

- Fig. 10. Offene Schnalle aus dem Uredomycel der *Puccinia* von *Carex hirta*.
 „ 11. Offene Schnalle aus dem Aecidienmycel der *Puccinia* von *Carex acuta*.
 „ 12. Offene Schnalle aus dem Aecidienmycel der *Puccinia* von *Phragmites*.
 „ 13. Geschlossene Schnalle aus dem Aecidienmycel der *Puccinia graminis*.
 „ 14. Geschlossene Schnalle aus dem Aecidienmycel der *Puccinia* von *Phragmites*.
 „ 15. Halb geschlossene Schnalle aus dem Keimschlauch der Uredospore von *Phragmidium violaceum*.
 „ 16. Plasmaverbindungen in eingeschlossenen Schnallen aus dem Aecidienmycel der *Puccinia* von *Carex acuta*.
 „ 17. In Nährlösung gekeimte Uredospore von *Phragmidium violaceum*. Aussaat 17. Juli 1902, gezeichnet 19. Juli 1902. Jod-Jodkaliumfärbung.
 „ 18. Ende eines Keimschlauchs von einer Uredospore von *Phragmidium violaceum*. Aussaat 17. Juli 1902, gezeichnet 19. Juli 1902. Jod-Jodkaliumfärbung.

50. J. Reinke: Die zur Ernährung der Meeres-Organismen disponiblen Quellen an Stickstoff.

Eingegangen am 11. Juli 1903.

In der Pflanzen- und Tierwelt des Meeres, sowohl der festgewachsenen wie der schwimmenden, ist ein ungeheurer Vorrat von gebundenem Stickstoff gegeben. Da hierfür hauptsächlich die Phosphorproteide und Eiweissstoffe des Protoplasma in Betracht kommen, möge diese Bindungsform des Stickstoffs kurzweg als Eiweiss bezeichnet werden.

Das Problem ist, woher dieser Eiweissstickstoff stammt, aus welchen anorganischen Stickstoffvorräten die Algen ihn assimiliert haben, sowohl die festsitzenden wie die schwimmenden des Planktons; denn nach allem, das wir wissen, können Tiere kein Eiweiss aus anorganischem Material synthetisch aufbauen, sie sind zu ihrer Ernährung angewiesen auf das in Pflanzenzellen gebildete Eiweiss. Die Pflanzen verfügen nicht nur über die Kunst der Bildung von Kohlenhydraten aus Kohlensäure, sondern auch über die Fähigkeit zur Erzeugung von Eiweiss aus Nitraten oder Ammoniakverbindungen; gewisse Spaltpilze vermögen sogar den freien Stickstoff zur Synthese von Eiweiss zu verwenden. Darum kommt für das Problem der Eiweissbildung im Meere nur die assimilierende Tätigkeit der Pflanzen in Betracht.

Schon beim Niederschreiben meines im Jahre 1880 erschienenen Lehrbuchs der allgemeinen Botanik war mir in Bezug auf die Stickstoffernährung der Meeresalgen auffallend, dass die damals zur Verfügung stehenden Meerwasser-Analysen entweder gar keine oder

doch nur Spuren von Stickstoffverbindungen angaben. Ich schloss den allerdings sehr kurz gehaltenen Absatz über die Nährstoffe der Meeresalgen mit der Hypothese (S. 460): „Stickstoffverbindungen müssen jedenfalls durch den organischen Detritus in das Meerwasser gelangen und die Vegetation in demselben unterhalten“. Unter „organischem Detritus“ verstand ich die Verwesungsprodukte von Meeresorganismen und die Abfallstoffe menschlicher Wohnstätten, die ich mir durch die Flüsse in das Meer geschwemmt dachte.

