Mitarbeiter bewiesen, daß man eine scharfe Trennungsgrenze zwischen beiden Gebieten tatsächlich ziehen kann. Leider erstrecken sich die bisher vorliegenden Versuche aber nicht auf Metalle und Legierungen. Wichtig ist die Beobachtung, daß die Kristallgestalt davon abhängig ist, ob die Kristalle im labilen oder metastabilen Gebiet gebildet sind. Sphärolite entstehen im labilen Gebiete. Ferner haben Versuche von *Bekier* es wahrscheinlich gemacht, daß Antimon bei sehr tiefen Temperaturen seine Kristallisationsfähigkeit verliert; nach *Stock* und *Siebert* (1905) kann man amorphes Antimon erhalten, wenn man Antimondampf durch flüssige Luft abkühlt. Hier würde dann also das erste Beispiel eines dauernd unterkühlten, amorphen Metalles vorliegen.

8. *Volumenänderung bei der Erstarrung.* Früher hat man gemeint, daß Kristalle immer dichter sein müßten als ihre Schmelze. Die ersten Ausnahmen fand *Duvernoy* (1852). Seine Meinung, daß die Volumenänderung von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhänge, beruht aber auf einem Irrtum. Seit *Réaumur's* Arbeiten hat man andererseits geglaubt, daß sehr viele Metalle voluminöser wären als ihre Schmelze, weil ihre Kristalle auf ihren Schmelzen schwimmen, wenn sie in kleinen Stücken darauf geworfen werden. Diese Ansicht geht aber ebenso irrtümlich ins andere Extrem. *Mallet* hat die Erscheinung auf Konvektionsströme zurückgeführt. Leider sind reine Metalle bis jetzt nicht so ausführlich untersucht wie beispielsweise organische Substanzen. Legierungen sind überhaupt erst sehr wenige untersucht. *Hagen* untersuchte das Kalium-Natrium-Eutektikum, *Roberts-Austen* das Kupfer-Silber-Eutektikum, *Wiedemann* das Blei-Zinn-Eutektikum und verschiedene Blei-Wismut-Legierungen. Beim Wismut ist die Volumenausdehnung beim Erstarrten als seltener Ausnahmefall erwiesen.

9. *Die von wachsenden Kristallen ausgeübte Pressung.* Viele Versuche hat *Duvernoy* (1852) an mineralogischen Substanzen gemacht. Er fand, daß viele Körper bei der Erstarrung sich scheinbar ausdehnen, so zum Beispiel Blei. *Folger* (1854) fand, daß diese Wahrnehmung nur scheinbar war und nur auf die Pressung der wachsenden Kristalle zurückzuführen sei, die dadurch entsteht, daß dieselben gewisse Richtungen bevorzugen und so in dieser Richtung einander beugen und die äußere Dimension zunehmen lassen. Dafür entstehen dann in anderen Richtungen Hohlräume. Das erstarrte Blei zeigte einen zentralen Hohlkanal. Ähnliche Erscheinungen sind bei Gips und Eis wohl bekannt. Die Erscheinung tritt bei anisotropen Metallen besonders leicht ein, ist aber nicht auf diese beschränkt, da auch das Wachsen in Kristallskeletten ebensolche Pressung hervorrufen kann. Nach Ansicht des Verfassers ist die Preßwirkung der Kristalle eine selbstverständliche Folge der vektoriellen Eigenschaften der Kohäsion.

Blickt man nun auf das ganze, bisher vorhandene Material zurück, so sieht man nichts als Probleme und offene Fragen. Als wichtig bezeichnet der Verfasser die Feststellung, daß gleichzeitig *verschiedene* Zellstrukturen in einem festen Metall vorhanden sein können. Ihre Beziehung zueinander müsse das erste Problem weiterer Forschung sein. Ferner ist wichtig, daß sehr ähnliche Strukturen aus sehr verschiedenen Vorbedingungen entstehen können, und daß andererseits man die Erscheinungen an Metallen mit den an Salzen und organischen Verbindungen beobachteten vergleichen kann. Experimentelle Versuche sollen folgen.

(Schluß folgt.)

Kohlenstoff-autotrophe Bakterien.

Von Dr. R. Lieske, Heidelberg.

