Grün lag.

Vergleicht man, worauf es für uns grade wesentlich ankommt, die Bewegung in dem Teile des Rot, in welchem das Chlorophyllband I liegt, also die Bewegung in der Region bei B — oder auch von B bis $B \frac{1}{2} C$ — noch genauer mit der Bewegung in dem Raume, der unmittelbar hinter C Fraunhofer liegt, so wird man in Uebereinstimmung mit dem eben Gesagten sich gewöhnlich regelmäßig und leicht überzeugen können, dass sie bei B bis $B \frac{1}{2} C$ schwächer ist, als unmittelbar hinter C .

In einigen Fällen mag es unentschieden bleiben, ob die Bewegung im Rot unmittelbar vor C nicht ebenso stark, oder hin und wieder sogar stärker sei, als hinter C . Es ist dies jedoch für unsere Frage von wenig Gewicht, denn selbst in diesen zweifelhaften und unsichern Fällen, die nach meinen Erfahrungen immer die große Minderzahl bilden, liegt das Maximum doch noch immer in der Nähe von C , fällt demnach keineswegs mit dem Maximum der Absorption in der lebenden Pflanze zusammen, welches, wie wir im ersten Abschnitt gesehen haben, immer und unwandelbar bei B , oder höchstens bei $B \frac{1}{4} C$ liegt.

Nur wenn man sich flüchtig dem allgemeinen Eindruck überlässt, und den ganzen Raum bis C und über C hinaus, den bei dickern Objekten das Chlorophyllband I einnehmen kann, fälschlich als Maximum der Absorption ansieht, kann man bei einzelnen Versuchen zu dem Fehlschluss gelangen, dass das Maximum der Absorption und der Sauerstoffexhalation zusammenfallen.

Von der Stelle, wo die Bewegung im Mikrospektrum am stärksten ist, fällt sie allmählich und langsam, aber nicht immer stetig und kontinuierlich, nach dem blauen Ende hin ab.

Hin und wieder scheinen in dieser vom Rot nach Blau hin abfallenden Kurve einzelne Punkte am Objekte vorzugsweise von den Bakterien aufgesucht zu werden. Man könnte geneigt sein, diese als sekundäre Maxima aufzufassen und sie etwa — wie Engelmann es versucht hat — zu den Chlorophyllbändern II, III u. s. w. in Beziehung setzen wollen, allein es herrscht auch hier gar keine erkennbare Gesetzmäßigkeit und Konstanz in der Lage jener mittlern bevorzugten Stellen, und sie liegen außerdem keineswegs vorwiegend genau an den Stellen, wo die betreffenden Chlorophyllbänder, die man ja im Mikrospektrum nicht sieht, liegen müssten, wenn man die Verhältnisse der Chlorophyll-Lösungen auf diese mikroskopischen Objekte richtig überträgt.

Dies gilt auch, wie gleich hier bemerkt sein mag, noch für eine Stelle geringster Ansammlung der Bakterien, die hin und wieder bei Beobachtung in direkter Sonne im Grün etwa bei b Fraunhofer zur Erscheinung kommt und hier ein Minimum der Sauerstoffabgabe

anzeigt. Engelmann hat auf diese Depression und auf das Ansteigen der Bewegung hinter derselben im Blau besondern Nachdruck gelegt. Er sieht diese Erscheinung als den Ausdruck eines konstanten zweiten Maximums im Blau an, entsprechend dem Maximum der Absorption, welches im Blau auftritt. Hierüber an dieser Stelle nur soviel.

Auch diese Andeutung eines Minimums in der mittlern Region des Spektrums ist wiederum keineswegs eine konstante Erscheinung, die unter allen Verhältnissen auftritt. Hin und wieder ist sie da, meist fehlt sie. Dann aber fällt die Stelle bei b , wo dies Minimum liegt, wieder nicht genau mit dem Minimum der Absorption im Chlorophyll überein, welches ja hier in den mikroskopischen Objekten wegen der Verschiebung der Bänder nach dem roten Ende hin weit vor E liegen müsste, wenn es überhaupt bei diesen Objekten zur Anschauung käme.

