ist, über die Grenzen seines Faches hinauszugehen und aus der Beschäftigung mit den Resultaten der allgemeinen naturwissenschaftlichen Forschung täglich neue Anregungen zu entnehmen.

Über Blaualgen.

Von Privatdozent Dr. Ernst G. Pringsheim,
Halle a. S.

Die Cyanophyceen oder Blaualgen stellen eine Gruppe niedrig stehender Organismen dar, deren mangelhafte physiologische Durchforschung sie aus bestimmten Gründen zum Gegenstand der verschiedensten Vermutungen gemacht hat. Ihr einfacher Bau erinnert, wie das *Ferdinand Cohn* besonders hervorgehoben hat, in vielem an den der Bakterien. Man faßt deshalb auch die Spaltalgen (Cyanophyceen) und Spaltpilze (Bakterien) als Spaltpflanzen (Schizophyten) zusammen, Bezeichnungen, die auf die Art der Vermehrung durch Zellspaltung hinweisen. Was die Gestalt der Blaualgen anbelangt, so treten hier allerdings die einfachen Stäbchen und Kügelchen zurück gegen die Masse der Arten, die zu einfachen Zellverbänden angeordnet sind, während unter den Bakterien die einfachsten Formen die Hauptmenge ausmachen. Aber das mag mit den Ernährungsverhältnissen zusammenhängen, die bei den Bakterien sich den echten Pilzen anschließen, während die Blaualgen Kohlensäure assimilieren wie die höheren Algen.

Nimmt man die Bakterien im weitesten Sinne als Einheit, so finden sich bei ihnen Parallelförmigkeit zu einer ganzen Anzahl von Cyanophyceengruppen. Und zwar sind es gerade die morphologisch oder physiologisch abweichenden und eigenartigen Formen unter den Bakterien, die vielfach an Blaualgen erinnern. Nicht nur, daß die stickstoffsammelnde, merkwürdige Gattung *Azotobakter* blaualgenartig aussieht, auch unter den sogenannten Purpurbakterien, die durch ihren Farbstoffgehalt und ihre ungeklärten Beziehungen zum Lichte unter den Bakterien eine Sonderstellung einnehmen, gibt es Arten, die gewissen Cyanophyceen gleichen. Besonders auffallend ist aber die Paralleltät zwischen den blaugrünen Oscillarien und den Beggiatoren, die zu den Schwefelbakterien gehören, d. h. zu jenen Organismen, die die Fähigkeit haben, Schwefelwasserstoff zu Schwefel und schließlich zu Schwefelsäure zu oxydieren und aus dieser Verbrennung ihren Bedarf an Lebensenergie zu bestreiten. Beide Gruppen sind in der Anordnung der Zellen, Gestalt und Bewegungsart völlig gleich, ohne sonst in der Organismenwelt ihresgleichen zu finden. Ihre Zellfäden kriechen nämlich auf völlig rätselhafte Weise auf festen Unterlagen entlang, wobei nichts von Bewegungsorganen zu erkennen ist. — Weitere Parallelförmigkeiten zu nennen, erübrigt sich wohl.

Schließlich kommt noch den Bakterien und Blaualgen ein negatives Kennzeichen gemeinsam zu, nämlich der Mangel eines Zellkernes, der doch sonst bei allen tierischen wie pflanzlichen Zellen gefunden werden konnte. Zwar hat man neuerdings

in den verschiedensten Strukturen in Bakterienzellen Kerne erkennen wollen, doch wurde diese Deutung höchstens für gewisse bei der Sporenbildung auftretende Körnchen wahrscheinlich gemacht, während bei Blaualgen und den manchmal sehr großen Zellen der Beggiatoren alle Bemühungen vergeblich waren. Es deutet dieser Mangel auf die allen Spaltpflanzen gemeinsame niedere Organisationsstufe hin, auf der offenbar die Arbeitsteilung in der Zelle noch nicht so weit fortgeschritten ist, wie bei den höher stehenden Organismen.