Heute erscheint mir diese Hypothese unhaltbar. Zunächst kommt in Betracht die ungeheure Masse von Eiweissstoffen, die Jahr für Jahr in der Algenvegetation der nordischen Küsten und im Plankton durch Assimilation erzeugt wird. Schon der Algenreichtum der Küsten des arktischen Norwegens ist gross; wo aber sind die grossen Städte, die jenen Algen stickstoffhaltigen Detritus liefern, wo die Ströme, die ihn den Algen zuführen könnten? Weit imposanter aber müssen die Algenmassen sein, die längs der pacifischen Küste Nordamerikas von Kalifornien bis zum Behringsmeer hin wachsen. Unter vielen anderen will ich nur an die riesigen Arten der Gattung *Nereocystis* erinnern, die mit ihren 30, nach andern Angaben bis 100 m langen Stämmen und ihren 15 m langen, zu 48 an einem Stamm sitzenden Blättern einjährig sind, also diese ganze ungeheure Körpermasse Jahr für Jahr aus der Keimzelle unter Assimilation von anorganischem Stickstoff aufbauen. San Francisco und die nördlich davon gelegenen Städte werden schwerlich jenen Stickstoff in Gestalt von Nitraten oder Ammoniakverbindungen liefern, und durch welche Transportmittel sollte derselbe bis zur Behringstrasse hinauf gelangen? Wohl kommt in Betracht, dass die abgestorbenen einjährigen Algen und die einjährigen Teile mehrjähriger Arten selbst durch Verwesung „Detritus“ liefern, der als Modde im Meere sich ansammeln kann. Allein in Meeren mit Gezeitenbewegung wird jene Modde von den Felsen, an denen die Algen angewachsen sind, in die grösseren Tiefen des Ozeans gespült, wo kein Algenwuchs mehr gedeiht; und Wasser wie Untergrund pflegen an den Algensiedlungen der nordatlantischen und nordpacifischen Küsten besonders klar und rein zu sein. Es können daher nur die aus der Modde im Wasser sich lösenden Stickstoffverbindungen in Betracht kommen, und dass deren Menge eine minimale ist, ergaben die bekannten Meerwasser-Analysen. Freilich geben diese Analysen auch den Gehalt an Phosphorsäure sehr niedrig an, und von Jod schweigen sie ganz, obgleich dasselbe in solcher Menge in den Tangen angestaut ist, dass es technisch daraus dargestellt wird¹⁾. Dennoch er-

1) Nach FR. SCHULZE, Lehrbuch der Chemie für Landwirte, enthält Meerwasser noch bei weitem nicht ein Milliontel seines Gewichts an Jod.

scheint es mindestens fraglich, ob in allem diesem, von organischem Detritus herstammenden Stickstoff eine nennenswerte oder gar eine ausreichende Quelle für die Ernährung der Algen, namentlich auch des Planktons, erblickt werden darf.

Hinzu kommt der Umstand, dass die Abfallstoffe der grossen Städte, wenn diese nicht unmittelbar am Meeresufer liegen, wie z. B. Neapel, überhaupt kaum ins Meer gelangen. Ich erinnere an das, was PETTENKOFER¹⁾ über die „Selbstreinigung“ der Flüsse festgestellt hat; wenn man das Flusswasser seiner chemischen Zusammensetzung nach oberhalb und unterhalb einer grossen, am Flusse liegenden Stadt vergleicht, so zeigt sich im Unterlaufe schon in gar nicht grosser Entfernung von der Stadt kein verunreinigender Einfluss der letzteren mehr.