Daß die höheren grünen Pflanzen in bezug auf ihre Kohlenstoffnahrung unabhängig sind von organischer Substanz, ist eine seit Anfang des 19. Jahrhunderts vor allem durch die Untersuchungen von *Priestley*, *Ingenhous* und *Sennebie* allgemein bekannte Tatsache. Die grünen Pflanzen gewinnen den zu ihrer Ernährung nötigen Kohlenstoff ausschließlich aus der Kohlensäure der Luft. Sie zerlegen mit Hilfe des Chlorophyllfarbstoffes die Kohlensäure und bilden daraus in bezug auf Energiegehalt höherwertige Produkte, vor allem Kohlehydrate. Die zu diesem Prozeß selbstverständlich notwendige Energie beziehen sie aus dem Sonnenlicht, und zwar verwenden sie ausschließlich die Lichtstrahlen, die Wärmestrahlen haben keinen Einfluß auf den Vorgang, der daher als photosynthetische Assimilation des Kohlenstoffes bezeichnet wird.

Licht und Chlorophyll sind die für die Assimilation unbedingt notwendigen Faktoren. Chlorophyllfreie Pflanzen, vor allem Bakterien und Pilze, sind daher in ihrer Ernährung angewiesen auf organisch gebundenen Kohlenstoff, sie sind im Gegensatz zu den kohlenstoffautotrophen grünen Pflanzen heterotroph.

Im Jahre 1889 gelang es *Winogradsky*¹⁾, die Ursache der Oxydation des Ammoniak zu Salpetersäure endgültig festzustellen, ein Vorgang, der in der Natur häufig beobachtet wird und der praktisch für die Beseitigung der Abwässer von größtem Interesse ist. Der Prozeß war schon früher als biologisch erkannt worden, und es gelang *Winogradsky*, zwei Bakterienarten zu isolieren, von denen die eine fähig war, Ammoniak zu Nitrit, die andere Nitrit zu Nitrat zu oxydieren. Beim Kultivieren dieser Organismen zeigte sich nun eine ganz merkwürdige Erscheinung: die Bakterien wuchsen in anorganischer Nährlösung ohne jede Spur von organischer Substanz. Sie besaßen weder Chlorophyll noch brauchten sie zu ihrem Wachstum Licht, und doch ließ sich nachweisen, daß sie

fähig waren, Kohlensäure zu assimilieren. Die hierzu unbedingt notwendige Energie gewannen sie aus der Oxydationswärme chemischer Verbindungen, aus der Wärme, die frei wird bei der Oxydation von Ammoniak zu salpetriger Säure und von salpetriger Säure zu Salpetersäure.

Die Nitrat- und Nitritbakterien sind wie die meisten anderen autotrophen Bakterien an eine ganz bestimmte Energiequelle gebunden. Die Nitritbakterien können nur Ammoniak zu Nitrit, und die Nitratbakterien nur Nitrit zu Nitrat oxydieren. Andere chemische Verbindungen können von ihnen nicht als Energiequelle verwertet werden.

Nachdem die chemosynthetische Assimilation an den Nitrit- und Nitratbakterien zum erstenmal einwandfrei festgestellt worden war, gelang es, eine Reihe weiterer autotropher Organismen zu entdecken, die mit Hilfe anderer Oxydationsprozesse ihre Assimilationsenergie gewinnen.

Es wurde ein autotropher Organismus gefunden, der fähig ist, Wasserstoff zu Wasser zu oxydieren²⁾. Diese Bakterienart, *Hydrogenomonas* genannt, besitzt außerdem die Eigenschaft, ohne Wasserstoff wie gewöhnliche Bakterien in organischer Nährlösung leben zu können. Es ist der einzige bisher bekannte Organismus, der sowohl autotroph als heterotroph leben kann. Das Wachstum der übrigen autotrophen Bakterienarten wird durch Zusatz von organischer Substanz nicht nur nicht gefördert, sondern in den meisten Fällen gehemmt oder ganz unterdrückt.

Weiter wurde eine Bakterienart entdeckt, die Methan³⁾ oxydiert und diese Verbindung gleichzeitig als Kohlenstoffquelle benutzt. Einen ähnlichen Stoffwechsel hat ein Bakterium, das Kohlenoxyd oxydiert.