Neben diesen Ähnlichkeiten finden wir auch wichtige Organisationsmerkmale, die Spaltalgen und Spaltpilze unterscheiden. So geht den Cyanophyceen die Fähigkeit, innere Sporen zu bilden, und die, mit Hilfe von „Geißeln“ frei im Wasser umher zu schwimmen, ganz und gar ab. Auch hat man ein gewisses Recht zu sagen, daß die charakteristischsten Parallelförmigkeiten zu den Blaualgen unter den Spaltpilzen keine echten Bakterien seien. Trotzdem hat wohl doch die Analogie mit den Bakterien, die bekanntlich „alles können“, dazu beigetragen, den Blaualgen allerlei Fähigkeiten zuzuschreiben, die bei der ganz ungenügenden physiologischen Durchforschung dieses Organismenstammes mehr Glauben genossen, als gut ist.

Noch ist die Erforschung dieser Dinge erst in den Anfangsstadien, aber schon hat sich gezeigt, daß manches, was in den Büchern steht, einer strengeren Prüfung nicht standhält. Man hat vermutet, daß Blaualgen darauf angewiesen seien, organische Stoffe zu verarbeiten und hat ihnen auf Grund unzureichender Beobachtungen auch das Vermögen zugeschrieben, den Stickstoff der Luft zu verarbeiten. Schließlich hat man auch geglaubt, annehmen zu dürfen, daß sie ihre Färbung je nach der Beleuchtung ändern, so daß sie immer die Strahlen absorbieren und zur Assimilationsarbeit heranziehen sollen, die ihnen an einem bestimmten Orte geboten werden. Diese drei Punkte sollen auf Grund neuer Untersuchungen hier besprochen werden.

Zunächst sei noch betont, daß die genannten physiologischen Fragen bei der Mannigfaltigkeit der ökologischen Bedürfnisse innerhalb des Cyanophyceenstammes durch das Studium weniger Arten nicht mit Sicherheit allgemein entschieden werden können. Wir kennen nämlich Blaualgen aus den reinsten Quellbächen einerseits, aus stark verschmutzten Wässern andererseits; ferner solche, die in heißen Quellen, und solche, die als Planktonformen in kalten Meeren und Gebirgsseen auftreten. Auch in Gesellschaft anderer Lebewesen treten sie auf, als Flechtengonidien mit Pilzen zusammen, als Endophyten in *Azolla*, *Gunnera*, *Lebermoosen* und *Cykadeen*. Aus dieser Aufzählung dürfte schon hervorgehen, auf welche Mannigfaltigkeit auch der physiologischen Eigenschaften gerechnet werden muß. Diese zu erforschen, gelang aber bisher deshalb nicht, weil man die Blaualgen nicht von anderen, mit ihnen zusammenlebenden Organismen, vor allem Bakterien, zu trennen vermochte; Stoffwechsel- und Ernährungsversuche

sind natürlich stets nur an einheitlichem Materiale mit Erfolg anzustellen.

Es ist mir nun gelungen, drei Arten von Cyanophyceen mit Kriechvermögen, nämlich zwei Oscillarien und ein Nostoc in absoluter Reinkultur, d. h. in Abwesenheit aller fremden Organismen, auch der Bakterien, zu züchten¹⁾. Zu diesem Zwecke wurde anstatt des gebräuchlichen Agar-Agars eine Schicht von kolloidaler Kieselsäure mit den nötigen Nährsalzen verwendet. Auf dieser breiteten sich die Blaualgen aus und streiften sich beim Gleiten über die Gallertoberfläche die größte Masse der anhaftenden Bakterien ab. Letztere fanden darauf auch keine Nährstoffe, während sich die Algen am Lichte gut vermehrten. So konnte schließlich an Stellen, die vom Orte der ursprünglichen Impfung entfernt lagen, ein schon mit weniger Bakterien behaftetes Material entnommen und durch Wiederholung der gleichen Behandlung weiter gereinigt werden. Ganz zu beseitigen vermochte man die Bakterien auch so nicht, doch befreiten sich wenigstens einzelne Fäden schließlich von ihnen. Sie konnten durch Übertragen auf Agar mit organischen Stoffen herausgefunden und isoliert werden, womit die Reinkultur erzielt war.

