

Bacterium photometricum.

Ein Beitrag zur vergleichenden Physiologie des
Licht- und Farbensinnes.

Von

Th. W. Engelmann

in Utrecht.

Hierzu Tafel I.

Im vergangenen Winter fand ich im Wasser des am physiologischen Laboratorium vorbeifliessenden Rheinarms eine Bakterienform, die durch ihr höchst eigenthümliches Verhalten zum Licht alsbald meine volle Aufmerksamkeit fesselte. Sie kam in mässiger Individuenzahl vor, in Gesellschaft von Amöben, Lecythium hyalinum, Polytoma uvella, Oxytricha micans und Anguillula. Anfangs glaubte ich nur das im vorigen Jahre entdeckte Bacterium chlorinum¹⁾ wieder vor mir zu haben, da Grösse, Form, Bewegungsart und einige der auffälligsten Reactionen gegen Licht ziemlich dieselben waren wie bei diesem, auch der Körper eine leicht grünliche Farbe zu haben schien. Bei näherer Untersuchung ergaben sich aber so bedeutende Unterschiede im Verhalten gegen Licht, und erwies sich zudem auch die Färbung so abweichend, dass an eine Identität beider Arten füglich nicht mehr zu denken war.

Ich habe die neue Form, mit Rücksicht auf ihre auffälligste Eigenschaft, Bacterium photometricum genannt und unter diesem Namen bereits im vergangenen Frühjahr kurz beschrieben, auch über ihre wesentlichsten physiologischen Eigenthümlichkeiten be-

1) Proc. verb. d. k. Akad. v. wetenschappen te Amsterdam. Afd. Natuurk. Zittg. v. 29. Okt. 1881. — Zur Biologie der Schizomyceten. Dies Archiv, Bd. XXVI, p. 537. — Botan. Zeitung, 1882, Nr. 20 u. 21.

richtet¹⁾. Die ausführliche Mittheilung, welche ich am Schluss meines Aufsatzes über Licht- und Farbenempfindung niederster Organismen²⁾ versprach, folgt hier.

Der Gegenstand darf in der That, wie ich glaube, eine eingehende Darlegung beanspruchen. Handelt es sich doch um den Nachweis eines höchst ausgebildeten Licht- und Farbensinnes bei Organismen, die man bisher für so unglaublich einfach hielt, dass der Versuch sie künstlich zu erzeugen in allem Ernste noch in neuester Zeit gemacht werden konnte. Wer freilich Bau und Lebensweise auch nur einiger der gewöhnlichsten Formen von beweglichen Bacterien genauer untersucht hat, kann wie mich dünkt nicht zweifeln, dass diese Wesen relativ hoch organisirt sind und nur darum für die einfachsten aller überhaupt existirenden Organismen gehalten werden konnten, weil sie die kleinsten sind, die wir zufällig kennen. Aber klein und einfach ist nicht dasselbe, und sollten jenseits der Grenzen unseres mikroskopischen Erkennens nicht auch noch Organismen leben?

Seit bei vielen grösseren Formen Geisseln in constanter Zahl Grösse und Anordnung, eine den Körper umhüllende Membran von eigenthümlicher chemischer Beschaffenheit, ein oft mehrfach differenzirter Leibesinhalt nachgewiesen ist, kann schon morphologischerseits nicht länger behauptet werden, dass die Bacterien zu den absolut einfachsten Organismen gehören. Jedes Moner, jedes Plasmodium steht, rein morphologisch betrachtet, unzweifelhaft tiefer. Dasselbe lehren die mannigfachen, häufig sehr complicirten Fortpflanzungs- und Entwicklungsvorgänge: ich erinnere nur an die abwechselnde Vermehrung durch Theilung und Sporenbildung, an den durch Zopf³⁾ direct verfolgten genetischen Zusammenhang von Micrococcus, Bacterium, Bacillus, Vibrio, Spirillum, Spi-

1) Over een nieuw voor licht gevoelig bacterium. Proc. verb. k. Akad. v. wetensch. etc. Zittg. van 25 Maart 1882.

2) Dies Archiv, Bd. XXIX, 1882, p. 400.

3) W. Zopf, Ueber den genetischen Zusammenhang von Spaltpilzformen. Monatsber. d. k. preuss. Akad. d. Wissensch. Berlin 1881, p. 277 f. Die Abschnürung lebhaft beweglicher Bacterien von den Zweigenden starrer Cladothrixbäumchen habe ich oft bestätigen können. Es ist eins der allermerkwürdigsten Schauspiele, und wenig wüsste ich dem tiefen Eindruck dieses Anblicks einer „Pflanze im Moment der Thierwerdung“ zu vergleichen.

rochaete, *Ophidomonas* mit relativ hochdifferenzirten Formen wie *Cladotrix*, *Beggiatoa*, *Crenothrix*.

Aber schlagender noch sind eine Reihe, die freie Bewegung der Bacterien und deren zweckmässige Regulirung betreffenden physiologischer Thatsachen, auf die ich zum Theil früher schon in gleicher Absicht aufmerksam machte. Wenn man sieht, wie Fäulnissbacterien, gerade wie hochorganisirte Infusorien (z. B. *Glaucoma scintillans*, *Paramaecium aurelia*, *Colpidium colpoda*) und ganz im Gegensatz zu flimmernden oder sonstwie frei beweglichen Gewebszellen höherer Thiere, bei eintretender Verarmung des Tropfens an Sauerstoff, alsbald an den Orten sich zusammendrängen, wo sie am meisten Sauerstoff finden (längs der Ränder des Deckglases, um Luftblasen, um beleuchtete grüne Zellen u. dgl.), und dies schon zu einer Zeit, wo sie noch an allen Stellen des Tropfens reichlich soviel Sauerstoff bekommen als zu längerer Erhaltung lebhafter Bewegung nöthig ist; wenn man sieht, wie Bacterien, gerade wie hochorganisirte Infusorien, bei allzu reichlicher Sauerstoffzufuhr nach Orten niedrigerer Sauerstoffspannung fliehen, wie sie durch Kohlensäure genau wie unzweifelhafte Thiere in die heftigste Unruhe versetzt, nicht bloss wie contractile Gewebszellen in der Geschwindigkeit ihrer Bewegungen beeinflusst werden, so muss man ihnen mit gleichem Rechte wie unzweifelhaften Thieren ein Empfindungsvermögen für Unterschiede der Sauerstoff- und Kohlensäurespannung, kurz eine Athemempfindung zuschreiben und kann mit demselben Rechte wie bei echten Thieren von Eupnoe, Dyspnoe u. s. w. sprechen. Wenn man ferner sieht, wie Bacterien sich unter Umständen um gewisse nährstoffhaltige Massen im Tropfen wie um einen Köder zusammenschaaren, und dieselben augenscheinlich verbrauchen, wie Paramaccien, Colpidien, Rotatorien und andere Thiere in gleichem Falle thun, so darf man diesen Bacterien auch eine weitere Empfindung, die des Nahrungsbedürfnisses zuschreiben.

Offenbar erheben sie sich durch diese Beziehungen weit über die wirklich niedersten bekannten Organismen, weit auch über alle typischen Pflanzen. Sie sind, physiologisch betrachtet, soweit sie die eben beschriebenen Erscheinungen zeigen, unzweifelhafte Thiere, und es ist nur ein um so herrlicherer Beweis für die Einheit der organischen Natur, dass sie durch ihre morphologische Entwicklung tief in den Formenkreis der Pflanzen hineinragen.

Im Folgenden wird sich nun zeigen, dass es auch Bacterien giebt, welche eine ganz specifische, und zwar äusserst hoch entwickelte Empfindung für Licht und Farbe haben. Der Fall ist auch noch insofern sehr merkwürdig und bis jetzt einzig in seiner Art, als das Licht hier geradezu als unentbehrliche Bedingung der Bewegungen auftritt.

Morphologisches.

Unser *Bacterium photometricum* tritt wie die meisten Schizomyceten in verschiedenen Formen und Zuständen auf. Die zuerst beobachteten Individuen, die Monate lang auch die Mehrzahl bildeten, waren alle von wesentlich gleicher Art, Taf. I, Fig. 1, a—i), die Form der nicht in Theilung begriffenen gedrungen cylindrisch, mit stumpf abgerundeten Polen, etwa $1\frac{1}{2}$ —2 mal länger als breit, die absolute Länge meist etwas über $3\ \mu$, selten unter 2,5 oder über $4\ \mu$; die in Quertheilung begriffenen länger, bis $5,7\ \mu$, bei $1,4$ bis höchstens $1,9\ \mu$ Breite. Letztere zeigten alle Uebergänge von beginnender Einschnürung (Fig. 1 g), durch die Bisquit- und Achterform (h) bis zur vollendeten Zweitheilung.

Alle Individuen waren einzeln freibeweglich, Ketten oder irgendwelche andere Verbände kamen unter ihnen nicht vor. Am vorderen Pole — die Thiere schwammen immer mit dem nämlichen Ende voraus — konnte ich bei den grössten Exemplaren (1 a, e, e, f) mit Zeiss Oelimmersion $\frac{1}{18}$ “ eine feine Geissel bis auf etwa $2\ \mu$ Länge verfolgen. Ihre Anwesenheit verrieth sich, auch wenn man sie nicht direct sehen konnte, bei ruhig daliegenden Exemplaren häufig durch einen heftigen Strudel am vorderen Körperende.

Der schwach röthlich gefärbte Leib erschien mässig stark lichtbrechend, etwa wie vom gewöhnlichen *Bact. termo*, nach aussen zart, anscheinend einfach begrenzt. Das übrigens homogene Innere umschloss neben einigen kaum messbar grossen Körnchen gewöhnlich ein oder mehrere grössere Kügelchen (bis $0,5\ \mu$) von starkem Lichtbrechungsvermögen, die meist nahe der Oberfläche, übrigens aber an inconstanten Orten gelegen waren.