Praktisch von großer Bedeutung sind die Eisenbakterien, Organismen, die Eisenoxydul zu Eisenoxyd oxydieren und das ausgefüllte Oxydhydrat in der sie umgebenden Gallertmembran aufspeichern. Manche von ihnen können anstatt oder neben Eisen auch Mangan oxydieren. Da verschiedene Vertreter dieser physiologisch sehr interessanten Gruppe durch ihr massenhaftes Auftreten in Wasserleitungen großen Schaden anrichten können, ist die Kenntnis ihrer Lebensweise praktisch von großem Werte.

Als erster beschrieb *Winogradsky*⁴⁾ Kulturversuche mit *Leptothrix ochracea*. Er versuchte nachzuweisen, daß die Oxydation von Eisenoxydul zu Eisenoxyd für den betreffenden Organismus ein notwendiger Lebensprozeß sei und zeigte, daß diese Bakterien mit nur ganz geringen Mengen von organischer Substanz gut gedeihen können. *Molisch*⁵⁾ gelang es 1910, den Organismus rein zu kultivieren und zu zeigen, daß er ohne Eisen in organischer Nährlösung heterotroph leben kann. Er zieht daraus den Schluß, daß die Eisenspeicherung für *Leptothrix ochracea* ernährungsphysiologisch ohne Bedeutung sei.

1911 wurde für einen anderen eisenspeichernden Organismus, *Spirophyllum ferrugineum* Ellis, nachgewiesen, daß er autotroph mit Hilfe der Oxydation von Eisenoxydul zu Eisenoxyd leben kann⁶⁾. Eine heterotrophe Ernährung dieser Art war nicht möglich. Ein in der Dresdner Wasserleitung in großen Massen auftretender manganspeichernder Organismus von sternförmiger Gestalt, *Manganaster Dresdensis*, ist vielleicht nur eine Manganoform von *Spirophyllum*.

Die Untersuchungen über mangan- und eisenspeichernde Bakterien bieten große Schwierigkeiten, es konnte bisher nicht festgestellt werden, ob dieselben alle autotroph sind oder nicht. *Molisch*, der zuerst *Leptothrix ochracea* rein kultivierte, konnte später diese Kulturen erst nach vielen vergeblichen Bemühungen wieder erlangen. Referent gelang es 1912 nach den Angaben von *Molisch* *Leptothrix* ebenfalls rein zu kultivieren, die Kulturen konnten aber später trotz vieler Bemühungen ebenso wie die Kulturen von *Spirophyllum ferrugineum* nicht wieder erlangt werden. Es spielen hier noch Faktoren mit, die wir zurzeit nicht übersehen können. *Crenothrix polyspora* und *Clonothrix fusca*, Eisenbakterien, die in Wasserleitungen rasch in ungeheuren Massen wachsen, sind noch niemals kultiviert worden. Auf Grund jahrelanger Beobachtungen und genauer Wasseranalysen ist mit Sicherheit festgestellt worden, daß das Eisen und Mangan an den natürlichen Fundorten für die Ernährung dieser Organismen eine entscheidende Rolle spielt. Es ist durchaus nicht ausgeschlossen, daß diese Bakterien autotroph sind, ein Beweis hierfür ist aber bisher noch nicht erbracht worden.

Genauer bekannt und leichter zu untersuchen sind die Beziehungen autotropher Bakterien zum Schwefel und seinen Verbindungen. Am längsten bekannt sind die Bakterienarten, die Schwefelwasserstoff oxydieren zu Schwefelsäure. *Thiothrix* und *Beggiatoa*, lange fadenförmige Bakterienarten, die in ihrem Körper zahlreiche stark lichtbrechende Tröpfchen von elementarem Schwefel enthalten, sind die Organismen, die schon seit langer Zeit das besondere Interesse der Forscher erregten. *Winogradsky*⁷⁾ war wieder der erste, der den Stoffwechsel dieser Bakterien eingehend untersuchte. Er erkannte, daß sie Schwefelwasserstoff oxydieren und Schwefel in ihrem Körper aufspeichern, er stellte weiter fest, daß sie den gespeicherten Schwefel zu Schwefelsäure verbrennen. Außerdem wurde von ihm betont, daß die Oxydation des Schwefelwasserstoffes für ihre Ernährung ein unbedingt notwendiger Prozeß sei und daß sie mit Spuren organischer Substanz, die anderen Organismen nicht als Nahrung genügen, vorzüglich gedeihen konnten. Daß die Schwefelbakterien fähig sind, Kohlensäure zu assimilieren, konnte *Winogradsky* durch seine Untersuchungen nicht feststellen.