Mit dem so gewonnenen und leicht zu vermehren- den Material wurden nun systematische Ernährungsversuche angestellt, die ein leidlich einheitliches Bild ergaben. In rein „mineralischen“ Nährlösungen ohne organische Stoffe gediehen die kultivierten Arten bei neutraler oder schwach basischer Reaktion mit Nitraten wie mit Nitriten und Ammonsalzen als Stickstoffquellen. Ebenso konnten die verschiedenartigsten organischen Stickstoffverbindungen, wie z. B. Eiweißstoffe und deren Abbauprodukte ausgenutzt werden, ohne aber gegenüber den anorganischen irgendwelche Vorzüge aufzuweisen. Von anderen Kohlenstoffverbindungen wurden organische Säuren, höhere Alkohole, Kohlehydrate usw. geprüft. Alle organischen Stoffe erwiesen sich schon bei recht niedriger Konzentration als schädlich, bei noch geringerer aber als nahezu unwirksam. Nur selten, so z. B. bei manchen Zuckerarten, konnte eine schwache Förderung gegenüber mineralischen Lösungen festgestellt werden. Im ganzen ist also eine erhebliche Bedeutung organischer Stoffe für die untersuchten Arten nicht anzunehmen. So kann es auch nicht wundernehmen, daß eine Ernährung nur mit solchen, also unter Ausschluß der Kohlensäureassimilation bei Dunkelkultur nicht gelungen ist. Eine Vermehrung im Finstern ist für eine endophytische Art behauptet worden. Da diese unter natürlichen Umständen in sehr schwacher Beleuchtung gedeiht und von der Wirtspflanze vielleicht organische Nahrung bezieht, muß die Möglichkeit zugegeben werden.

Was das Stickstoffbindungsvermögen der Blaualgen anbelangt, so sind dahingehende Ver-

mutungen hauptsächlich von Beijerinck¹⁾ ausgesprochen worden. Er fand nämlich, daß in Leitungswasser mit einer Spur Gartenerde sich eine üppige Cyanophyceanvegetation entwickeln kann, obgleich die vorhandenen Mengen an Stickstoffverbindungen sehr gering sind. Neue Versuche von Glade²⁾ zeigten aber, daß die in solchen Kulturen auftretenden Arten sich nicht mehr zu vermehren vermögen, wenn sorgfältig gereinigte Salze und destilliertes Wasser verwendet werden. Eine minimale Menge von Stickstoffsalzen dagegen erlaubt reichliche Entwicklung. Die meisten Blaualgen brauchen hingegen höhere Stickstoffmengen zum Gedeihen, wenn sie auch immer noch recht bescheiden sind. Wiederum ist die Frage nicht für alle Arten als entschieden zu betrachten, wenn auch die Wahrscheinlichkeit nicht sehr groß ist, daß Blaualgen erheblichere Mengen von Luftstickstoff festlegen, da gerade die von Beijerinck genannten nicht dazu instande sind. Sie dürften vielmehr häufig mit stickstoffbindenden Bakterien vergesellschaftet sein.

Schließlich zu der Erscheinung der sogenannten komplementären chromatischen Adaptation von Engelmann und Gaidukow. Nach einer geistreichen Hypothese des ersteren haben die das Chlorophyll bei vielen Algen begleitenden Farbstoffe, die die rote Farbe der Rhodophyceen, die braune der Phaeophyceen usw. bedingen, die Aufgabe, sonst nicht ausnutzbare Lichtstrahlen durch Absorption der Kohlensäureassimilation dienstbar zu machen. Vor allem soll das für die kurzwelligen Strahlen gelten, die ins Meerwasser tiefer eindringen als die langwelligen und von den gelben, braunen und roten Farbstoffen der Algen stärker absorbiert werden als vom bloßen Chlorophyll.