Körperfarbe. Die Färbung des Körpers war mir anfangs, wo ich nur erst schwächere Vergrösserungen (200—300 mal) angewandt hatte, grünlich vorgekommen. Später, bei Betrachtung mit

den besten und stärksten Immersionssystemen, erwies sie sich ganz zweifellos röthlich. Sie ist beim einzelnen Individuum zu schwach, um mikrospectralanalytisch mit Aussicht auf einigen Erfolg untersucht werden zu können. Da unsere Bacterien sich aber im Licht ansammeln, konnte ich von dieser Eigenschaft Gebrauch machen, um eine für genaue spectralanalytische Prüfung hinreichend dicke Schicht zu erhalten. Dies geschah in folgender Weise:

Zwischen die Lichtquelle (dem in früheren Arbeiten¹⁾ erwähnten Sugg'schen Brenner) und dem im Dunkelkasten aufgestellten Mikroskop war eine mit kreisförmigem Loch versehene undurchsichtige Scheibe aufgestellt. Mittelst eines totalreflectirenden Prismas oder des Planspiegels und der Abbe'schen Beleuchtungslinse wurde, nach Entfernung aller Diaphragmen, ein möglichst helles und scharfes Bild der erleuchteten Oeffnung im Niveau des übrigens dunkeln Tropfens entworfen. Der reelle Durchmesser des Lichtbilds betrug ca. 0,2 mm. Der Tropfen, welcher viele lebhaft umherschwimmende Bacterien enthalten musste, befand sich auf dem zur Zählung von Blutkörperchen bestimmten Objectträger von Zeiss. Nach dem Auflegen des Deckglases war dann seine Dicke genau 0,1 mm. Um Verdunstung zu verhindern, wurden die Ränder mit Vaseline verklebt.

Schon nach wenig Minuten hatten sich viele Tausende von Bacterien im Lichtkreis angehäuft, und nach 10 Minuten war der ganze erleuchtete Raum von einem durch und durch aus Bacterien gebildeten Cylinder (von 0,2 mm Durchmesser und 0,1 mm Höhe) eingenommen. Viele Individuen waren in Ruhe, andere in Bewegung. Mit blossem Auge, oder im Mikroskop ohne Spectralocular von oben betrachtet, erschien jetzt die Bacterienanhäufung prachtvoll rothbraun leuchtend, etwa wie dunkler Port- oder Ungarwein.

Im Microspectralocular neben dem in bekannter Weise von der gleichen Lichtquelle abgeleiteten und auf gleiche Lichtstärke im Roth gebrachten Vergleichsspectrum geprüft, zeigte sich das Absorptionsspectrum (Fig. 2) am rothen Ende unverkürzt, am violetten nur bis etwa zur Wellenlänge $\lambda = 0,45 \mu$ reichend. Das Vergleichsspectrum erlosch fürs Auge erst bei $\lambda = 0,40 \mu$. Zwei Absorptionsbänder waren deutlich: ein völlig schwarzes, nament-

1) Vgl. namentlich „Farbe und Assimilation“ in Onderzoekingen etc. VII. 1882, p. 218 f. und Botanische Zeitung.

lich nach der rothen Seite ziemlich scharf begrenztes, im Orange, Gelb und Gelbgrün, von 0,61 bis 0,57 reichend; ein zweites, etwas weniger dunkles und weniger scharf begrenztes zwischen 0,55 und 0,52 im Grün. Von 0,50 (Blau) an begann dann eine starke Verdunkelung des violetten Endes. Relativ ungeschwächt erschien nur das Roth vom äussersten sichtbaren Ende bis zu 0,615, sehr bedeutend geschwächt dagegen das Grün zwischen 0,57 und 0,55 und das Blaugrün zwischen 0,50 und 0,52. Das absolute Helligkeitsmaximum lag im Roth, bei 0,62—0,63, anstatt im Gelbgrün bei 0,58.

Aus später zu erwähnenden Gründen richtete ich meine besondere Aufmerksamkeit auf die etwaige Anwesenheit von Chlorophyllspuren. Sie musste sich am ehesten durch eine stärkere Absorption im Roth zwischen B und C verrathen. Jedoch liess sich nichts entdecken.

Andere Versuche gleicher Art wurden nur mit einer etwa halb so dicken Bacteriensicht angestellt. Das viel lichtstärkere, übrigens in gleicher Weise wie das erste (gleiche Lichtquelle und Spaltweite) erzeugte Spectrum (Fig. 3) reichte bis nahezu 0,40 μ und zeigte ein äusserst dunkles Absorptionsband zwischen 0,61 und etwa 0,593, ein sehr viel schwächeres zwischen 0,55 und 0,53, den Beginn einer schwachen Endabsorption bei 0,50. Das absolute Helligkeitsmaximum lag wiederum bei etwa 0,62—0,63. Grün zwischen 0,55 und 0,57 und Blaugrün zwischen 0,50 und 0,52 waren bereits merklich geschwächt.

Unzweifelhaft wird also vom sichtbaren Theil des Spectrums die schmale Strahlengruppe im Orangegelb zwischen λ 0,593 und λ 0,61 weitaus am stärksten absorbirt; nächstdem eine breitere Gruppe im Grün zwischen 0,55 und 0,53, dann Gelbgrün, Blaugrün, Blau, Violett und Roth. Diese Thatsachen sind physiologisch, wie sich weiter unten zeigen wird, von grösster Bedeutung. Wir werden daselbst auch Gründe zur Annahme noch einer unsichtbaren, und zwar ganz besonders starken Absorption an einer bestimmten Stelle im Ultraroth kennen lernen.

So viel ich habe ermitteln können, stimmt das Absorptionsspectrum unseres Farbstoffs mit keinem bisher bekannten überein, insbesondere mit keinem der bis jetzt untersuchten, von Pilzen herrührenden Farbstoffe¹⁾.

1) Vgl. u. a. J. Schröter, Ueber einige durch Bacterien gebildete Pigmente. In: Cohn, Beiträge zur Biol. d. Pflanzen, I. 1875, p. 109.

Von weiteren Eigenschaften kann ich nur angeben, dass der Farbstoff in sauerstoffhaltiger wie in sauerstofffreier Luft gleiches optisches Verhalten zeigt, in hellstem concentrirtem Tag- und Gaslicht noch nach vielen Stunden, im Dunkel nach vielen Tagen und auch nach dem Absterben der Bacterien im Tropfen noch lange Zeit unverändert gefunden wird. Ebenso erhält er sich in den physiologischen Ruhezuständen. Eine nähere chemische Untersuchung konnte schon aus Mangel an Material nicht ausgeführt werden, hätte auch wohl vorläufig ebensowenig wie die der meisten ähnlichen Farbstoffe physiologisch wichtige Resultate geliefert.

Andere Zustände. In dem Wasser, welches die eben beschriebenen Formen von *Bacterium photometricum* enthielt, fanden sich, namentlich späterhin, nach Wochen langem Stehen, noch andere Zustände, die ohne Zweifel zur nämlichen Art gehörten. Zunächst äusserst kleine, kaum $0,7 \mu$ lange, sehr bewegliche Coccen (Fig. 1 q, r), in ziemlicher Menge. Verhältnissmässig nicht sehr zahlreiche Zwischenformen (Fig. 1, p, o, n, m, l) leiteten von diesen zu der grossen Form hinüber. Die kleineren Coccen erschienen einzeln ungefärbt, offenbar wegen zu geringer Dicke der wirksamen Schicht, denn in Gruppen beisammen, in mehreren Lagen übereinander, hatten auch sie einen deutlichen röthlichen Schimmer. Auf Licht reagirten sie, wie weiter unten noch näher gezeigt werden wird, in allen einzelnen Punkten wie die grossen. Es kann also kein Zweifel sein, dass sie nur kleine Exemplare derselben Art darstellten. Vielleicht waren sie einfach durch fortgesetzte Theilung aus den grösseren entstanden, vielleicht aber auch aus Sporen entwickelte Zustände.

Für die letztere Möglichkeit spricht das gleichzeitige Vorkommen von gleichgefärbten Ruhezuständen mit deutlicher Sporenbildung. Es fanden sich nämlich an verschiedenen Stellen, namentlich auf dem Boden und an der Wand des Gefässes, röthlich violett braune bis mehrere Cubikmillimeter grosse Massen von ganz unregelmässiger Form und sehr weicher Consistenz, die sich im Mikroskop als Zooglocahaufen erwiesen: in einer farblosen, weichen Substanz, deren Lichtbrechungsvermögen von dem des Wassers kaum abwich, lagen in sehr geringen, aber nicht sehr gleichmässigen Abständen unregelmässig zerstreut röthlich gefärbte Stäbchen von den in Fig. 1, s, t etc. abgebildeten Formen. Sie lie-

fernten fast genau das nämliche Spectrum wie die grossen beweglichen Zustände; der einzige Unterschied bestand darin, dass auch im Roth überall einige Schwächung sich merklich machte. Sehr viele dieser, meist 3—4 μ langen und höchstens 1 μ breiten Stäbchen waren an den beiden Enden oval oder kuglig angeschwollen (Fig. 1, t, u, v, w). Bei einigen (v) schien sich die ganze Körpersubstanz in zwei terminal oder beinahe terminal gelegene, stark lichtbrechende Kügelchen von noch nicht 0,8 μ Durchmesser und eine blasse, verbindende Hülle vertheilt zu haben. Wieder andere (x, y, z) zeigten die bekannte Nagelform: der Kopf eine glänzende Spore, daran die leere spitz kegelförmig auslaufende Hülle. Letztere Zustände kamen auch frei in der Nähe der Zoogloea-massen vor.