Endlich aber, und dies ist für unsere Frage hier von Bedeutung, ist die Bakterienbewegung bei F und im ganzen Blau-Violett — selbst in den Fällen, in welchen eine kleine Depression bei b beobachtet wird — doch immer und ohne Ausnahme noch entschieden bedeutend schwächer, als an den andern Stellen im Gelb-Grün; z. B. als an jeder beliebigen Stelle in der Region D bis E Fraunhofer.

Das unmittelbare, empirische Ergebnis meiner Untersuchungen an chlorophyllgrünen Pflanzen im Mikrospektrum (*Cladophoren*-, *Oedogonien*-, *Ulotricheen*-, *Spirogyren*-, *Mesocarpus*-Arten u. s. w.) wie sich dasselbe erfahrungsmäßig ohne jede weitere theoretische Deutung herausstellt, lässt sich demnach dahin zusammenfassen.

- 1) Eine konstante Koinzidenz der Maxima von Absorption und Sauerstoffexhalation im Mikrospektrum findet weder im Blau noch im Rot statt; weder bei künstlicher Beleuchtung, noch im diffusen Tageslicht, noch in direkter Sonne.
- 2) Wenn die Bewegung im Rot nahe bei C auch häufig eine große Energie zeigt, so liegt doch das Maximum derselben vielleicht nie an der Stelle maximalster Absorption bei $B \frac{1}{4} C$, sondern gewöhnlich deutlich hinter C und D Fraunhofer, und seine Lage hier unterliegt ferner selbst bei Exemplaren derselben Pflanze nicht unerheblichen Schwankungen.
- 3) In dem ganzen blau-violetten Ende des Spektrums ist die Bewegung immer im Verhältnis zur Größe der hier stattfindenden Absorption nur äußerst schwach.

Dies wäre nicht möglich, wenn es sich bei der Sauerstoffabgabe in der Pflanze nur um ein einfaches Zersetzungsphänomen der Kohlensäure handelte, welches von den Absorptionen im Chlorophyllfarbstoff in direkter Proportionalität von ihrer Größe abhängig wäre.

Dieser Schluss ist ohne weiteres einleuchtend, wenn man sich erinnert, dass das eine Maximum der Absorption in den grünen

mikroskopischen Objekten bei *B* liegt, und das zweite Maximum das ganze blau-violette Ende des Spektrums von $b \frac{1}{2} F'$ an einnimmt, und wenn man festhält, dass diese Absorptionsmaxima ihre Lage unter allen Umständen bei allen chlorophyllgrünen Objekten festhalten. Dieser Schluss wäre ferner auch dann richtig, wenn selbst hier und da — wie ich durchaus nicht absolut bestreiten will — das Maximum entschieden und genau bei *B* gefunden würde. Denn der Satz, dass eine direkte Proportionalität zwischen der Größe der Absorption im Chlorophyllfarbstoffe und der Größe der Sauerstoffabgabe der Pflanze besteht, welcher durch die Koinzidenz der Maxima beider erwiesen werden soll, verlangt eben die konstante Uebereinstimmung der Lage der Maxima, die aber jede nur einigermaßen ausgedehnte Versuchsreihe im Mikrospektrum sofort zurückweisen wird.

III. Ergebnisse und Kritik der successiven Beobachtungsweise im Mikrospektrum.

Die bisher mitgeteilten Resultate habe ich, wie angegeben, mit der Bakterien-Methode in derjenigen Form ihrer Anwendung erhalten, welche Engelmann als simultane Beobachtungsweise bezeichnet. Engelmann will aber mit Hilfe seiner Methode unter Anwendung derselben in einer zweiten Form, die er successive Beobachtungsweise nennt, numerisch genaue Resultate über das Verhältnis der Sauerstoffabgabe in den verschiedenen Regionen des Spektrums erlangt haben, die seine Anschauungen in exakter Weise rechnermäßig bestätigen sollen.