Im Jahre 1912 gelang es *Keil*⁸⁾ in Halle, Reinkulturen von *Beggiatoa* und *Thiothrix* zu erhalten, nachdem er ihre Lebensweise zuvor an Roh-

kulturen studiert hatte. Das Material, mit dem er arbeitete, stammte aus schwefelwasserstoffhaltigem Schlamm der Saale. Es zeigte sich bei den Versuchen, daß von größter Wichtigkeit für das Wachstum die Einhaltung eines ganz bestimmten Sauerstoff- und Schwefelwasserstoff-Druckes war. Am günstigsten war ein Sauerstoffdruck von 15 mm und ein Schwefelwasserstoffdruck von 0,8 mm (das ist für ein Gefäß von 4500 ccm Inhalt 5 ccm Schwefelwasserstoff, also verhältnismäßig wenig).

Durch die mit Reinkulturen angestellten Versuche wurden zunächst die Untersuchungsergebnisse *Winogradskys* in jeder Weise bestätigt. Außerdem wurde einwandfrei festgestellt, daß *Beggiatoa* und *Thiothrix* kohlenstoffautotroph sind und daß sie ihren Kohlenstoff ausschließlich durch Assimilation von Kohlensäure gewinnen. Eine heterotrophe Ernährung konnte nicht beobachtet werden, doch verhinderte ein geringer Zusatz von organischer Substanz das Wachstum der Bakterien nicht. Die Nährlösung muß stets eine nicht zu kleine Menge von Alkali-Erdmetallen enthalten, die dazu dienen, die ausgeschiedene freie Schwefelsäure zu neutralisieren. Als Stickstoffquelle kommen ausschließlich Ammonsalze in Betracht, die in faulenden Wässern, den natürlichen Standorten der Schwefelbakterien, immer in großer Menge vorhanden sind. Im Haushalt der Natur spielen diese Schwefelbakterien eine bedeutende Rolle, indem sie den für fast alle Organismen stark giftigen Schwefelwasserstoff beseitigen und in Sulfate umwandeln, die für die Pflanzen einen wichtigen Nährstoff darstellen.

Eine andere Gruppe autotropher Organismen, die Thiosulphate oxydieren zu Tetrathionsäure und Schwefelsäure, wurde zuerst von *Nathanson*⁹⁾ beschrieben. Er isolierte aus Meerwasser eine kleine, lebhaft bewegliche Bakterienart, die auf der Oberfläche thiosulphathaltiger Nährlösungen elementaren Schwefel abschied. Dieser Schwefel war aber nicht wie bei den eben beschriebenen Arten der Bakterienzelle eingelagert, sondern er wurde extrazellulär abgeschieden und schwamm frei auf der Nährlösung. Aus Süßwasser wurden ähnliche autotrophe Bakterien zuerst von *Beijerinck* beschrieben. Außer den Thiosulfaten konnten diese Bakterien auch Schwefelwasserstoff, Schwefelcalcium und Tetrathionate als Energiequelle verwenden. Von *Lieske* wurden später eine Reihe anderer Süßwasserbakterien gefunden, die sich schon mit bloßem Auge durch die Form und Farbe des abgeschiedenen Schwefels unterscheiden. Eine heterotrophe Ernährung konnte bei keiner dieser Formen beobachtet werden, doch war eine nicht zu große Menge organischer Substanz den Organismen in Reinkultur nicht hinderlich. Auch bei ihnen mußte die Nährlösung zur Neutralisation der abgeschiedenen freien Schwefelsäure stets Karbonate enthalten.

Alle vorstehend beschriebenen Bakterienarten sind streng aerob, sie gewinnen ihre Assimilations-

energie durch einen Oxydationsprozeß und brauchen hierzu unbedingt freien Sauerstoff. Auch die von *Keil* beschriebenen Schwefelwasserstoffbakterien, die den vollen Sauerstoffdruck der Atmosphäre nicht vertragen, können niemals ganz ohne Sauerstoff leben.