Die Identität des Spectrums in Verband mit dem Bestehen von Uebergangsformen erlaubt zu schliessen, dass diese Ruhezustände in den Entwicklungskreis unserer beweglichen Formen gehören. Man könnte zwar — und das würde auch auf die kleinen Coccen anwendbar sein — noch an die Möglichkeit denken, dass sie den Farbstoff nur von aussen aufgenommen hätten, was ja bei Bakterien vorkommt. Dann müsste aber der Farbstoff immerhin den beweglichen grossen Formen entnommen sein, da ausserhalb dieser sonst nirgends im Gefäss ein gleiches oder nur ähnliches Pigment zu finden war. Doch wäre dies offenbar eine sehr gesuchte Annahme.

Wiederholt trocknete das Gefäss völlig aus. Nach Aufgiessen reinen Wassers erschienen dann schon innerhalb 24 Stunden sowohl die gewöhnlichen grossen wie die kleinsten beweglichen Zustände wieder. Erst neuerdings (September, Oktober 1882), nachdem das Gefäss zwei Monate lang (Juli, August) trocken gewesen, blieb Aufgiessen erfolglos. Wohl zeigten sich schon nach zwei Tagen wieder Amöben, *Lecythium hyalinum*, *Oxytricha micans* und Anguillulen, auch kurze Hormogonienartige Zustände von Oscillarineen und sehr viele Exemplare eines 4—6 μ langen, 2—2,5 μ breiten, unbeweglichen, nach Form, Lichtbrechung, Bau und Theilungserscheinungen zu den Bakterien gehörigen, jedoch entschieden grünen Organismus; ausserdem auch dem gewöhnlichen *Bact. termo* entsprechende Formen in ziemlicher Menge. *Bacterium photometricum* ist aber bis jetzt noch nicht wieder aufgetaucht, und auch meine Bemühungen, es mir von seinem alten Fundort oder von

anderen Localitäten aufs Neue zu verschaffen, sind vorläufig vergeblich gewesen.

Physiologisches.

Unter gewöhnlichen Bedingungen sieht man unsere Bacterien mit ziemlich gleichförmiger Geschwindigkeit im Tropfen umherschweben, meist geradeaus oder in sanft gebogenen Linien. Dabei rotiren sie beständig um ihre Längsaxe. Die absolute Geschwindigkeit der Fortbewegung beträgt dann durchschnittlich etwa 0,02—0,04 mm, die der kleinen Zustände 0,04—0,08 mm und darüber, die Zahl der Umdrehungen 3—6 in der Secunde, bei den kleinen wohl gleichfalls mehr.

Stets geht das nämliche Ende voraus und zwar dasselbe, welches die Cilie trägt. Auch die Rotation erfolgt stets in gleicher Richtung. Nur bei ganz bestimmten Anlässen (s. unten) tritt plötzlich Rückwärtsschrauben ein, doch immer nur auf wenige Augenblicke.

Mit Bewegung wechselt nicht selten kürzere oder längere Ruhe ab. Die Bacterien legen sich dann horizontal auf den Boden oder an die Unterfläche des Deckglases, auch heften sie sich gern mit einem der beiden Pole in senkrechter Richtung an.

Man bemerkt nun sehr bald, dass Bewegung und Ruhe von gewissen äusseren Bedingungen und darunter in erster Linie von der Beleuchtung abhängig sind. Der Einfluss des Lichtes ist so mannichfaltig und theilweise so complicirt, dass es der besseren Uebersicht halber wünschenswerth erscheint, die rücksichtlich dieses Punktes ermittelten Thatsachen mehr in systematischer Ordnung als in der Reihenfolge, wie der Gang der Untersuchung sie aufdeckte, mitzutheilen.

Ohne Licht keine Bewegung. Phototonus. Den Ausgangspunkt möge die fundamentale Thatsache bilden, dass die Bewegungen von *Bacterium photometricum* überhaupt nur durch Licht erweckt werden, und einmal erweckt, bei Abschluss von Licht auch unter den sonst denkbar günstigsten Bedingungen wieder erlöschen.

1) Der Kürze halber verstehe ich hier und im Folgenden unter „Licht“ alle, auch die uns unsichtbaren Strahlen des Spektrums.

Es war mir sogleich aufgefallen, dass Präparate, welche vor Verdunstung geschützt über Nacht im Dunkelkasten gelegen hatten, bei der allerersten Prüfung keine, schon nach 5—10 Minuten aber sehr viele bewegliche Zustände zeigten. Auch bewegten sich die zuerst auftauchenden Individuen durchschnittlich merklich langsamer als späterhin Regel war.

Wurden dieselben Präparate, nachdem sie einige Stunden lang dem Licht ausgesetzt waren, wieder ins Dunkel gebracht, so nahm die Geschwindigkeit der Bewegungen allmählich ab. Nach einigen Stunden waren bewegliche Individuen nur noch ganz vereinzelt oder überhaupt nicht mehr aufzufinden. Sie stellten sich jedoch im Lichte bald in Menge wieder ein. Offenbar erzeugt hier also das Licht einen dem *Phototonus* der Pflanzen zu vergleichenden Zustand.

Der belebende Einfluss des Lichts beruht nicht auf Sauerstoffentwicklung. Da die Präparate bei den ersten Versuchen im luftdicht verkitteten Tropfen unter dem Deckglas eingeschlossen gewesen waren, konnte die Vermuthung entstehen, dass sie im Dunkel infolge allmählicher Verarmung des Wassers an freiem Sauerstoff zu Ruhe gekommen waren und die Wiederbelebung auf Sauerstoffentwicklung im Licht beruhte. Da jedoch lebende chromophyllhaltige Pflanzenzellen sich im Tropfen nicht nachweisen liessen, hätten die Bacterien selbst diese assimilirenden Organismen sein müssen. Dass dies nichts Unerhörtes gewesen sein würde, zeigt der vor Kurzem von mir beschriebene Fall des *Bacterium chlorinum*¹⁾. Dies kann sich in der That den Sauerstoff, dessen es zu seinen Bewegungen bedarf, im Lichte selbst bereiten. Freilich enthält es Chlorophyll, während der Farbstoff des *Bacterium photometricum* von allen assimilirenden Chromophyllen dadurch abweicht, dass das Absorptionsband zwischen B und C in seinem Spectrum fehlt. Aber es wäre doch immerhin möglich gewesen, dass dieser Farbstoff wie ein echtes Chromophyll assimilirend wirkte. Wir müssen mit Verallgemeinerungen auf diesem Gebiete vorsichtig sein. Ich habe deshalb direct zu entscheiden gesucht, ob *Bacterium photometricum* im Licht Sauerstoff entwickelt. Selbstverständlich war dies nur mittelst der Bacterienmethode möglich.

Dabei verfuhr ich folgendermassen: Zu einem möglichst viele,

1) Zur Biologie der Schizomyceten. Dies Archiv, Bd. XXVI. p. 537.

gut bewegliche Individuen enthaltenden Tropfen ward eine sehr kleine Menge einer Flüssigkeit gesetzt, welche viele gut bewegliche Bacterien enthielt. Der Tropfen wurde mit dem Deckglas bedeckt, und mit Vaseline eingekittet im Licht liegen gelassen. Ward Bacterium termo (aus Fleischinfusen oder künstlichen Nährlösungen stammend) als Reagens auf Sauerstoff benutzt, so waren schon nach 5—10 Minuten alle oder die meisten Individuen dieser Art in den mittleren Gegenden des Tropfens zur Ruhe gekommen. Bact. photometricum schwamm aber zwischen ihnen in anscheinend ganz normaler Weise herum wie zuvor. Auch durch intensivste Beleuchtung des Tropfens mit weissem oder beliebigem einfarbigem Licht war es nicht möglich, die einmal zur Ruhe gekommenen Fäulnissbakterien wieder zu Bewegungen zu veranlassen, auch nicht wenn ich das starke Licht schon wenige Secunden nach Eintritt der Ruhe einwirken liess.

Inzwischen war vielleicht die Sauerstoffmenge, welche von den doch immerhin nur in mässiger Zahl und also in ziemlich grossen Zwischenräumen herumschwimmenden Exemplaren von Bacterium photometricum entwickelt ward, zu klein, um deutliche Wirkung hervorzubringen. Es wurden desshalb in der oben beschriebenen Weise durch locale intensive Beleuchtung des Tropfens im Dunkelkasten viele Tausende der zerstreuten Exemplare auf einem kaum 0,1 mm Durchmesser haltenden Raum eingefangen. Hier hätte sich nun eine etwaige minimale Sauerstoffentwicklung im Licht offenbar am leichtesten verrathen müssen. Aber auch unter diesen Umständen war es, selbst bei der stärksten überhaupt zulässigen Beleuchtung, nicht möglich, die im nächsten Umkreis der Bacterienfalle befindlichen, eben zur Ruhe gekommenen Fäulnissbakterien in unzweifelhaft selbständige Bewegung oder gar, wie zu erwarten gewesen wäre, zur Ansammlung zu bringen, wie um eine Luftblase oder um eine grüne Zelle.

Auch als ich dieselben Versuche mit Spirillen wiederholte, welche wie früher gezeigt¹⁾, ein noch sehr viel empfindlicheres Reagens auf Sauerstoff sind als das gewöhnliche Bacterium termo, bekam ich nur negative Resultate.

Da sich nun auch keine schädlichen Wirkungen der beleuchteten Anhäufungen von B. photometricum auf die im Umkreis befindlichen, sich noch bewegendenden Schizomyceten nachweisen

1) Zur Biologie der Schizomyceten. I. c.

liessen, die den günstigen Einfluss etwaiger Sauerstoffausscheidung vielleicht hätten hemmen können, so darf man wohl mit ziemlicher Gewissheit behaupten, dass *Bact. photometricum* überhaupt nicht im Stande ist, im Licht Sauerstoff auszuscheiden. Sein Farbstoff ist demnach wie in optischer, so in physiologischer Hinsicht von Chromophyll wesentlich verschieden. Es kann also auch die belebende Wirkung des Lichtes nicht auf Assimilation von CO_2 durch unsere Bacterien beruhen.