Die gewonnenen Zahlen legt er den von ihm gezeichneten, sogenannten Assimilationskurven der Pflanzen zugrunde. Da meine eignen Befunde bei simultaner Beobachtungsweise hiermit im Gegensatz standen, so war ich genötigt, auch diese zweite Anwendungsweise der Methode einer Prüfung zu unterziehen. Sie fiel nicht günstig aus. Bei dieser successiven Beobachtungsweise stellt Engelmann das Objekt nicht mehr, wie bei der simultanen, senkrecht, sondern parallel zu den Fraunhofern im Spektrum ein, und führt dasselbe dann nach und nach, grade so wie dies bei den Versuchen im objektiven Makrospektrum geschieht, über das kleine Spektrum im Gesichtsfelde hinweg. Die Bestimmung der Größe der Sauerstoffabgabe an jeder Stelle erfolgt durch die Bestimmung der Minimalweite der Spaltöffnung des Licht zuführenden Apparates, bei welcher die Bewegung an der untersuchten Stelle beginnt, und die Größen der Sauerstoffabgabe in den verschiedenen Farben stehen dann im umgekehrten Verhältnis der gefundenen Spaltweiten, die für die Bewegung in ihnen nötig waren. Für jede Stelle im Spektrum muss demnach eine besondere Messung der Spaltweite erfolgen.

Wie man sieht, ist dies Verfahren viel umständlicher, und das

Ergebnis nicht so übersichtlich und ansehlich, als bei der simultanen Beobachtungsweise, und die Bakterien-Methode hätte in dieser Form der Anwendung, selbst wenn sie zu quantitativen Messungen brauchbar wäre, kaum einen Vorteil vor der Beobachtung im objektiven Makrospektrum voraus. Es fehlt hier die Gleichzeitigkeit der Beobachtung und der unmittelbare Vergleich der Absorptions- und Exhalationsgrößen im ganzen Spektrum, die den großen Vorzug der simultanen Beobachtungsweise bilden. Allein die Möglichkeit genauer numerischer Größenbestimmungen der Sauerstoffabgabe durch die Messung der minimalsten Spaltweite ist überhaupt eine illusorische.

Gewiss darf man annehmen, dass die Größen der Sauerstoffabgabe umgekehrt proportional der Spaltweite sind, durch welche das Licht auf das Objekt einfällt. Allein die Methode, die Engelmann befolgt, setzt zugleich voraus, dass auch der Sauerstoffreiz, welcher die erste Bewegung bei den Bakterien hervorruft, unter allen Umständen stets von derselben kleinen Sauerstoffmenge ausgelöst wird, und dass die Lebhaftigkeit der Bewegung der Sauerstoffmenge proportional bleibt.

Dies ist nicht der Fall. Das Eintreten der Bewegung an ruhenden Bakterien erfolgt keineswegs in so notwendiger und alleiniger Abhängigkeit von einer bestimmten kleinen Quantität vorhandenen Sauerstoffs, dass es erlaubt wäre, den Anfang der Bewegung als Maßeinheit einer stets gleichen, minimalen Menge erzeugten Sauerstoffes zu betrachten. Man kann die Bakterienbewegung nicht einmal als ein vollgiltiges Reagens benutzen, wenn es sich darum handelt nachzuweisen, dass Sauerstoff nicht zugegen ist. Tritt die Bewegung ein, so ist sie allerdings in normalen Fällen¹⁾ ein Zeichen