Als erster zeigte *Beijerinck*¹⁰⁾, daß es Organismen gibt, die auch in sauerstofffreier Nährlösung autotroph leben können. Er fand eine Bakterienart, die bei Luftabschluß elementaren, freien Schwefel oxydierte zu Schwefelsäure und gleichzeitiger Reduktion von Salpeter. Die Ernährungsphysiologie eines ähnlichen bzw. desselben Organismus wurde 1912 von *Lieske*¹¹⁾ näher beschrieben.

Die anaeroben, denitrifizierenden Schwefelbakterien müssen den für die Assimilation der Kohlensäure unbedingt notwendigen Oxydations-Sauerstoff zunächst durch Reduktion von Salpeter gewinnen. Sie reduzieren Salpeter bis zu freiem Sauerstoff, nicht dagegen Nitrit, das von vielen Bakterien leichter als Nitrat reduziert wird.

Der Reduktionsprozeß ist ein endothermer Vorgang, er erfordert also Zufuhr von Energie. Von den heterotrophen denitrifizierenden Bakterien wird diese Energie gewonnen durch Verbrennung von organischer Substanz. In anorganischer Nährlösung ist daher bei ihnen eine Denitrifikation ausgeschlossen. Die von *Lieske* beschriebenen Bakterien reduzieren nun den Salpeter auch in anorganischer Nährlösung, müssen also eine andere Energiequelle zur Verfügung haben, die an Stelle der organischen Substanz tritt. Diese Energiequelle, die außerdem noch die Energie für die chemosynthetische Assimilation der Kohlensäure liefern muß, ist der Schwefel und einige seiner Verbindungen. Man könnte natürlich auch annehmen, daß die Reduktions-Energie an organischer Substanz gewonnen wird, die von den Bakterien durch chemosynthetische Assimilation gebildet wurde.

Als Energiequelle konnten verwendet werden: Schwefelwasserstoff, Schwefel, unterschwefligsaures Natrium und unterschwefelsaures Natrium. Das hauptsächlichste Endprodukt aller dieser Oxydationen war Schwefelsäure.

Betrachtet man ganz schematisch die Entstehung dieser Säure aus den genannten Verbindungen, indem der Einfachheit halber nur die Oxydationsstufen des Schwefels ohne Rücksicht auf das wirkliche Vorhandensein dieser Verbindungen angenommen werden, so ergibt sich:

Schwefelsäure entsteht also aus allen diesen Verbindungen durch Aufnahme von Sauerstoff. Weitere Untersuchungen ergaben, daß der Schwefel und seine niederen Oxydationsstufen nicht direkt zu Schwefelsäure oxydiert werden, sondern

daß Zwischenstufen der Oxydation auftreten. Es erklärt sich wohl hieraus, daß eine ganze Reihe von chemischen Stoffen fähig ist, demselben Organismus als Energiequelle für die chemosynthetische Assimilation zu dienen. Die anderen autotrophen Bakterien sind bekanntlich immer an eine ganz bestimmte Energiequelle gebunden. Die Nitritbakterien oxydieren immer nur Ammoniak zu Nitrit, niemals Nitrit zu Nitrat, während die Nitratbakterien umgekehrt niemals Ammonsalze, sondern nur Nitrit oxydieren können.

Die denitrifizierenden Schwefelbakterien müssen wie die vorher beschriebenen Arten Karbonate in der Nährlösung haben, die als Kohlenstoffquelle und zur Neutralisation der ausgeschiedenen Schwefelsäure dienen.

Die angeführten Schwefelverbindungen werden bei Überschuß von Salpeter vollständig zu Schwefelsäure oxydiert. Es wurde berechnet, daß durch Oxydation von 1 g Natriumthiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + 5 \text{H}_2\text{O}$) ungefähr 10,9 mg Kohlenstoff assimiliert werden.