Einfluss verschiedener Sauerstoffspannung. Dass Sauerstoffentwicklung nicht im Spiele sei, liess sich übrigens auf noch viel einfachere Weise durch Prüfung des Lichteinflusses bei verschiedenen Sauerstoffspannungen nachweisen. Hierbei ergab sich zunächst, dass die Bewegungen auch bei reichlicher Gegenwart freien Sauerstoffs (im unbedeckten Tropfen in der feuchten Kammer) im Dunkeln aufhören, zwar weniger schnell wie bei mangelnder Ventilation — meist erst nach einer grösseren Zahl von Stunden — aber doch ebenso sicher.

Im Licht zeigte sich ebenso eine relativ sehr grosse Unabhängigkeit von der O-Spannung. In ganz luftdicht eingekitteten Tropfen, die dem Licht zugänglich auf dem Arbeitstisch gelegen hatten, fanden sich auch noch nach 4—5 Tagen gut bewegliche Individuen, während die gleichzeitig vorhandenen Fäulnisbakterien schon nach weniger als einer Stunde sämmtlich zur Ruhe gekommen waren. Ich habe *B. photometricum* in zugeschmolzenen Capillarröhrchen von kaum $\frac{1}{3}$ mm Inhalt viele Wochen lang bewegungsfähig erhalten, nachdem schon alle sonst mit eingeschlossenen Organismen (Amoeben, Infusorien, Fäulnisbakterien) abgestorben waren.

In Uebereinstimmung mit diesen Thatsachen sucht *B. photometricum* bei eintretender O-Verarmung im bedeckten Tropfen weder Luftblasen, noch die Ränder des Deckglases, noch beleuchtete grüne Zellen auf, wie gewöhnliche Fäulnisbakterien und andere O-bedürftige Organismen thun. In der Gaskammer einem continuirlichen Strom möglichst sorgfältig von O befreiten Wasserstoffs ausgesetzt, bewegt es sich im Lichte noch nach einigen Stunden mit nur wenig verminderter Lebhaftigkeit und bleibt auch im Dunkel noch längere Zeit in Bewegung, wenn schon nicht so lang wie bei Zutritt atmosphärischer Luft.

In reinem Sauerstoff beschleunigt sich die Bewegung durchschnittlich etwas, doch im Allgemeinen nur sehr wenig. Es

ist also zwar nicht zu verkennen, dass O-entziehung ähnlich wie Verdunkeln nachtheilig, O-zufuhr ähnlich wie Erhellen günstig wirkt, aber der Einfluss ist sehr gering im Vergleich zu dem des Lichts.

Beide Einflüsse combiniren sich unter den gewöhnlichen Versuchsbedingungen oft in unterstützendem oder antagonistischem Sinne, was bei der Deutung vieler Versuche im Auge zu behalten ist. So wollte es mir bei einem Präparat, das seit drei Tagen unter eingekittetem Deckglas im Dunkel gelegen hatte, nicht gelingen, die zur Ruhe gekommenen Bakterien durch zehn Minuten langes Beleuchten mit hellem Tageslicht wieder in Bewegung zu bringen. Erst nach Lüften des Deckglases gelang dies. Es kann auch geschehen, dass im Dunkel unter Luftabschluss zur Ruhe gekommene Bakterien durch blosses Lüften des Deckglases wieder in Bewegung kommen, ohne dass sie zuvor dem Licht wieder ausgesetzt gewesen wären. Natürlich darf man hieraus nicht ableiten wollen, dass Dunkelstarre überhaupt durch gehörige Ventilation zu beseitigen sei. Denn lässt man die Präparate nur lange genug im völligen Dunkel, so hilft schliesslich das Lüften des Deckglases nicht mehr, während im Licht die Bewegungen alsbald wieder beginnen. Und wie schon erwähnt hören auch im unbedeckten Tropfen die Bewegungen bei Lichtabschluss auf.

Dies muss ganz besonders betont werden, dass Einwirkung von Lichtstrahlen eine absolute Bedingung für das Zustandekommen der Bewegungen ist. Auch Erwärmung, sonst das wirksamste Belebungsmittel, kann die Dunkelstarre nicht beseitigen, wenn dieselbe einige Zeit angehalten hat, gleichviel auch hier, welche O-spannung dabei herrscht. Ich erwärmte Objectträger, nachdem sie eine Nacht im Dunkeln geweilt hatten, von 12° auf 34° C., indem ich sie 10–15 Minuten lang zwischen beiden Händen eingeschlossen hielt. Bei sofortiger Prüfung in möglichst schwachem Licht wurden alle Bakterien in Ruhe gefunden, ebenso auch wenn sie nach stattgehabter Erwärmung noch 2–15 Minuten im Dunkeln gelassen und dann erst untersucht wurden. Beleuchtung wirkte auch hier schnell belebend. Wegen des weiter unter zu besprechenden Einflusses ultrarother Strahlen durfte ich nicht, wie nahe gelegen hätte, über einer nicht leuchtenden Flamme oder einem anderen sehr heissen Object erwärmen.

Photokinetische Induction. Wie schon aus den bishe-

rigen Mittheilungen hervorgeht, äussert das Licht seine belebende Wirkung nicht momentan, sondern erst nach einer sehr merklichen Zeit. Die Aehnlichkeit dieser „latenten Reizung“ mit der von Bunsen entdeckten photochemischen Induction liegt auf der Hand. Sie möge darum als photokinetische Induction bezeichnet werden, womit zugleich ihre Verwandtschaft mit der von Wiesner¹⁾ bei heliotropischen Pflanzen näher untersuchten photomechanischen Induction angedeutet ist.

Wie zu erwarten, dauert das Stadium der photokinetischen Induction im Allgemeinen um so kürzer, je intensiver das einwirkende Licht. Doch pflegt es auch im günstigsten Falle noch Secunden zu dauern. Die betreffenden Versuche wurden mit Tropfen angestellt, die entweder offen in der feuchten Kammer oder unter eingekittetem Deckglas oder in kleine Capillarröhrchen eingeschmolzen, Stunden bis Wochen lang im Dunkel gelegen hatten. Besonders empfohlen sich für diese Versuche Capillarröhrchen, weil sie des kleinen Raums wegen schnelles Auffinden der Objecte gestatten. Um ihren Inhalt besser zu zeigen, waren sie etwas abgeplattet und wurden sie in Canadabalsam untersucht.

Je kürzer der Aufenthalt im Dunkel gewährt hatte, um so schneller schienen die Bewegungen durchschnittlich wieder zu erwachen. Jedoch sah ich in mehreren seit über 4 Wochen zugeschmolzenen und sechs volle Tage im Dunkel belassenen Capillarröhrchen bei Prüfung in concentrirtem Gaslicht einige Individuen schon vor Ablauf der ersten halben Minute ihre Bewegungen wieder aufnehmen. Nach zwei bis drei Minuten hatte die Zahl der Schwärmer dann ihr Maximum erreicht. Regelmässig erwachten beiläufig die kleinen Zustände erheblich früher als die grossen.

Die Geschwindigkeit der Bewegungen jedes einzelnen Individuums wächst in den ersten Secunden bis Minuten, um so steiler und im Ganzen um so höher, je stärker die Beleuchtung, bei der gewöhnlichen grossen Form bis auf 0,08 mm und darüber. Diese hohen Werthe wurden aber erst bei Lichtintensitäten erreicht, welche den überhaupt verfügbaren Lichtmaximis nahe lagen und für das Auge, trotz der enormen Schwächung durch das Mikroskop

1) J. Wiesner, Ueber die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche. I. Theil. (Aus dem 39. Bde. der Denkschriften der math.-naturw. Classe der k. Akad. d. Wissensch.) Wien 1878. p. 61 f. — II. Theil, Ibid. 1880. p. 23 f.

starke ultramaximale Reize waren. Um bei diesem höchst blendenden Licht zu beobachten, ward auf das Ocular eine ringförmige Metallhülse aufgesetzt, in welche farbige Gläser eingelegt wurden.

Photokinetische Nachwirkung. Entsprechend der langsamen Entwicklung der bewegenden Wirkung des Lichts schwindet dieselbe auch nur langsam, wiederum in Uebereinstimmung mit gewissen photochemischen Wirkungen. Bakterien, die nach etwa zwölfstündigem Aufenthalt im Dunkel durch eine nur wenige Minuten währende Beleuchtung wieder in Bewegung gekommen waren, wurden auf's Neue ins Dunkel gebracht und nach verschiedenen Zeiten bei möglichst schwachem Licht schnell geprüft. Es ergab sich, dass die letzten Bewegungen erst nach einer bis zwei Stunden erloschen. Im Allgemeinen schien die Bewegung um so später aufzuhören, je länger und namentlich auch je stärker zuvor beleuchtet worden war. Für genauere Angaben fehlt mir die genügende Zahl von Versuchen.

Auch war ich noch nicht in der Gelegenheit, Versuche mit intermittirender Beleuchtung über Summation kurzer Lichtreize anzustellen, die in mehrfacher Beziehung Interesse gehabt haben würden.

Beruhigende Wirkung starken Lichts. Bei lang anhaltender Einwirkung sehr gleichmässigen starken Lichts kommen die meisten Bakterien zur Ruhe, besonders schnell bei mangelnder Ventilation, z. B. unter dem eingekitteten Deckglas. In den oben erwähnten Versuchen mit partieller starker Erleuchtung des Tropfens hatten sich schon nach wenig Minuten viele Hunderte auf dem Boden des Tropfens und an der Unterfläche des Deckglases im Licht festgesetzt. Je länger sie in diesem Zustand der gleichen Beleuchtung ausgesetzt blieben, um so weniger Neigung zeigten sie, wieder in Bewegung zu kommen. Betrug diese Zeit einige Stunden, so blieben dann sehr viele auch unter beliebig veränderten Bedingungen zwei, drei und mehr Tage lang sitzen, wobei sie keine merkliche Aenderung erlitten, sich auch nicht theilten.