Eine starke Stütze dieser Hypothese schien es nun zu sein, als sich zeigte, daß die nicht immer blaugrünen, sondern vielfach alle möglichen Farben zeigenden Spaltalgen unter wechselnden Umständen ihre Farbe zu verändern instande sind. Der Farbenwechsel wird durch das Zugewesen eines blauen und eines gelben bis roten Farbstoffes neben dem Chlorophyll ermöglicht, deren Mischungsverhältnis von Fall zu Fall variiert. Gaidukow³⁾ glaubte nun, durch Änderung der Farbe des die Algen treffenden Lichtes eine gesetzmäßige Umfärbung hervorrufen zu können, und zwar in der Weise, daß die erzielte Farbe der Spaltalgen annähernd komplementär zu der der Beleuchtung würde. Es würde dann mehr von dem farbigen Lichte absorbiert als bei normaler Färbung, was für die Pflanzen zweckmäßig wäre und die für die genannten Meeresalgen aufgestellte Hypothese stützen würde.

Leider konnten die Gaidukowschen Versuche in zwei unabhängig voneinander angestellten Untersuchungen nicht mit Erfolg wiederholt werden.

¹⁾ M. W. Beijerinck, Über oligonitrophile Bakterien, Centralblatt für Bakt., II. Abt., Bd. VII, 1901, S. 561.

²⁾ Noch nicht veröffentlicht.

³⁾ N. Gaidukow, Die Farbenänderung bei den Prozessen der komplementären chromatischen Adaptation. Ber. d. deutsch. bot. Ges., Bd. XXI, 1903, S. 519.

¹⁾ E. G. Pringsheim, Kulturversuche mit chlorophyllführenden Mikroorganismen, III. Mitteilung: Zur Physiologie der Schizophyceen. Cohns Beiträge z. Biol. d. Pflanzen, Bd. XII, 1913, S. 49.

Weder *Magnus* und *Schindler*¹⁾ noch ich selbst bekamen eine komplementäre Umfärbung. Vielmehr zeigte sich, daß die Farbe der Blaualgen bei Stickstoffmangel und in zu starker Beleuchtung ausbleicht und sich mehr dem Gelb nähert. Unter günstigen Umständen tritt das fast oder ganz verschwundene Blattgrün sowie der blaue Farbstoff wieder auf, was aber sogar im Dunkeln vor sich gehen kann, wie von *Boresch*²⁾ gezeigt wurde. Mit der Farbe der Beleuchtung hat also die Verfärbung offenbar nichts zu tun. Sie reiht sich vielmehr dem Vergilben vieler anderer Algen und grüner Flagellaten unter den gleichen Umständen ein, das schon längere Zeit unter der Bezeichnung des Etiolements aus Stickstoffhunger bekannt ist.

Wir sehen also, daß die Cyanophyceen nicht alle die merkwürdigen Fähigkeiten besitzen, die man ihnen zugeschrieben hat, und sich von anderen Algen in ihren physiologischen Eigenschaften wenig unterscheiden. Nur ihre Anspruchslosigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen extreme Einflüsse befähigen sie zu der so verschiedenartigen Lebensweise. Da aber bisher nur wenige Arten genauer untersucht werden konnten, so sind zukünftige Überraschungen nicht ausgeschlossen. Auch dürfte eine Erforschung der speziellen Bedürfnisse und Anpassungsbreiten bei Blaualgen der Standortslehre und Ökologie sehr zugute kommen.

Die Radioaktivität der Heilquellen.

Von Professor Dr. H. Sieveking, Karlsruhe.

Die heilkräftige Wirkung der Thermalquellen, die sich seit alten Zeiten eines besonderen Rufes erfreuten, ist durch die Entdeckung des Radiums in ein ganz neues Licht gerückt worden. Seit den Tagen der Römer, die bekanntlich in der Bädertechnik unübertroffen dastehen, haben Tausende Heilung und Linderung ihrer Gebrechen in den stärkenden Quellen gesucht. Der Ruf der Wunderkraft erbte sich durch Geschlechter hindurch fort. Die Erklärung hat im Laufe der Zeiten manche Wandlung erfahren. Wo nicht ein ausgeprägter Salzgehalt zutage trat, wo ferner keine hohe Temperatur die Quelle vor anderen auszeichnete, suchte man den „Brunnengeist“ durch Spuren von Gold oder anderen wertvollen Beimengungen zu erklären. Poetischer, wenn auch nicht naturwissenschaftlich, war die Erklärung durch ein sagenhaftes Ereignis, dem die Veredelung der Quelle zu danken sein sollte. Schon die Schriftsteller des Mittelalters lassen es als wahrscheinlich gelten, daß irgend etwas Verborgenes in den Quellen liege, da nur an Ort und Stelle die volle Wirkung zur