Für den Kreislauf des Schwefels in der Natur dürfte die beschriebene Bakterienart von größter Bedeutung sein. Der in ungeheuren Mengen gebildete Schwefelwasserstoff muß wieder in Schwefelsäure umgewandelt werden, um für andere Organismen nutzbar zu werden. Diese Umwandlung kann von den aeroben, Schwefelwasserstoff oxydierenden Bakterien nur in beschränktem Maße ausgeführt werden, da diese hierzu freien Sauerstoff in ganz bestimmter Konzentration benötigen, Bedingungen, die in der Natur nur an verhältnismäßig wenig Orten erfüllt werden. Die denitrifizierenden Schwefelbakterien oxydieren den Schwefelwasserstoff bei Abwesenheit von Sauerstoff, können also auch am Grunde unserer Gewässer, im Schlamm mancher Meeresküsten und an anderen sauerstofffreien Orten Sulfate bilden.

Eine physiologisch besonders interessante Gruppe von Organismen sind die roten Schwefelbakterien, die wegen ihres massenhaften Auftretens in der Natur eine auffällige Erscheinung bilden. Sie sind schon wiederholt Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen. Als erster untersuchte wieder *Winogradsky* ihren Stoffwechsel. Er kam zu dem Resultat, daß sie zu ihrem Wachstum Schwefelwasserstoff unbedingt notwendig haben, daß sie sehr wenig Sauerstoff und ganz geringe Spuren von organischer Substanz brauchen.

*Engelmann*¹²⁾ versuchte 1888 zu beweisen, daß die Purpurbakterien mit Hilfe ihres roten Farbstoffes, des Bakteriopurpurins, im Lichte wie die grünen Pflanzen Kohlensäure assimilieren können, eine Ansicht, die *Winogradsky* und *Molisch* zu widerlegen versuchten.

*Molisch*¹³⁾ kultivierte verschiedene Arten von Purpurbakterien und zeigte, daß sie mit organischer Substanz besonders gut im Lichte gedeihen, ohne Schwefelwasserstoff notwendig zu haben.

Seine Bakterien wuchsen übrigens auch, wenn auch weniger gut, ohne Licht.

Die Verschiedenheit der angeführten Resultate erklärt sich zum Teil daraus, daß der Begriff „Purpurbakterien“ für ganz verschiedene rote Bakterienarten angewendet wurde. Es wurden hierunter sowohl rote, schwefelspeichernde Bakterien verstanden, als auch solche, in deren Körper Schwefel niemals nachweisbar ist. Ernährungsphysiologisch haben diese beiden Bakteriengruppen wahrscheinlich überhaupt nichts gemeinsam.

In neuester Zeit wurden die Untersuchungen in Straßburg von *M. Skene*¹⁴⁾ wieder aufgenommen. Es wurden von ihm die echten roten Schwefelbakterien, also solche Formen, in deren Körper elementarer Schwefel abgelagert wird, untersucht. Leider gelang es ihm nicht, dieselben in Reinkultur zu erhalten, aber die von ihm mit Rohkulturen erhaltenen Resultate sind recht interessant, und es ist kein Grund vorhanden, anzunehmen, daß mit Reinkulturen wesentlich andere Resultate erzielt werden.

Die von *Skene* untersuchten Purpurbakterien gediehen am besten in einer mineralischen Nährlösung, die Ammonsulfat als Stickstoffquelle und Calciumkarbonat zum Neutralisieren der gebildeten Säure enthielten. Die Gegenwart von organischer Substanz war durchaus nicht notwendig. Alle untersuchten organischen Kohlenstoff- und Stickstoff-Quellen erzeugten durchaus keine Förderung des Wachstums, sondern erwiesen sich im Gegenteil als wachstumshemmend. Der Schwefelwasserstoff war für das Wachstum unbedingt notwendig und konnte nicht wie bei den denitrifizierenden Schwefelbakterien durch andere Schwefelverbindungen ersetzt werden.

Es wurde von ihm ferner mit Sicherheit nachgewiesen, daß das Licht für das Wachstum dieser autotrophen Organismen notwendig ist. Es ist dies ein bis jetzt einzig dastehender Fall, denn die anderen untersuchten autotrophen Bakterien wachsen gänzlich unabhängig vom Licht, für die meisten wirkt das Licht sogar hemmend auf das Wachstum. Daß die roten Schwefelbakterien zu ihrem Gedeihen Licht benötigen, stimmt mit ihrem Vorkommen in der Natur überein, denn man findet sie im Gegensatz zu anderen Bakterien niemals im Dunkeln.