1) Ich sage in normalen Fällen, weil es auch andere Reize gibt, die von den Pflanzenzellen ausgehen und eine Bewegung der Bakterien hervorrufen können. Auch an gesunden Zellen, die nicht grün sind, habe ich unter Umständen eine sehr lebhaftige Bewegung der Bakterien an lokalen Stellen eintreten sehen, ohne dass es möglich war, die Ursache sicher festzustellen, die jene Bewegung hervorrief. So in Präparaten, die in der Engelmann'schen Weise hergestellt waren, in welchen aber anstatt grüner Konferven sich *Saprolegnia*-Schläuche befanden. In dem mit Vaseline verschlossenen Bakterienpräparat trat nach mehreren Stunden, obgleich die Bewegung überall sonst im Tropfen zur Ruhe gelangt war, unmittelbar am *Saprolegnia*-Schlauche an einer Stelle ein lebhaftes Bakteriengewimmel auf, grade so wie sonst nur an einem beleuchteten grünen Objekte. Sichtlich ging hier der Reiz für die Bewegung vom *Saprolegnia*-Schlauche aus, und die Bewegung blieb auch bei veränderter Beleuchtung an jener Stelle bestehen, und erhielt sich dort auch bei Verdunklung des Präparates. Dieselbe Erscheinung kann man übrigens auch an krankhaft veränderten und toten grünen Zellen wahrnehmen. Auch von diesen kann ohne Rücksicht auf Beleuchtung und Farbe hin und wieder von einzelnen Stellen ein Bewegungsreiz auf die Bakterien ausgehen, der an lokalen Stellen ein ähnliches Schwärmen und Wimmeln der Bakterien hervorrufen kann, wie sonst die Sauerstoffexhalation im Lichte. Ich bemerke aber ausdrücklich, dass diese

für vorhandenen Sauerstoff; bleibt sie aus, so folgt aber daraus immer noch nicht, dass Sauerstoff fehlt. Eine bestimmte minimale Menge Sauerstoff muss eben nicht notwendig die Bewegung an den Bakterien hervorrufen.

In diesem Umstande liegt nun das absolute Hindernis, den Beginn der Bakterienbewegung, so wie es Engelmann will, quantitativ analytisch im Spektrum zu verwerten. Man kann sich durch den Versuch leicht und direkt überzeugen, dass es so ist.

Erstens sind schon die Spaltweiten, bei welchen die Bewegung zuerst sichtbar wird, auch unter sonst gleichen Umständen für jede Farbe nicht konstant, was doch sein müsste, wenn die minimalste Spaltweite, bei welcher die Bewegung eintritt, als Maßeinheit für die gleiche Menge gebildeten Sauerstoffs dienen soll. Man sieht in derselben Farbe die Bewegung bald bei geringerer, bald erst bei weiterer Oeffnung eintreten. Wären ferner die Angaben von Engelmann richtig, so müssten sich die minimalen Spaltweiten, bei welchen die Bewegung im Rot, Gelb, Grün, Blau eintritt, in jedem Versuche zu einander verhalten, etwa wie:

$$1 : 2 : 4 : 8.$$

Ich habe dies anders gefunden. Die allergeringste Spaltweite, bei welcher in meinen Versuchen bei direkter Sonne die Bewegung auch in den wirksamsten Farben — im Gelb, Rot und Grün — überhaupt sichtbar wird, dürfte auf etwa 5 bis 6 μ anzuschlagen sein. Verringerte ich die Spaltweite noch mehr, so war überhaupt keine brauchbare Beobachtung mehr auszuführen. Nun steht aber so viel fest, dass ich die Bewegung bei 7 bis 8 μ Spaltweite bei direkter Sonne schon in allen Farben auch in der schwächsten Wirkung — im Blau — habe beobachten können. Unterschiede der minimalsten Spaltweiten für die Bewegung in den verschiedenen Farben in der Größe, wie sie Engelmann annimmt, sind daher gar nicht vorhanden, jedenfalls mit seiner Methode nicht nachweisbar.

Dasselbe, was für direkte Sonne gilt, gilt auch für Gaslicht. Bei dem starken Gaslicht, mit welchem ich gearbeitet habe und dessen Intensität stets gleich erhalten wurde, war die geringste Spaltweite, bei welcher die Bewegung im Rot, Gelb, Grün — in welchen Farben sie am leichtesten sichtbar wird — von mir schon bemerkt werden konnte, etwa auf 0,025 mm anzuschlagen. Bei einer Spaltweite = 0,030 mm sah ich die Bewegung wiederum meist schon leicht in allen Farben, auch im Blau, eintreten.