Waren die Bakterien aber erst seit Minuten im Licht zur Ruhe gekommen, so zerstreuten sie sich regelmässig und sehr bald wieder, wenn jetzt verdunkelt oder das Licht auch nur in erheblicherem Grade geschwächt ward. Auch bei beträchtlicher Steigerung der Lichtstärke aber zerstreuten sie sich und suchten dann weniger helle Orte auf.

Weisen die letztgenannten Thatsachen schon mit Entschiedenheit auf ein Empfindungsvermögen unserer Bakterien für Lichtunterschiede, so lassen die jetzt mitzutheilenden Erscheinungen keinen Zweifel, dass dasselbe sogar ein sehr vielseitig und hoch entwickeltes ist.

Einfluss plötzlicher Helligkeitsschwankungen. Schreckbewegung. Hier ist zunächst das Verhalten bei plötzlicher Verdunklung höchst charakteristisch. Hat man einen Tropfen mit Bakterien eine Zeit lang bei gewöhnlicher guter Beleuchtung im Mikroskop beobachtet, und schwächt nun plötzlich das Licht, z. B. durch rasches Senken des Diaphragmas oder Condensators, oder durch Beschatten des Spiegels mit der Hand u. dgl., so sieht man alle bis dahin ruhig im Gesichtsfeld schwimmenden Bakterien fast im nämlichen Moment eine Strecke weit zurückschliessen, einige Augenblicke, meist unter lebhaftester Rotation um ihre Längsaxe, stillstehen und danach wieder die gewöhnliche Bewegung aufnehmen. Man erhält vollständig den Eindruck eines Erschreckens. Bei dem Rückwärtsschiessen geht nicht nur das für gewöhnlich hintere Körperende voran, sondern rotiren auch die Thiere in einer der anfänglichen entgegengesetzten Richtung um ihre Axe. Die Geschwindigkeit der Rückwärtsbewegung übertrifft die vorher im Licht beobachtete normale meist um mehr als das Doppelte. Die Länge der rückwärts durchlaufenen Strecke misst gewöhnlich das Zehn- bis Zwanzigfache der Körperlänge.

Wird die gleiche Lichtschwächung allmählich, im Laufe einer Minute z. B. hervorgebracht, so bleibt die Schreckbewegung aus; die Bakterien schwimmen ungestört weiter und allmählich macht sich dann eine Geschwindigkeitsabnahme bemerklich, die schliesslich auch wohl zu völliger Ruhe führen kann. Ohne feinere Hilfsmittel lässt sich denn auch leicht nachweisen, dass die Schreckbewegung um so sicherer und um so energischer eintritt, je schneller die Lichtabnahme stattfand. Noch verhältnissmässig sehr unbedeutende negative Schwankungen der Intensität konnten sie hervorrufen, wenn sie nur rapid verliefen und die Verdunklung nachher wenigstens einige Secunden lang anhielt. Auch war leicht zu bemerken, dass innerhalb weiter Grenzen der Lichtstärke der Schwellenwerth der Schwankung mit der anfänglichen Lichtstärke wuchs.

Positive Schwankungen der Lichtintensität, gleich-

viel von welchem Umfang und welcher Schnelligkeit sie waren und von welcher absoluten Höhe sie ausgingen, riefen nie Schreckbewegungen hervor, pflegten vielmehr die vorhandenen Bewegungen merklich zu beschleunigen, ohne Aenderung der Richtung. Häufig war die Beschleunigung nur vorübergehend.

In diesen Thatsachen liegt nun die Erklärung für die auffälligste Eigenschaft unserer Bakterien, die nämlich, sich bei partieller Erleuchtung des Tropfens an der beleuchteten Stelle anzuhäufen. In der That muss eine solche helle Stelle wie eine Falle wirken. Denn nichts hindert die Bakterien aus dem Dunkel ins Licht zu schwimmen, aber einmal im Hellen können sie nicht wieder heraus, da sie beim Eintritt ins Dunkel sofort zurückschrecken. Ihre Empfindlichkeit wirkt also gleichsam wie ein Ventil.

Nähere Prüfung der Lichtempfindlichkeit. Verwendung des Mikrospectrums als Bakterienfalle. Wenn man in der früher beschriebenen Weise einen sehr scharf begrenzten Lichtkreis im übrigens dunklen Tropfen erzeugt, ist es leicht, diese Erscheinungen näher zu verfolgen. Ganz besonders aber empfiehlt sich für diese Versuche die Anwendung des Mikrospectralobjectivs, da dasselbe Ausdehnung, Form, Lage und Helligkeit des Lichtfeldes bequem innerhalb aller erforderlichen Grenzen messbar zu variiren erlaubt und zudem, worüber sogleich mehr, die höchst wichtigen Beziehungen zwischen Wellenlänge und photokinetischen Wirkungen zu ermitteln gestattet.

Um eine für alle Zwecke genügende Menge von Bakterien in möglichst kurzer Zeit im Licht beisammen zu haben, wurde dabei der Spalt maximal erweitert (auf 2 mm Breite und 15 mm Höhe), ein scharfes Bild desselben (mittelst Objectiv A, B oder C) im Niveau des Objects entworfen und so hell und gleichmässig wie möglich erleuchtet. Das Bild erscheint dann farblos, nur auf der einen Seite mit rothem, auf der andern mit blauem Rand. Der Tropfen ward zuvor, um möglichst viele Bakterien zum Herumschwimmen zu veranlassen, einige Minuten lang in ganzer Ausdehnung hellem Tag- oder Gaslicht ausgesetzt. Nach einigen Minuten ward nun die Höhe des Lichtspalts mittelst der beiden dazu dienenden Schrauben ganz allmählich von beiden Seiten her verringert und damit das Netz gleichsam zugezogen, die inzwischen ins Licht gerathenen Bakterien auf einen immer kleineren

Raum zusammengedrängt. Je nachdem der Fang ausfiel und der Zweck des Versuchs dies erforderte, ward der Raum mehr oder weniger eingeengt, auch wohl noch ein neuer Zug veranstaltet.

Hat man in dieser Weise eine genügende Zahl beisammen, so sieht man sie zunächst in der früher beschriebenen Weise umherschweben, ab und zu sich festsetzen und bemerkt weiter, wie sie längs fast des ganzen Spaltbilds an der Grenze des Dunkels in der charakteristischen Weise zurückschrecken. Auch fällt meist schon auf, dass sie auf der weniger brechbaren Seite stärker angehäuft sind und hier namentlich Neigung haben, sich festzusetzen. Sichtlich erfolgt die Schreckbewegung im Ganzen um so schneller und sicherer, je schärfer die Grenze zwischen Licht und Dunkel und je grösser der Helligkeitsunterschied.

Einfluss von Sauerstoff und Kohlensäure auf die Empfindlichkeit für Unterschiede der Lichtstärke. Die meisten Individuen des nämlichen Tropfens zeigen ungefähr gleiche Empfindlichkeit. Man bemerkt aber bald, dass verschiedene Tropfen in dieser Hinsicht sich nicht gleich verhalten. Präparate, die seit längerer Zeit unter dem Deckglas eingeschlossen waren, zeichnen sich durch grössere Empfindlichkeit aus. Hier kam es nicht leicht vor, dass ein Individuum sich aus vollem Licht ins Dunkel verirrte. Die meisten schreckten zurück, sobald sie nur eben ins Dunkel eingetaucht waren, selten kamen sie um mehr als drei, vier Mal ihre Körperlänge ins Dunkel hinaus.

Weniger gross war die Empfindlichkeit im unbedeckten, gut ventilirten Tropfen, oder kurz nach stattgehabter Lüftung des Deckglases. Doch erwies sie sich auch in diesen Fällen immer hinreichend gross, um starke Anhäufungen der Bakterien im Lichtfelde zu veranlassen.

Wurde reiner Sauerstoff über das unbedeckt in der feuchten Kammer befindliche Präparat geleitet, so nahm sie gleichfalls, und namentlich zu Anfang, merklich ab: die bereits im Licht angesammelten Exemplare zerstreuten sich unter Beschleunigung der Bewegungen, wobei viele ins Dunkel geriethen ohne an der Grenze irgendwie reagirt zu haben. Der Effect war ganz ähnlich wie bei plötzlicher Steigerung der Lichtstärke zu höchster Intensität. Wie hier kam es auch nach einiger Zeit wieder zu stärkerer Ansammlung.

Beim Verdrängen des Sauerstoffs durch möglichst reinen Wasserstoff wuchs die Empfindlichkeit rasch, ähnlich wie nach

Bedecken mit dem Deckglas. Schreckbewegungen wurden aber auch bei ganz plötzlichem Sinken der O-Spannung (durch plötzliches Einbrechen eines starken Stromes reinen Wasserstoffs in die Gaskammer) nicht beobachtet, stets nur Steigen der Empfindlichkeit, zu der sich dann auch Geschwindigkeitsabnahme gesellte. Vielleicht würden Schreckbewegungen durch plötzliche Luftverdünnung hervorzurufen sein.

Kohlensäure wirkt in dieser Beziehung sehr stark. Schon bei Zutritt eines sehr reichlich mit Luft verdünnten CO₂-stroms schrecken alle Individuen plötzlich zurück, genau wie bei plötzlicher Verdunklung. Wie im letzteren Falle setzen sie darnach ihre Vorwärtsbewegungen wieder fort, bei anhaltender CO₂-Zufuhr mit abnehmender Geschwindigkeit. Anfangs reagiren sie noch scharf an der Grenze von Hell und Dunkel, später nicht mehr. Endlich hören die Bewegungen überhaupt auf. Durchführen von Luft, auch von Wasserstoff, erweckt aber bald wieder, womit auch die Lichtempfindlichkeit zurückkehrt. Zur Tödtung der Bakterien bedarf es beiläufig verhältnissmässig hoher Spannung und langer Einwirkung der Kohlensäure.