Geltung komme. In neuerer Zeit hat *Heinrich Heine* treffend die Heilquelle mit einem Volkslied verglichen. Will der Chemiker im Laboratorium das Wasser künstlich nachahmen, so glückt ihm das ebensowenig, wie einem neueren Dichter die Nachahmung eines Volksliedes. Es fehlt das hypothetische Fluidum. Bekannter mag die Anekdote von *Liebig* sein, der nur mit großem Mißtrauen an eine Kur in Gastein heranging, da eine Vorprüfung des Wassers ihm die totale Neutralität verraten hatte. Destilliertes Wasser könne er zu Hause billiger haben, meinte er nicht ganz mit Unrecht. Erst nach erfolgreicher Kur ließ er sich bekehren und äußerte, es müsse etwas Elektrisches oder Magnetisches in der Quelle sein. Und damit hat er anscheinend teilweise das Rechte prophetisch erkannt. Er ahnte noch nichts vom Radium; hätte er aber in Gastein ein Elektroskop gehabt, so wäre ihm sicher nicht verborgen geblieben, daß Luft, die mit diesem Wasser in Berührung gewesen, ein hohes elektrisches Leitvermögen besitzt.

Gleichzeitig und unabhängig voneinander haben *Allen* und *Himstedt* darauf hingewiesen, daß die Heilwirkung auf den Gehalt an Radiumemanation zurückzuführen sei. Wie ungezwungen erklärt sich von diesem neuen Standpunkt aus das Versagen der Heilkraft fern vom Ort der Quellenmündung. Gäbe es ein Maß dafür, so hätte man eine Abnahme der Heilwirkung mit einer Halbwertszeit von 3,85 Tagen konstatieren können! Und ebenso die mißglückten Versuche, das Heilwasser künstlich nachzuahmen; es fehlte eben die radioaktive Emanation.

Bekanntlich ist diese in der Natur ungemein verbreitet. Die Leitfähigkeit der Luft, ohne welche die erdelektrischen Vorgänge gar nicht zu erklären sind, beruht zum großen Teil auf der Gegenwart der Emanation. Der Boden atmet dieselbe ein und aus, entsprechend den Schwankungen des Luftdruckes. Auf dem Festlande wie auf dem Ozean, am Boden wie in einigen Kilometer Höhe auf Bergen oder im Ballon, überall findet sich das radioaktive Gas. Wir sind sogar berechtigt zu der Annahme, daß die Erdwärme ihre Verluste aus der Energie des Radiums deckt.

Fast jede Quelle zeigt bei sorgfältiger Prüfung einen Gehalt an Emanation. Eine Quelle ohne jede Spur von Radium ist eine Seltenheit, gewissermaßen ein Naturwunder. Bei anderen Quellen wieder sind die mitgeführten Beträge recht beträchtlich. Leider ist es in den meisten Fällen nur Emanation, die in kurzer Zeit sich umsetzt. Die Salze des Radiums sind meist sehr schwer löslich, und nur minimale homöopathische Spuren finden sich gelegentlich im Wasser. Eine erfolgreiche Ausbeutung der Radiumschätze der Erde auf diesem Wege ist leider ein Ding der Unmöglichkeit.

Neben der Emanation des Radiums findet sich häufig auch die des Thoriums. So ist der Charakter jeder Quelle ein ganz bestimmter, und das mag bei der Heilwirkung eine große Rolle spielen. Die Natur bleibt hier wieder die unübertroffene Meisterin.

¹⁾ *W. Magnus* u. *B. Schindler*, Über den Einfluß der Nährsalze auf die Färbung der Oscillarien. Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch., Bd. XXX, 1912, S. 314.

²⁾ *K. Boresch*, Die Färbung von Cyanophyceen und Chlorophyceen in ihrer Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt des Substrates. Jahrb. f. wissensch. Botanik, Bd. LII, 1912, S. 145.