Die Inkonstanz und die Unbestimmtheit der minimalsten Spaltweite, die in den einzelnen Farben für die Bewegung der Bakterien

Erscheinungen zwar Vorsicht bei der Beurteilung der Vorgänge bedingen, aber die Verwertung der Bakterienbewegung als Sauerstoffindikator kaum beeinträchtigen.

nötig ist, lässt sich endlich noch in anderer Weise darthun. Es ist gar nicht nötig, zu der immerhin misslichen Bestimmung der Größe der Spaltweite zu greifen. Man erreicht dies leichter und noch entscheidender, wenn man bei simultaner Beobachtungsweise den Ort aufsucht, wo an einem Objekte, welches das ganze Spektrum durchzieht, die Bewegung der Bakterien zuerst auftritt. Ein vorwurfsfreies Verfahren ist etwa das folgende.

Nachdem in einem vorschriftsmäßig angefertigten, verschlossenen Bakterienpräparat das geeignete Objekt — z. B. ein gleichmäßig grüner *Clodophora*-Ast, am besten nicht dicker als etwa 0,07 mm bis 0,11 mm — senkrecht gegen die Fraunhofer eingestellt ist und bei irgend einer beliebigen, geringen Spaltweite sich eine genügende Ansammlung und lebhafte Bewegung der Bakterien längs des ganzen Fadens, soweit er genügend beleuchtet ist, eingestellt hat, wird das Präparat, ohne die Anordnung im Versuche zu ändern, allseitig verfinstert. Dies geschieht leicht durch passende Verdeckung des Objektisches und durch Verschieben eines ausreichenden Schirmes vor den Spiegel des Spektralapparates. Wird nun der Schirm nach kurzer Zeit — etwa nach 10 bis 30 Minuten — entfernt, so erblickt man das Objekt in seiner vorigen Lage im Spektrum, allein es herrscht im ersten Augenblicke, sofern die Verfinsterung lange genug gedauert hat, noch überall Ruhe, und es vergehen immerhin einige Sekunden, bis man die Bewegung der ersten Bakterien eintreten sieht. Man kann nun mit Sicherheit bestimmen, an welcher Stelle im Spektrum dies in dem gegebenen Falle geschieht.

Wäre der Beginn der Bakterienbewegung ein unfehlbares Zeichen für die ersten Spuren sich entwickelnden Sauerstoffes an dem Orte, an dem sie erscheinen, und würde ihr Eintritt das Maß für eine bestimmte minimale Menge desselben sein, so müsste man erwarten, die Bewegung bei enger Spaltöffnung nach und nach in den verschiedenen Farben auftreten zu sehen, in der Reihenfolge, in welcher sie bezüglich ihrer Energie auf Sauerstoffentwicklung aufeinander folgen. Bei einer genügend engen Spaltöffnung — der minimalsten für die wirksamste Farbe — müsste die Bewegung wenigstens im Anfange sogar nur an einer Stelle im Spektrum auftreten, dort, wo das Maximum der Sauerstoffausscheidung im Spektrum liegt. Wenn daher die Zahlenangaben von Engelmann richtig wären, und wenn es sich so verhielte, wie er und diejenigen annehmen, die das Maximum des Vorganges unabänderlich im Rot zwischen *B* und *C* finden wollen, so müsste offenbar die Bewegung in diesen Versuchen entweder nur im Rot auftreten, oder doch jedesmal zuerst im Rot, wie dies auch Engelmann an der früher schon angeführten Stelle seines ersten Aufsatzes wirklich angibt, dann im Orange, Gelb, Grün u. s. w.