Sitz der Lichtempfindlichkeit. Da die Bakterien zu klein und ihre Bewegungen verhältnissmässig zu schnell sind, gelang es nicht, in der Weise wie ich dies bei *Euglena*¹⁾ kürzlich gethan, festzustellen ob die Lichtempfindlichkeit etwa bloss am vorderen Körperpole ihren Sitz habe. Man könnte letzteres für wahrscheinlich halten wegen des im vorliegenden Falle so auffallend ausgesprochenen physiologischen Gegensatzes zwischen oralem und aboralem Ende, wegen der hohen Entwicklung des Lichtsinnes und des in vieler Hinsicht analogen Verhaltens von *Euglena*. Doch scheint mir der weiter unten zu besprechende Zusammenhang zwischen der physiologischen Wirkung der verschiedenen Wellenlängen einerseits und dem Absorptionsvermögen des über den ganzen Körper vertheilten Farbstoffs andererseits die Annahme zu befürworten, dass die Lichtempfindlichkeit über den ganzen Körper verbreitet sei.

Einfluss der Wellenlänge. Farbensinn. Ich bemerkte bereits, dass bei sehr weitem Spalt (2 mm), wo nur die beiden

1) Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen. Dies Archiv, Bd. XXIX, p. 415.

Ränder des Spectrums farbig, das übrige Lichtfeld weiss erschien, meist schon eine stärkere Anhäufung der Bakterien an der weniger brechbaren Seite auffällt, gerade das Gegentheil also von dem, was bei *Euglena viridis* im gleichen Falle beobachtet wird, und überhaupt bei photokinetischen und photomechanischen Wirkungen nach bisherigen Erfahrungen Regel ist.

Verengert man jetzt den Spalt ganz allmählich, etwa um je 0,5 mm im Laufe einer Minute, so ändert sich mit steigender Entwicklung der Farben und zunehmender Reinheit des Spectrums die Vertheilung der Bakterien in höchst charakteristischer Weise. Die Hauptmasse der Bakterien rückt nämlich immer mehr dem rothen Ende zu, um endlich ganz ins Ultraroth zu wandern, wo sie sich auf einem schmalen, beiderseits scharf begrenzten Streifen concentrirt. Die Breite dieses Streifens (Fig. 4 und 5) ist etwa gleich dem Abstand der Fraunhofer'schen Linien B und C; seine Mitte liegt von B so weit nach der warmen Seite, als der Abstand der Linie C von D beträgt, also etwa bei $\lambda = 0,85 \mu$.

Eine zweite, schwächere, aber gleichfalls, namentlich nach dem Roth hin scharf begrenzte Anhäufung bildet sich gleichzeitig im Orange und Gelb zwischen den Wellenlängen 0,61 und 0,57 ($C \frac{2}{3} D - D \frac{1}{3} E$) aus. Schwache Andeutung einer dritten Anhäufung kann im Grün zwischen etwa 0,55 und 0,51 ($D \frac{2}{3} E - E \frac{1}{3} F$) auftreten; auch im Gelbgrün, Blau, selbst im Violett halten sich einzelne Individuen länger, während das Roth von der äussersten Grenze des Sichtbaren bis ins Orange ($C \frac{2}{3} D$) wie auch das äusserste Violett bald völlig veröden. Ultraviolett und äusserstes Ultraroth verhalten sich schon bei der grössten erreichbaren Intensität wie völlige Dunkelheit.

Wird die Spaltweite noch weiter verringert, so zerstreuen sich die im Violett, Blau und Grün noch vorhandenen Individuen, weiterhin die starke Ansammlung im Orangegelb, viel später erst auch die im Ultraroth.

Im Sonnenspectrum ist die Vertheilung etwas anders als in dem von Gaslicht. Die Unterschiede erklären sich aus den Unterschieden in der relativen Energie der verschiedenen Wellenlängen in beiden Lichtquellen. Sie sind, auch quantitativ, in voller Uebereinstimmung mit dem was bezüglich des Verhältnisses der letzteren mittelst der Bakterienmethode und der Assimilationserschei-

nungen früher von mir ermittelt wurde ¹⁾. Die kurzwelligeren Strahlen wirken im Sonnenspectrum verhältnissmässig kräftiger: die Anhäufung im Gelb ist nur wenig schwächer als die im Ultraroth, die im Grün entschieden deutlicher als bei Anwendung von Gaslicht, obschon immer ausserordentlich viel schwächer als die beiden anderen. Gelbgrün, Blau und Violett fesseln auch verhältnissmässig mehr Individuen, und das sichtbare Roth wird noch mehr gemieden als im Gaslicht.

Fig. 4 und 5 geben eine Darstellung beider Verhältnisse. Fig. 4 zeigt die Vertheilung im Spectrum von Gaslicht, wie sie bei einer Spaltweite von 0,04—0,08 mm unter Anwendung von Objectiv A (aequiv. Brennw. 16 mm) zur Projection des Spectrums sich auszubilden pflegte; Fig. 5 die Vertheilung im Spectrum directen Sonnenlichts bei einer Spaltweite von 0,01—0,02 mm.

Um die unter gewöhnlichen Bedingungen natürlich dem Blick entzogene Anhäufung im Ultraroth sichtbar zu machen, liess ich entweder ein wenig diffuses Licht auf den Tropfen fallen, so dass die Umgebung des spectralen Spaltbildes nicht völlig schwarz, sondern nur gerade so dunkel erschien, dass das beigemengte Licht die Bakterien nicht wesentlich beeinflusste, aber gestattete, dieselben mit schwachen oder mittelstarken Vergrösserungen zu beobachten. Oder ich benutzte als Objectträger die mit quadratischer Theilung versehene, ursprünglich zur Zählung von Blutkörpern bestimmte Glassplatte von Zeiss, die auf dem dazu gehörigen mit Schraube geradlinig beweglichen Objecttisch ²⁾ gelagert ward. Nachdem das Spectrum im Tropfen auf der Theilung entworfen und in Bezug auf die graduirte Scala des Ocularmikrometers scharf eingestellt war (bei Gaslicht unter Zuhilfenahme der Natronflamme) und weiter nach passender Regulirung der Spaltweite die Ansammlung im Gelb sich möglichst scharf ausgebildet hatte, ward nun plötzlich durch Drehung an der Schraube des beweglichen Objecttischs der Objectträger parallel mit dem Spectrum eine (mit dem Ocularmikrometer leicht zu messende) Strecke weit in der Richtung nach dem Violett zu verschoben. Hierdurch rückten die erst im Ultra-

1) Vgl. Farbe und Assimilation. Onderzoek. physiol. labor. Utrecht. Derde. R. VII. 1882. p. 218.

2) Illustriert. Katalog über Mikroskope u. s. w. von C. Zeiss. 1881. p. 9, Nr. 46b.

roth befindlichen Partien des Tropfens in den sichtbaren Theil des Spectrums und war es nun leicht die daselbst vorhandene Anhäufung nach Lage, Ausdehnung u. s. w. zu untersuchen. Erleichtert wird die Aufgabe durch die Neigung der Bakterien, sich bei längerer constanter Beleuchtung an den Stellen dichtester Anhäufung dauernd festzusetzen. Lässt man ihnen, nachdem die günstige Spaltweite gefunden, nur fünf bis zehn Minuten Zeit sich zu fixiren, so halten sich die dann gebildeten Anhäufungen lange genug, um genau geprüft werden zu können. Noch nach Stunden, ja Tagen konnten ihre Spuren gefunden werden. Giebt man den Bakterien nicht Zeit sich zu fixiren, so zerstreuen sie sich sofort, sobald sie in andere Wellenlängen verschoben werden und häufen sich dann an den Stellen an, welche nunmehr ins Orangegelb und innere Ultraroth fallen. Will man nicht bloss die Anhäufung, sondern auch die Bewegungen der Bakterien im Ultraroth beobachten, so ist natürlich nur das erste Verfahren, Beimischung einer geringen Menge sichtbarer Strahlen, anwendbar.

Nähere Prüfung der Empfindlichkeit für Unterschiede der Wellenlänge und der Intensität in den verschiedenen Theilen des Spectrums. Wenn man die Entwicklung der lokalen Ansammlungen bei allmählicher Verengung des Spaltes näher verfolgt, so sieht man, dass wesentlich zwei Momente dabei mitwirken: verschiedene Empfindlichkeit für Unterschiede der Wellenlänge einerseits und der Intensität in verschiedenen Gegenden des Spectrums andererseits. Bei maximaler Spaltweite und grösster Lichtstärke schwimmen die Bakterien anscheinend unbehindert quer durch das ganze Spectrum, am rothen Ende noch ein gutes Stück ins Ultraroth hinaus, am andern bis weit ins Violet. Am obern und untern Rand des Spectralbilds schrecken sie auf jeder Wellenlänge (auch im Ultraroth) in der charakteristischen Weise vor dem Dunkel zurück, doch verliert die Reaction an Sicherheit und Schärfe nach dem äussersten Violet zu wie auch im äussersten Ultraroth.

Wird jetzt der Spalt verengt, das Spectrum lichtschwächer und farbenreiner, so sieht man bald die Bakterien nicht nur an den Grenzen des Spectrums, sondern auch innerhalb desselben, beim Uebergang aus gewissen Farben in benachbarte zurückschrecken. Namentlich beim Uebergang aus Gelb in Roth, aus

Ultraroth in Roth, und aus dem äussersten ins innere Ultraroth findet dies statt, weniger auffällig, obschon auch häufig, beim Uebergang aus Gelb in Grün, aus Grün in Blau oder aus Blau in Violett. Bewegung in entgegengesetzter Richtung findet in keinem dieser Fälle ein Hinderniss.