Die älteren diesbezüglichen Angaben erfahren eine Bestätigung in dem kürzlich erschienenen wichtigen Werke: Hamburgische Elb-Untersuchung, Heft I von R. VOLK (1903). Dasselbst wird S. 70—74 u. a. folgendes ausgeführt. In der Sekunde lässt Hamburg 12 l Urin in die Elbe laufen, der in gleicher Zeit sich mit 360 cbm zufließendem Wasser mischt, was einer Anreicherung des Wassers an organischen Stoffen um ein Milliontel entspricht, also verschwindend gering ist; dann aber „verfallen“ jene Stoffe alsbald den „chemischen und biologischen Prozessen“. „Alle diese organischen Verunreinigungen, mögen sie sich aus den Fäkalien oder dem Urin oder von den Abfällen der Haushaltungen herleiten, werden durch die Selbstreinigung des Stromes zum grössten Teil wieder aus dem Wasser entfernt“ (S. 71). Weiter heisst es dort von den Zersetzungsprodukten der in den Abfällen der Stadt enthaltenen Eiweissstoffe: „Bei ihrer Fäulnis entstehen als Zersetzungsprodukte wesentliche Mengen von Ammoniak und Schwefelammonium. In der Elbe erfahren aber diese in Wasser löslichen Stoffe eine so enorme Verdünnung, dass das Ammoniak und seine Oxydationsprodukte, salpetrige und Salpetersäure, nicht überall und gleichmässig im Strom nachweisbar sind. Das Schwefelammonium wird, wie in jedem eisenhaltigen Gewässer, so auch hier derart zersetzt, dass sich sein Schwefel mit vorhandenem Eisen zu Einfach-Schwefeleisen verbindet. Da dieses in Wasser unlöslich ist, sedimentiert es an ruhigeren Stellen und erteilt mit der Zeit dem Schlamm eine schwärzliche Färbung“.

Wenn wir endlich in Betracht ziehen, dass an den Felsen Capris und des Posilipp, an den Schären Norwegens wie den Küsten des

1) PETTENKOFER, Zur Selbstreinigung der Flüsse, Archiv für Hygiene XII (1891); Derselbe, Über die Selbstreinigung der Flüsse. Verhandlungen der Deutschen Naturforscher-Versammlung von 1892.

nördlichen Pacific, sowie im Plankton jener Meere schwerlich die Üppigkeit des Pflanzenwuchses und der Tierwelt eine geringere war, bevor es Menschen gab¹⁾, die in der Nähe wohnten, so dürfte das Ergebnis sein, dass die von grossen Städten herkommenden Küstenströme für die Bereicherung des Ozeans mit Stickstoffverbindungen so unwirksam sein dürften, wie zu seiner Aussüssung.

Es käme dann der in der Modde enthaltene Humus als Quelle von Stickstoffverbindungen, die für die Ernährung von Algen dienen könnten, in Betracht. Auch hier werden die sich zersetzenden Eiweisskörper überwiegend Ammoniakverbindungen liefern. Allein es würde sich hier um denselben Zirkel handeln, wie bei der alten, längst überwundenen Humustheorie in bezug auf die Bildung organischer Substanz in der Pflanze. Es würden die Algen immer nur mit einem gegebenen Kapital gebundenen Stickstoffs wirtschaften, dasselbe indes niemals vermehren können. Dagegen findet tatsächlich eine Verminderung jenes Kapitals statt, die im Laufe der Zeit sein Verschwinden bewirken müsste. Nachdem K. BRANDT²⁾ mit Recht auf die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens denitrifizierender Bakterien im Meere hingewiesen hat, wurde der Nachweis zahlreicher denitrifizierender Spaltpilze im Meere durch GRAN³⁾ tatsächlich erbracht. Schon kurz vorher hatte E. BAUR⁴⁾ in einer, im Kieler zoologischen Institut ausgeführten Arbeit aus dem Schlamm und dem Wasser der Kieler Förhde einige denitrifizierende Bakterien namhaft gemacht, und ich meinerseits bin zu der Annahme geneigt, dass hier wirklich denitrifizierende Arten vorliegen; nur bleibt zu berücksichtigen, dass die Methode, deren sich BAUR bediente, wegen ihrer Zulässigkeit Anfechtung erfährt⁵⁾. Ein unzweifelhaftes Verdienst der Arbeiten BAUR's⁶⁾ dürfte indes sein Nachweis nitrifizierender Bakterien im Kieler Hafen sein. Wenn somit in der Modde durch Fäulnis

1) Man erinnere sich nur der reichen marinen Tierwelt der mesozoischen Periode, der mächtigen Diatomeen-Ablagerungen in Kreide und Tertiär.