Daß die Purpurbakterien Kohlensäure assimilieren, geht aus den Untersuchungen hervor. Es ist aber zugleich bewiesen worden, daß die Assimilation nicht, wie es *Engelmann* annahm, wie bei den grünen Pflanzen eine einfache Photosynthese ist, da die Oxydation des Schwefelwasserstoffes für die Ernährung der Bakterien ebenso notwendig ist wie das Licht. Vielleicht liegt hier eine Vereinigung von Photosynthese und Chemosynthese vor. Weitere Untersuchungen sind inzwischen von anderer Seite in Angriff genommen worden und dürften bald näheren Aufschluß über diese höchst interessante Frage geben.

Daß die bisher untersuchten und beschriebenen

autotrophen Bakterien nicht die einzigen sind, die in der Natur vorkommen, ist mit Sicherheit anzunehmen. Es gibt wahrscheinlich noch eine ganze Reihe anderer Organismen, die fähig sind, mit Hilfe chemischer Energiequellen Kohlensäure zu assimilieren.

Literatur.

- ¹⁾ Winogradsky, Annales de l'Inst. Pasteur 1890, Bd. IV, S. 213; 1891, Bd. V, S. 517.
- ²⁾ Niklewsky, Jahrb. f. wiss. Bot. 1910, Bd. XLVIII, S. 113.
- ³⁾ Söhngen, Centralbl. f. Bakt. II. Abt. 1906, Bd. XV, S. 513.
- ⁴⁾ Winogradsky, Bot. Zeitung 1888, Bd. 46, S. 261.
- ⁵⁾ Molisch, Die Eisenbakterien, Jena 1910.
- ⁶⁾ Lieske, Jahrb. f. wiss. Bot. 1911, Bd. 49, S. 91.
- ⁷⁾ Winogradsky, Bot. Zeitung 1887, Bd. 45, S. 489.
- ⁸⁾ Keil, Cohns Beitr. z. Biol. d. Pflanzen, Bd. XI, S. 335.
- ⁹⁾ Nathanson, Mitteil. aus d. Zoolog. Station Neapel 1902, Bd. 15, S. 655.
- ¹⁰⁾ Beijerinck, Centralbl. f. Bakt. II. Abt. 1904, Bd. XI, S. 593.
- ¹¹⁾ Lieske, Sitzungsberichte d. Heidelberger Akademie d. Wiss. 1912.
- ¹²⁾ Engelmann, Bot. Zeitung 1888, Bd. 46, S. 661.
- ¹³⁾ Molisch, Die Purpurbakterien, Jena 1907.
- ¹⁴⁾ Skene, The New Phytologist, Vol. XIII, Nos. 1 E. 2.

Besprechungen.

Haas-Lorentz, G. L. de, Die Brownsche Bewegung und einige verwandte Erscheinungen. Sammlung „Die Wissenschaft“. Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1913. VI, 103 S. Preis geh. M. 3,50, geb. M. 4,20.

Das vorliegende Buch, das im wesentlichen eine deutsche Übersetzung der holländischen Dissertation der Verfasserin darstellt, ist allen denen warm zu empfehlen, die sich mit den merkwürdigen Erscheinungen der Brownschen Bewegung und den statistischen Gedankengängen ihrer theoretischen Behandlung vertraut machen wollen.

Bekanntlich hat der Botaniker Robert Brown im Jahre 1828 beobachtet, daß kleine in Gasen oder Flüssigkeiten schwebende Teilchen eine unregelmäßige, zickzackförmige Bewegung ausführen. Lange Zeit war die Ursache dieser Erscheinung ungeklärt. Erst verhältnismäßig spät, seit dem Jahre 1877, drang allmählich infolge der Arbeiten von Delsaulx, Carbonelle und Gouy die heute allgemein angenommene Auffassung durch, daß die eigentümliche, beobachtete Bewegung der sichtbaren Teilchen daher rührt, daß die Teilchen von den in Wärmebewegung begriffenen Flüssigkeits- oder Gasmolekülen unregelmäßige Stöße empfangen.

Daß diese Erklärung den Kern der Sache trifft, zeigte sich in vollster Deutlichkeit, als die von Einstein im Jahre 1906 abgeleitete Theorie der Brownschen Bewegung durch die Versuche Perrins eine überraschend gute Bestätigung fand.