Muss schon hierdurch die Ausbildung lokaler Anhäufungen in bestimmten Theilen des Spectrums veranlasst werden, so kommt dazu als zweites Moment der Umstand, dass auch der Austritt ins Dunkel aus den in der eben behandelten Beziehung weniger bevorzugten Farben relativ leichter stattfindet. So sind es namentlich das sichtbare Roth und das äussere Ultraroth, dann Violett und Blau, die schnell durch Auswanderung nach dem Dunkel hin evacuirt werden.

Uebrigens kann die Empfindlichkeit für Intensitätsunterschiede auch in den weniger wirksamen Farben noch hohe Werthe erreichen. So sah ich im Spectrum von Sonnenlicht, das durch Objectiv B von Zeiss projicirt wurde, bei einer Spaltweite von nur 0,01 mm noch zwischen G und H, bei $\lambda = 0,41 \mu$, mitunter deutliche Reaction an der Grenze des Dunkels. Zwar erfolgte die Schreckbewegung hier nur langsam, wie denn überhaupt die Bewegungen im Violett nicht sehr lebhaft waren, aber doch in völlig charakteristischer Weise. Für das Auge war der Helligkeitsunterschied hier zwar sehr deutlich, aber doch immerhin so gering, dass er bei etwa fünfmal geringerer Spaltweite verschwand.

Bei hinreichender Intensität werden auch noch Strahlen bei H empfunden. Die Grenzen des Empfindungsvermögens der Bakterien für Licht bleiben also an der violetten Seite hinter denen des menschlichen Auges wohl nicht erheblich zurück. Sie reichen aber, wie man sieht, andererseits weit über dieselben hinaus, indem auch ultraroth Strahlen und diese, wenigstens soweit sie zwischen $\lambda = 0,80$ und $0,90 \mu$ liegen, sogar ganz besonders fein percipirt werden, worüber sogleich noch mehr.

Soviel ich weiss, unterscheiden sich in letzterer Beziehung unsere Bakterien von allen bisher darauf geprüften Thieren (J. Lubbock u. a.) und frei beweglichen Pflanzen (Cohn, Strasburger u. a.). Die einzige bekannte physiologische Wirkung ultrarother Strahlen (von der thermischen abgesehen) scheint die von Guillemin¹⁾

1) C. M. Guillemin, Production de la chlorophylle et direct. des tiges etc. Ann. sc. nat. Botan. IV. Sér. T. 7. 1857. p. 154.

entdeckte, von Wiesner¹⁾ weiter verfolgte photomechanische Wirkung auf die Krümmungen heliotropisch sehr empfindlicher Pflanzen zu sein, nachdem die gleichfalls von Guillemin²⁾ behauptete Chlorophyllbildung im Ultraroth durch Wiesner's³⁾ Versuche zum wenigsten sehr zweifelhaft geworden ist. Wenn auch die hauptsächlichste heliotropische Wirkung stets den brechbareren Strahlen, bis ins Ultraviolett hinein, zukommt, so findet sich doch ein zweites, kleineres Maximum, wie es scheint stets, im Ultraroth.

In Ermangelung eines Mikrospectralobjectivs kann man sich mittelst gefärbter Gläser und Flüssigkeiten von den wichtigsten der eben beschriebenen Thatsachen, die verschiedene Empfindlichkeit unserer Bakterien in verschiedenen Farben betreffend, überzeugen. Zu besonders anschaulichen Versuchen gibt die mehrfach erwähnte Blendungsvorrichtung mit doppelter Diaphragmenscheibe Gelegenheit. Dieselbe besitzt eine Einrichtung um jede der beiden Lichtöffnungen für sich mit einem gefärbten Glas zu decken. So kann man dann im nämlichen Gesichtsfeld des übrigens dunklen Tropfens zwei verschiedenfarbige Lichtkreise nebeneinander entwerfen und das Verhalten der Bakterien in beiden direkt vergleichen.

Man konstatirt zunächst leicht die ungleich schnelle Anhäufung in verschiedenen Farben, bedingt durch die verschiedene Empfindlichkeit für Intensitätsunterschiede, welche sich in der verschiedenen Schärfe der Reaction an der Grenze von Hell und Dunkel äussert. Die relative Bevorzugung verschiedener Farben lässt sich sehr hübsch zeigen, wenn man die anfangs durch einen dunklen Zwischenraum getrennten Lichtkreise nach genügender Anhäufung von Bakterien einander soweit nähert, dass sie sich eben zu decken beginnen (am einfachsten durch geringes Heben oder Senken des projicirenden Objectivs). Ausnahmslos beginnt dann sofort ein Auswandern aus dem einen Kreis in den andern, wodurch bei genügendem Farbenunterschied der eine schliesslich ganz zu veröden pflegt. Vertauscht man jetzt die farbigen Gläser, so beginnt sofort wieder Auswanderung in umgekehrter Richtung.

1) l. c. I. Theil. 1878. p. 46 f.

2) l. c.

3) J. Wiesner, Die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze. Wien 1877. p. 39 f.

In sehr frappanter Weise kann man so namentlich die ausserordentliche Bevorzugung ultrarother Strahlen anschaulich machen, indem man vor die eine der beiden Oeffnungen eine undurchsichtige Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff, vor die andere ein beliebiges farbiges Glas bringt. Sobald beide Kreise bis zur Berührung genähert werden, strömen die Bakterien durch die enge Berührungspforte aus dem hellen in den unsichtbaren Kreis, während in umgekehrter Richtung nicht leicht ein Individuum übergeht. Es scheint überflüssig, die zahlreichen Versuchsanordnungen näher zu besprechen, die sich hier treffen lassen. Alle mittelst derselben zu beobachtenden Erscheinungen lassen sich völlig erklären aus den durch Untersuchung im Mikrospectrum ermittelten Thatsachen und der Zusammensetzung der angewendeten farbigen Lichter. Umgekehrt lassen sich aber auch mittelst unserer Bakterien mancherlei Aufschlüsse über die Zusammensetzung des von verschiedenen Glassorten, Flüssigkeiten u. s. w. durchgelassenen Lichtes gewinnen, namentlich bezüglich des Gehaltes an dunklen Wärmestrahlen, worüber im Anhang noch Einiges mitgeteilt werden soll.

Einfluss der Wellenlänge auf die Geschwindigkeit der Bewegungen. Ungleicher phototonischer Effect der verschiedenen Lichtstrahlen. Wiederholt wurde bereits bemerkt, dass auch die Geschwindigkeit der Bewegungen in verschiedenfarbigem Licht unter übrigens gleichen Bedingungen Unterschiede zeigte. So äussert sich denn auch ein Unterschied der Strahlen verschiedener Wellenlänge in der verschiedenen Geschwindigkeit, mit welcher dieselben die Dunkelstarre zu heben vermögen.

Obenan stehen auch hier wiederum die ultrarothern Strahlen. Schaltete ich zwischen Lichtquelle (Gasflamme) und Object eine fürs Auge völlig undurchsichtige, 1 cm dicke Schicht einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff ein, so erfolgte die Wiedererweckung aus der Dunkelstarre anscheinend ebenso schnell wie bei direkter Bestrahlung, und sehr viel schneller als nach Einschaltung eines nur 3 mm dicken grünen Glases, welches Roth bis zu $\lambda = 0,71$ und Blau bis 0,46 durchgehen liess.

Auch mit Spectrallicht wurden Versuche angestellt. Der Tropfen befand sich hierbei an der Unterfläche eines Deckglases, welches auf die kreisförmige Oeffnung eines gewöhnlichen Objectträgers aufgekittet war. Er wurde bedeckt mit einem Deckglas,

das mit zwei nur einen etwa $\frac{1}{4}$ mm breiten und 5 mm langen Raum zwischen sich freilassenden Staniolblättchen beklebt war. Durch diesen freien Zwischenraum konnte das Licht eines beliebigen schmalen Theils des Spectrums in den übrigens ganz dunkelen Tropfen fallen. In anderen Versuchen wurden Capillarröhrchen mit Bakterien in verschiedene Bezirke des Mikrospectrums gebracht. So zeigte sich, dass (beim nämlichen Spectrum) im inneren Ultraroth sowohl die Dunkelstarre am schnellsten wieder weicht, als auch die grössten Geschwindigkeiten erreicht werden. Nächstdem im Orangegebl, während Violett, Blau und sichtbares Roth am schwächsten wirken.

Offenbar ist also der phototonische Effect der Strahlen verschiedener Wellenlänge in dem Maasse grösser, als die Empfindlichkeit der Bakterien für Intensitätsunterschiede der gleichen Strahlen beträchtlicher ist.

Beziehungen zwischen Absorption und photokinetischen Wirkungen des Lichts. Eine Vergleichung der im Vorhergehenden ermittelten Beziehungen zwischen Wellenlänge und photokinetischen Reactionen mit den früher beschriebenen Absorptionserscheinungen des Farbstoffs der lebenden Bakterien zeigt einen unverkennbaren Parallelismus beider Gruppen von Erscheinungen. Es bedarf nur eines Blickes auf unsere Tafel, um zu erkennen, dass die photokinetisch wirkenden Wellenlängen des sichtbaren Spectrums gerade auch diejenigen sind, welche am stärksten absorbirt werden, die unwirksamsten die am wenigsten absorbirten. Die lokalen Anhäufungen der Bakterien im Mikrospectrum (Fig. 4 und 5) machen geradezu den Eindruck von Copien der Absorptionsbänder (Fig. 2 und 3). Es stellt sich hier ein ganz analoger Zusammenhang zwischen Absorption und physiologischer Lichtwirkung heraus, wie er rücksichtlich der Pflanzenassimilation durch die Bakterienmethode nachgewiesen wurde¹⁾.