Diese Versuche sind von mir unzählige mal angestellt und variiert

worden. Ich habe es nicht so gefunden, wie es dieser Vorstellung entspricht. Sowohl bei den möglichst engsten Spaltweiten, welche grade noch zur Beobachtung der Erscheinung bei verschiedenen Lichtquellen und verschiedenen Lichtintensitäten ausreichen, als auch bei weitem Oeffnungen der Spalte tritt die Bewegung, wenn sie überhaupt zur Erscheinung kommt, an den ersten Bakterien ganz unbestimmt, bald in der einen, bald in der andern Farbe zuerst auf; das eine Mal im Orange, das andere Mal im Gelb oder Grün, oder auch im Rot, ohne jede erkennbare bestimmte Regel; nur ist es stets die minder brechbare Hälfte des Spektrums, in welcher sie bei sehr engem Spalt zuerst zur Erscheinung kommt. Höchstens lässt sich auch hier wieder mit einiger Bestimmtheit angeben, dass sie in der größern Anzahl der Fälle zuerst im Orange bis Gelb — zwischen *C* und *D* — bemerkt wird, nicht selten tritt sie sogar hinter *D* im Grün früher auf als vor *C* im Rot. Es ist schwer, direkt aus den Beobachtungen von Engelmann die Unsicherheit seiner Zahlenangaben nachzuweisen; die besondern Versuchbedingungen entziehen sich zu sehr der Kontrolle; doch vermag ich wenigstens an einem Beispiele aus den eignen Versuchsreihen von Engelmann noch direkt zu zeigen, zu welchem verschiedenen Zahlenwerten man bei der Befolgung der quantitativen Methode im Mikrospektrum gelangt, und dass es sich schließlich bei der Feststellung der Größen dann gar nicht mehr um rein objektive Befunde, sondern um eine Auswahl aus widersprechenden Befunden, und um die Deutung derselben vom Gesichtspunkte theoretischer Anschauungen handelt.

In seiner ältesten Abhandlung¹⁾ hat Engelmann selbst zwei von einander völlig abweichende Zahlenreihen für die Sauerstoffkurve einer und derselben *Cladophora*-Zelle gegeben. Danach soll die relative Energie der Sauerstoffabgabe im Spektrum für eine 0,028 mm dicke *Cladophora* verschieden sein, je nachdem man die Messungen an der obern oder an der untern Fläche der Zelle vornimmt. Sie soll betragen

| für die Region | <i>B</i> bis <i>C</i> ; | <i>D</i> ; | $D \frac{1}{2}$ <i>E</i> ; | <i>E</i> bis <i>b</i> ; | <i>F</i> ; | $F \frac{1}{2}$ <i>G</i> . |
|-------------------------------|-------------------------|------------|----------------------------|-------------------------|------------|----------------------------|
| an der untern Fläche gemessen | 100,0 | 48,5 | 37,0 | 24,0 | 36,5 | 10,0 |
| an der obern Fläche gemessen | 36,5 | 94,0 | 100,0 | 52,0 | 22,0 | 12,0. |

Diese beiden Reihen führen zu ganz entgegengesetzten Schlussfolgerungen über den Wert der Lichtabsorptionen im Gaswechsel der Pflanze. Von ihnen harmoniert die zweite nahezu ganz mit meinen Befunden und meinen eignen Anschauungen; die erste entspricht der Vorstellung von Engelmann.

1) Bot. Zeit., 1882, Nr. 26.

Welche Reihe ist für den bestimmten Fall und den Vorgang die maßgebende? Engelmann will nur die Messungen an der untern Fläche der Zelle gelten lassen. Als Grund führt er an, dass die Absorptionen zwischen *B* bis *C* in den obern Partien der Zellen nicht mehr wirken, weil das Licht von der Wellenlänge *B* bis *C* vermöge seiner starken Absorptionen schon in den untern Partien der Zelle, in welche es zuerst eintritt, verschwindet, während das Licht der andern Spektralregionen, z. B. das von *C* bis *E* Fraunhofer, da es nicht so stark absorbiert wird, in den obern Partien noch zur Wirkung gelangt. Deshalb, meint Engelmann, sei es auch erklärlich, wenn die Messungen an der obern Fläche der Zelle im Mikrospektrum, und die Untersuchungen von Blättern im Mikrospektrum, die Sauerstoffabgabe im Gelb ergiebiger zeigen als im Rot.