2) K. BRANDT, Über den Stoffwechsel im Meere. 1. Abh. (Wiss. Meeresuntersuchungen, Abt. Kiel, Bd. 4, S. 215 ff. (1899).

3) GRAN, Studien über Meeresbakterien I. (Bergens Museums Aarbog 1901).

4) BAUR, Über zwei denitrifizierende Bakterien aus der Ostsee. (Wiss. Meeresuntersuchungen. Abt. Kiel, Bd. 6, S. 9 ff. 1902).

5) BAUR bediente sich zu den Versuchen mit seinen Bakterien einer Nitritbouillon, in Bezug auf welches Verfahren A. FISCHER bemerkt (Vorlesungen über Bakterien, 2. Aufl., S 193): „Wir haben daraus die Warnung zu entnehmen, dass nicht jede Stickstoffentwicklung in beliebiger salpeterhaltiger Nährlösung als Denitrification gedeutet werden darf, weshalb Salpeterbouillon durchaus ungeeignet ist für die Untersuchung des Prozesses“. Diese Kritik FISCHER's stützt sich auf eine bereits 1899 in den Annalen des Institut Pasteur erschienene Arbeit von GRIMBERT.

6) Vgl. Wiss. Meeresuntersuchungen, Bd. 6, S. 73.

(also auch durch Spaltpilze) Ammoniak entsteht, so kann dies durch nitrifizierende Bakterien in Nitrate und Nitrite, und diese können durch denitrifizierende Spaltpilze zu freiem Stickstoff reduziert werden. Damit wäre das Ende der aus organischen Resten stammenden Stickstoffverbindungen erreicht.

Allein es gibt auch eine rein anorganische Quelle der Salpetersäure in der Natur, das ist der Luftstickstoff, aus dem die Salpetersäure durch elektrische Entladungen in der Atmosphäre entsteht. Dass dies nicht bloss durch die heftigen, bei Gewittern eintretenden elektrischen Explosionen, sondern auch durch tägliche, unscheinbare Spannungsausgleiche geschieht, zeigt das Vorhandensein von Salpetersäure in jedem Regenwasser. Die ersten eingehenden Messungen derselben verdanken wir BOUSSINGAULT¹⁾. Derselbe fand in den Vogesen in walddreicher Umgebung durchschnittlich 0,2 *mg* Salpetersäure im Liter Regenwasser und daneben 0,6 *mg* Ammoniak, das wohl den Aushauchungen des humusreichen Bodens entstammen dürfte²⁾. Grösser erwies sich der Gehalt des Pariser Regenwassers an beiden Verbindungen. Es ergab sich ferner die beachtenswerte Tatsache, dass Schnee, Hagel und Nebel an Ammoniak und Salpetersäure weit reicher sind, als Regenwasser; der Gehalt an Salpetersäure im Nebelwasser am Liebfrauenberge in den Vogesen betrug im Oktober, November und Dezember 1857 0,39—1,83 *mg* im Liter. Daraus könnte man folgern, dass in den Niederschlägen der Polar-meere weit mehr Salpetersäure enthalten ist als in denen der Tropen, und dass darum jene Meere einen grösseren Zuschuss an gebundenem Stickstoff aus der Atmosphäre erhalten, als diese, in denen bekanntlich die Algenvegetation verhältnismässig kümmerlich ist.

Indessen bleibt auch diese Stickstoffquelle neben der ungeheuren Wassermasse des Ozeans eine geringfügige, selbst wenn wir die Tätigkeit denitrifizierender Bakterien nicht hoch veranschlagen wollen. Nehmen wir mit FR. SCHULZE³⁾ den Gehalt der wässerigen atmosphärischen Niederschläge an gebundenem Stickstoff (in Form von Ammoniak und Salpetersäure) durchschnittlich für das ganze Jahr zu 1 *mg* im Liter, und den jährlichen Regenfall zu $\frac{1}{2}$ *m* Höhe, so empfängt aus dieser Quelle jeder Hektar Ozeanoberfläche 5 *kg* gebundenen Stickstoff im Jahre, was auf den Liter Meerwasser ausserordentlich wenig sein dürfte.