Bei der Uebereinstimmung, welche anscheinend überall im sichtbaren Theil des Spectrums zwischen Absorption und Photokinese besteht, darf man vermuthen, dass ein gleicher Parallelismus auch im unsichtbaren Theil, speciell im Ultraroth bestehen wird. Hiernach müssten also die Wellenlängen zwischen etwa 0,80 und 0,90 μ sehr stark absorbirt werden. Das einzige Mittel,

1) Farbe und Assimilation. Onderzoek. etc. VII. 1882, p. 209 f.

dies zu entscheiden, da das Auge versagt, Thermosäule und photographische Platte nicht wohl anwendbar sind, bieten unsere Bakterien selbst. Man müsste prüfen, ob die ultraroth Strahlung beim Durchgang durch die Bakterien in ihrer Wirkung auf die Bakterien selbst erheblich geschwächt wird, ähnlich wie die assimilatorisch wirksamen Lichtstrahlen beim Durchgang durch Chlorophyllkörner. Leider war es mir, da das Material inzwischen ausgegangen, bisher nicht möglich, die erforderlichen Versuche anzustellen, deren Ausführung wesentliche Schwierigkeiten wohl nicht im Wege stehen. Bei der ausserordentlichen Empfindlichkeit unserer Bakterien für ultraroth Strahlen wird man mit nur schwachem Licht und möglichst dicken absorbirenden Schichten arbeiten müssen. Letztere lassen sich ja, wie früher gezeigt, leicht durch anhaltende starke lokale Beleuchtung herstellen.

Phototaxis. Bisher berührten wir die Frage noch nicht, ob neben Intensität und Wellenlänge auch die Richtung der Lichtstrahlen einen Einfluss auf die Bewegungen von *B. photometricum* ausübt. Wie bekannt, ist ein solcher, von Strasburger¹⁾ als Phototaxis bezeichneter Einfluss bei den meisten frei beweglichen lichtempfindlichen niederen Organismen sehr auffällig, indem diese bei einseitiger Beleuchtung nach dem Licht hin (positive Phototaxis) oder vom Licht weg (negative Phototaxis) schwimmen. Da nach Strasburger auch chlorophyllfreie Schwärmer (*Chytridium vorax*) phototaktisch sein können²⁾, war einiger Grund vorhanden, diese Eigenschaft auch bei *B. photometricum* zu vermuthen. Inzwischen zeigte sich unter gewöhnlichen Bedingungen hiervon nichts und einige ausdrücklich darauf hin angestellte Versuche gaben keine ganz entscheidenden Resultate.

Der Tropfen befand sich bei diesen Versuchen auf einem gewöhnlichen Objectglas oder hing an der Unterfläche des Deckglases eines durchbohrten Objectträgers, im dunklen Mikroskopkasten auf mattschwarzem Grunde vor der 3 cm weiten inneren Oeffnung des Lichttrichters, bekam also nur von einer Seite Licht. Zur Beleuchtung wurden abwechselnd benutzt directes, mittelst eines Heliostaten fixirtes Sonnenlicht, diffuses Tageslicht und die

1) Strasburger, Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmsporen. Jena 1878, p. 37.

2) Ibid. p. 18.

Flamme des mehr erwähnten grossen Sugg'schen Gasbrenners, in mehreren Versuchen ausserdem farbige und matte Gläser, sowie farbige Lösungen (Chromchlorid, Kupferoxydammoniak, Jod in Schwefelkohlenstoff), die vor die innere Oeffnung des Lichttrichters gestellt wurden.

Nur in einem Falle (directes Sonnenlicht, Rubinglas) schien ein deutlicher Einfluss vorhanden und zwar im Sinne negativer Phototaxis. Nach Drehung des Tropfens um 180° bildete sich binnen 5 Minuten aufs Neue eine ziemlich starke Ansammlung an der vom Licht abgewandten Seite. Bei einer, eine halbe Stunde später vorgekommenen Wiederholung blieb aber jeder Erfolg aus. Die Bakterien wurden wie gewöhnlich ziemlich gleichmässig durch den ganzen Tropfen zerstreut gefunden. Bei allen diesen Versuchen variierte die Temperatur nur zwischen 13 und 16° C.

In jedem Falle ist also ein Einfluss der Lichtrichtung bei unseren Bakterien, wenn er überhaupt existirt, nur in ganz unbedeutendem Grade vorhanden. Intensität und Wellenlänge bestimmen fast ausschliesslich die Erscheinungen. Vielleicht hängt das Fehlen deutlicherer Phototaxis mit der optischen Homogenität, speciell der gleichmässigen Vertheilung des Farbstoffs über den Körper zusammen, der bei den Lichtreactionen doch, wie der Parallelismus zwischen Absorptions- und photokinetischen Erscheinungen zeigt, eine wesentliche Rolle spielt. Die meisten farbigen phototaktischen Schwärmer haben einen farblosen Vorderpol, was einen Unterschied in der Wirkung verschieden gerichteter Lichtstrahlen wohl begründet erscheinen lässt. Und das ganz farblose, nach Strasburger in hohem Grade phototaktische *Chytridium vorax* kann keinen Einwand bilden, denn bei diesem liegt am einen Körperende nahe der Insertion der einen Cilie ein relativ grosser farbloser Oeltropfen¹⁾, der natürlich in Bezug auf die Beleuchtungsverhältnisse gleichfalls einen Unterschied zwischen vorn und hinten bedingen muss.

Schlussbemerkungen. Was ich über die Beziehungen des Lichtes zu den Bewegungen unserer Bakterien bisher feststellen

1) Bei dem verwandten *Polyphagus Euglenae* ist dieser Tropfen gelb gefärbt. Vgl. L. Nowakowski in Cohn's Beiträgen zur Biologie der Pflanzen. II. 1877. p. 201. Taf. IX. Fig. 5 und 6.

konnte, ist auf den vorstehenden Seiten mitgetheilt. Man wird nicht erwarten, dass ich am Schlusse den Versuch wage, die gefundenen Thatsachen durch eine Theorie zu vereinigen. Die Erscheinungen sind viel zu verwickelt, um schon jetzt in befriedigender Weise in die elementaren Prozesse zergliedert und in ihrem causalen Zusammenhang genügend durchschaut werden zu können. Gewiss ist, dass die beobachteten Wirkungen nicht, wie der Hauptsache nach die photokinetischen Reactionen von *Navicula* und *Paramaecium bursaria*, einfach auf Aenderungen der Sauerstoffspannung, sei es nun mit oder ohne Hinzutreten einer Athempfindung, zurückgeführt werden können¹⁾. Auch sind sie, wie die phototonischen Erscheinungen lehren, offenbar noch complicirter als die der Euglenen, denen sie übrigens theilweise principiell verwandt sind, insofern nämlich, als sie auf eine spezifische Reizbarkeit für Licht weisen, die wohl am ehesten mit der des Sehorgans höherer Thiere verglichen werden darf.

Machen die Erscheinungen der photokinetischen Induction und Nachwirkung im Verband mit den gesetzmässigen Beziehungen, welche wir zwischen den optischen Eigenschaften des Farbstoffs und der photokinetischen Wirkung der Strahlen verschiedener Wellenlänge auffanden, es wahrscheinlich, dass die erste Wirkung des Lichts eine chemische sei, so lässt sich doch nicht einmal dies mit unumstösslicher Gewissheit behaupten. Und wäre es sicher, so würden wir doch über die Natur dieses Chemismus nichts Positives mit Bestimmtheit aussagen können. Man mag immerhin vermuthen, dass derselbe in der Erzeugung einer oder mehrerer Substanzen bestehe, deren allmähliche Zersetzung die Quelle für die Kraft der Bewegungen liefere, und dass der Farbstoff dabei eine ähnliche Rolle spiele wie etwa das Chromophyll bei der Stärkebildung, so würden sich allerdings die Erscheinungen der photokinetischen Induction und Nachwirkung, die Beziehungen zwischen Intensität und Wellenlänge einerseits und Grösse und Dauer der bewegungserregenden und beschleunigenden Wirkung des Lichtes andererseits erklären, aber schon zur Erklärung der beruhigenden Wirkung starker gleichmässiger Beleuchtung, ebenso der

1) Siehe den Aufsatz: „Ueber Licht- und Farbenperception niederster Organismen.“ Neuere Versuche haben mir wahrscheinlich gemacht, dass auch bei *Naviculaceen* Spuren einer Athempfindung vorkommen.

beunruhigenden Wirkung wechselnder Beleuchtung, vor Allem auch der Schreckbewegung, würde es neuer Annahmen bedürfen, die, soweit ich den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse übersehe, nur ganz willkürliche sein könnten.

Es scheint mir deshalb gerathener, einstweilen den Boden der Theorie nicht weiter zu betreten, sondern mit der Untersuchung der Einzelercheinungen und ihrer Bedingungen erst noch weiter fortzufahren. Namentlich von einem vergleichenden Studium möglichst vieler verschiedener Formen von lichtpercipirenden Organismen wird man sich gewiss wichtige Aufschlüsse versprechen dürfen.

Erklärung der Figuren auf Tafel I.

- Fig. 1. Bacterium photometricum. 2000 Mal vergrössert (Zeiss' Oelimmersion $\frac{1}{18}$, Ocul. IV). a—h die gewöhnliche, grössere, bewegliche Form; i—r, kleinere und kleinste bewegliche Zustände; s—z Ruhezustände, meist in Zoogloeahaufen.
- Fig. 2. Spectrum des Farbstoffs der lebenden Bakterien, in 0,1 mm dicker Schicht.
- Fig. 3. Dasselbe in etwa 0,05 mm dicker Schicht.
- Fig. 4. Vertheilung der Bakterien im Mikrospectrum von Gaslicht $\frac{200}{1}$.
- Fig. 5. Dieselbe im Mikrospectrum directen Sonnenlichtes.

Fig. 1.

$\frac{2000}{1}$