Die Begründung, welche Engelmann hier für seine Wahl der an der untern Fläche der Zelle gefundenen Zahlen zu geben versucht, ist aber hinfällig; sie wäre nur denkbar und berechtigt, wenn die Absorption des Lichtes von der Wellenlänge *B* bis *C* in einem mikroskopischen Objekte von der Dicke einer *Cladophora*-Zelle schon in den untern Partien der Zelle eine totale wäre. Dass dies nicht der Fall ist, liegt auf der Hand. In einer einzelnen Zelle oder in einem Konferven-Faden von der Dicke 0,028 mm kann von einer totalen Absorption überhaupt nicht, und an keiner Stelle des Spektrums die Rede sein. Eine solche findet bekanntlich auch im Rot und Blau — wenn überhaupt — erst in äußerst dicken und farbstoffreichen Chlorophylllösungen statt, während die mikroskopischen Objekte, die hier in Frage kommen, worauf ich schon in dem Abschnitt über die Absorptionserscheinungen hinwies, nur den sehr schwachen Chlorophylllösungen entsprechen, in denen noch nicht einmal Chlorophyllbänder I und II zur Erscheinung kommen.

Auch die eignen photometrischen Messungen der Absorption von Engelmann widersprechen hierin seiner Anschauung und Behauptung. Er selbst findet¹⁾, dass die gesamte Absorption des roten Lichtes von der Wellenlänge *B* bis *C* in einem dicken *Cladophora*-Faden, nachdem das Licht durch die ganze Dicke desselben hindurchgegangen ist, nur 81 Prozent des auffallenden Lichtes beträgt; vom gelben Lichte bei *D* nur 47 Prozent; von dem Licht der Wellenlänge *D* $\frac{1}{2}$ *E* nur 40 Prozent u. s. w. Die den relativen Absorptionskoeffizienten der farbigen Strahlen entsprechenden Werte der Sauerstoffabgabe können daher erst an der obern Fläche des Fadens zum Ausdruck gelangen, und erst die hier gefundenen Zahlen erlauben einen Schluss auf das Verhältnis zwischen der Absorptionsgröße und der Größe der Sauerstoffabgabe im Faden. Aus demselben Grunde ist auch die von Engelmann versuchte Erklärung der Befunde im

1) Bot. Zeit., 1884.

Makrospektrum, welche die stärkste Sauerstoffabgabe im Gelb bis Grün nachweisen, unhaltbar. Bei den jugendlichen Sprossspitzen, die bei diesen Untersuchungen benutzt werden, kann gleichfalls von totaler Absorption nicht die Rede sein. Meines Wissens ist überhaupt kein Blatt bekannt, welches bei durchfallendem Lichte in irgend einem Teile des sichtbaren Spektrums absolut schwarz erscheint.

Die Befunde im Makrospektrum entsprechen daher, ebenso wie die an der obern Fläche der *Cladophora*-Zelle, genau der Wirkung der relativen Absorptionsgrößen der Farben in den untersuchten Objekten, und sprechen deutlich gegen die Vorstellung von der Proportionalität zwischen der Exhalationsgröße und der Größe der gesamten Absorption in den Pflanzen, welche Engelmann und die andern unbedingten Anhänger der alten Chlorophylltheorie zu verteidigen suchen.

Für die Richtigkeit seiner Vorstellung, auf welche alle Zahlenangaben und Kurven seiner Abhandlungen bezüglich sind und hin-führen sollen, sucht Engelmann endlich noch eine merkwürdige Uebereinstimmung geltend zu machen, die sich zwischen den Resultaten seiner Beobachtungs-Ergebnisse im Mikrospektrum und den Resultaten herausstellen soll, welche die neuere Physik über die Verteilung der Energie im Sonnenspektrum gewonnen hat; eine Uebereinstimmung, die aber gleichfalls als bestehend nicht anerkannt werden kann, wenn man die Art, wie sie gewonnen ist, einer nähern Prüfung unterzieht.