Unter der Voraussetzung, daß die mittlere kinetische Energie eines Brownschen Teilchens gleich der mittleren kinetischen Energie eines Gas- oder Flüssigkeitsmoleküls ist (Hypothese der „gleichmäßigen Energieverteilung“), gelang es Einstein, für den Abstand Δ , den ein kugelförmiges Teilchen vom Radius a in der Zeit t erreicht, die folgende grundlegende Formel abzuleiten:

$$\Delta^2 = \frac{k T t}{3 \pi \zeta a}.$$

Dabei ist $k = 1,47 \cdot 10^{-16}$ die Boltzmannsche Konstante, T die absolute Temperatur und ζ der Reibungskoeffizient des Mediums, in dem das Brownsche Teilchen schwebt. Diese Formel, die später von Langevin auf anderem Wege abgeleitet wurde, und eine analoge Formel für die Rotation Brownscher Teilchen ist durch die Untersuchungen Perrins an Gummigutt-Emulsionen bestätigt worden.

Zu ähnlichen Formeln führen auch die Rechnungen von Smoluchowski, die im vierten Kapitel des Buches dargestellt sind. Hier findet sich auch eine neue Ableitung der Einsteinschen Formel nach einer anderen Orts von Einstein und Hopf benutzten Methode, welche nebenbei noch die Größe des Impulses zu berechnen gestattet, den ein Brownsches Teilchen von den umgebenden Molekülen im Mittel erhält.

Nach derselben Methode werden im letzten Kapitel einige mit der Brownschen Bewegung zusammenhängende Probleme gelöst, die sich vor allem mit der spontanen, durch die Wärmebewegung erzeugten Elektrizitätsbewegung in Leitern beschäftigen.

F. Reiche, Berlin.

Planck, M., Neue Bahnen der physikalischen Erkenntnis. Rektoratsrede 1913. Leipzig, Johann Ambrosius Barth, 1914. 28 S. Preis M. 1,—.

Wie alle Schriften Plancks, so ist auch diese Rede, die er bei Antritt des Rektorats der Berliner Universität im Jahre 1913 hielt, durch Klarheit und Formvollendung ausgezeichnet.

Neue Strömungen haben die Forschungen der letzten Jahre in dem klassischen Bau der Physik erzeugt. Aber diese Strömungen haben die Fundamente des Gebäudes nicht fortgeschwemmt. Zwar sind viele Annahmen, die bisher unbedenklich an die Spitze der Theorien gestellt wurden, durch die experimentellen Tatsachen als unhaltbar dargelegt: Die Hypothese von der Unveränderlichkeit der chemischen Atome, der gegenseitigen Unabhängigkeit von Raum und Zeit und der Stetigkeit aller dynamischen Wirkungen mußten den radioaktiven Erscheinungen, dem Relativitätsprinzip und der Quantentheorie das Feld räumen. Aber siegreich sind aus diesen Kämpfen die allgemeinen großen Prinzipien der Physik hervorgegangen: das Energieprinzip, die Impulssätze, das Prinzip der kleinsten Wirkung und die Hauptsätze der Thermodynamik. Sie haben an Kraft noch gewonnen, so daß „die bisherigen eigentlichen Fundamente der Theorie gerade gegenwärtig so fest und so gesichert ruhen, wie zu keiner Zeit vorher“.

F. Reiche, Berlin.

Graetz, L., Handbuch der Elektrizität und des Magnetismus. Band I, Lieferung 2: Dielektrizität von E. Schrödinger; Die Anomalien der dielektrischen Erscheinungen von E. von Schweidler; Elektrostriktion und Magnetostriktion von R. v. Hirsch; Elektrooptik von W. Voigt; Pyroelektrizität und Piezoelektrizität von Eduard Riecke. III, S. 157 bis 420 u. 49 Abb. Preis M. 10,—. Band II, Lieferung 2: Elektrische Konvektion von A. Eichenwald; Elektrische Endosmose und Strömungsströme von M. v. Smoluchowski; Wärmeerzeugung des elektrischen Stromes von O. Lummer. III, S. 337 bis 468 u. 33 Abb. Preis M. 5,40. Leipzig, J. A. Barth, 1914.

Über den Zweck des Graetzschen Handbuches und über die früher erschienenen Lieferungen ist bereits im 1. Bande dieser Zeitschrift p. 436 und 918 berichtet worden.