Engelmann legt hierbei nämlich die Vorstellung zu grunde, dass die photochemische Wirkung in der Pflanze von der Schwingungsdauer des wirksamen Lichtes unabhängig ist, und stellt ferner die Hypothese auf, dass bei der assimilatorischen Arbeit in der Pflanze, welche zur Sauerstoffabgabe führt, die gesamte Lichtenergie verbraucht wird, welche während des Vorganges von jeder Strahlengattung durch Absorption in der Pflanze verschwindet. Hiernach soll sich dann die Energie (E) jeder Stelle im Spektrum leicht aus der Größe der Assimilation (A) und der Größe der Absorption des Lichtes (n) an der betreffenden Stelle berechnen lassen. Es ist somit, wie Engelmann meint, möglich, die Verbreitung der Energie des Sonnenspektrums ebenso gut, wie aus der Bestimmung der Wärmewirkung, so auch aus der Bestimmung der Absorptionsgrößen (n) und Exhalationsgrößen (A) einer Pflanze in den verschiedenen Spektralregionen zu finden. Engelmann führt nun die Bestimmungen von A und n nicht nur für grüne, sondern auch für blaugrüne und braune Pflanzen, für welche die Werte von A und n selbstverständlich verschiedene sein müssen, mit seiner Methode aus; erhält so drei von einander ganz unabhängig gewonnene Zahlenreihen, und berechnet aus jeder derselben besonders den Wert für die relative Energie in den Spektralbezirken nach seinen Hypothesen über die Relation von A , n und E in der Pflanze.

Er findet nun, dass die so gewonnenen Werte von E nicht nur unter sich, sondern auch mit den Werten gut übereinstimmen, welche man auf rein physikalischem Wege durch Messung der Wärmeeffekte erhalten hat. Dem Vergleiche liegen bei ihm die von Lamansky und Langley erhaltenen Zahlen für das Normalspektrum der Sonne zu grunde. Aus dieser Uebereinstimmung schließt er alsdann zurück auf die Richtigkeit seiner Zahlenwerte und die Brauchbarkeit und Genauigkeit seiner Methode für die quantitative Feststellung der einschlagenden Verhältnisse.

Dem entgegen bemerke ich nun, indem ich vorderhand von den theoretischen Schwierigkeiten, die den Grundanschauungen Engelmann's von vornherein entgegenstehen, und auf welche noch in den Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen im Mikrospektrum zurückzukommen sein wird, hier ganz absehe:

Erstens: Die Werte von A sind, wie ich oben ausführlich gezeigt habe, in der That nicht nur inexakt, sondern auch unzuverlässig.

Zweitens: Eine Umrechnung derselben ins Normalspektrum der Sonne, die Engelmann vornehmen musste — die Werte selbst waren im prismatischen Gasspektrum gefunden worden — ist mit so großen doppelten Fehlerquellen behaftet, dass sie die Genauigkeit, die hier verlangt werden müsste, schon von vornherein ausschließt.

Drittens: Die Werte von n , über deren Genauigkeit ich mir aus Mangel an Kontrolle kein Urteil erlauben will, durften auf die Werte von A nicht bezogen werden, weil sie nicht an denselben, sondern an verschiedenen Pflanzen bestimmt waren. Auf diesen Umstand macht übrigens Engelmann selbst aufmerksam. Auch diese Verhältnisse schließen schon die Möglichkeit der Richtigkeit des Resultates aus.

(Schluss folgt.)

Fritz Müller, Neue Beobachtungen über Feigenwespen.

Die interessanten Beobachtungen von Fritz Müller über die Feigenwespen des Itajahy in Brasilien, über welche wir in Bd. V Nr. 24 S. 745 ff. dieser Zeitschrift berichtet haben, sind inzwischen durch neue wichtige Forschungsergebnisse desselben Biologen vermehrt und zu einem gewissen Abschluss gebracht worden. Fritz Müller teilt uns unter dem Datum des 7. Febr. d. J. das Folgende mit:

„Die Feigen und mehr noch ihre Bestäubungsvermittler und sonstigen Insassen haben mich während der letzten Monate fast ausschließlich beschäftigt, und es haben schon die recht zeitraubenden und langweiligen Untersuchungen der letztern einen über Erwarten günstigen Erfolg gehabt. So hatte G. Mayr aus den Feigen eines Baumes nicht weniger als 20 verschiedene Arten beschrieben, darunter

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1886-1887

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Pringsheim Nathanael [Nathan]

Artikel/Article: [Ueber die Sauerstoffabgabe der Pflanzen im Mikrospektrum. 108-120](#)