Auch diese atmosphärische Quelle der Stickstoffverbindungen erscheint wenig befriedigend, wenn wir die Eiweissmengen der Tiere

1) Vgl. FR. SCHULZE, Lehrbuch der Chemie für Landwirte I, S. 126.

2) Allerdings hat SCHÖNBEIN gefunden, dass auch bei Verdampfung von Wasser salpetrigsaures Ammoniak gebildet wird, das daher auch in Spuren in der Luft vorkommt.

3) l. c. I, S. 126.

und Pflanzen des Meeres aus ihr herleiten sollen. Dass sie mit zur Erzeugung von Eiweiss, namentlich durch Planktonalgen der Meeresoberfläche dient, dürfte nicht zu bezweifeln sein. Auch daran, dass aus der Modde stammende Stickstoffverbindungen als Nahrung hinzukommen, zweifle ich nicht. Es könnte darauf vielleicht die Abnahme des Planktons mit der Entfernung von den Küsten zurückgeführt werden. Denn in flachen Gewässern ist der moddige Grund mit seinen Exhalationen der Oberfläche nahe; über grossen Tiefen dagegen mögen die Zersetzungsprodukte der unten lagernden toten Organismen die Oberfläche nur höchst verdünnt oder gar nicht erreichen, zumal wenn Denitrifikation durch Bakterien eingreift. —

Gedanken über die Herkunft des Stickstoffs im Eiweiss der Meeresalgen haben mich seit langer Zeit beschäftigt; seit Jahren stellte ich mir das Problem, ob nicht durch Algen der freie, im Meereswasser absorbierte Stickstoff assimiliert werden könne. Zum Belege dessen führe ich nachstehende Zeilen meiner 1889 erschienenen Algenflora der westlichen Ostsee an (S. 15): „Übrigens ist noch niemals die Frage experimentell behandelt worden, ob und inwieweit die Algen imstande sein dürften, den freien, im Wasser absorbierten Stickstoff zu assimilieren. Ich gedenke diesbezügliche Untersuchungen demnächst in Angriff zu nehmen.“

Das letztere ist in den darauf folgenden Jahren geschehen, doch ohne eindeutige Resultate zu ergeben, so dass ich nichts darüber veröffentlicht habe. Anknüpfend an die Behauptung von FRANK, dass Nostocaceen Luftstickstoff sollten assimilieren können, experimentierte ich mit *Anabaena gigantea*, indem ich sie in Meerwasser ohne gebundenen Stickstoff und mit Zusatz einiger notwendiger Salze kultivierte. Bald erhielt ich eine verhältnismässig üppige Entwicklung der Alge, bald blieb sie aus. Ich hätte daraus immerhin den Schluss ziehen können, dass jene Alge sich auch ohne Nitrat- oder Ammoniumquelle zu vervielfältigen vermochte, allein es blieben dann doch die negativen Ergebnisse anderer Kulturgefässe unerklärt; und schon damals kam mir der Gedanke, dass die Algen sich den Leguminosen ähnlich verhalten möchten. So geriet ich in ein Stadium des Abwartens, während dessen die Feststellung der Tätigkeit der Leguminosen-Bakterien, des *Clostridium Pasteurianum* und zuletzt des *Azotobacter Chroococcum* erfolgte. Ich begrüsstes es daher mit besonderer Freude, als ein tüchtiger junger Analytiker, Herr KEUTNER, im botanischen Institute bakteriologisch zu arbeiten wünschte und Herr Prof. BENECKE sich entschloss, mit Herrn KEUTNER zusammen zunächst die Frage in Angriff zu nehmen, ob im Kieler Hafen freien Stickstoff assimilierende Bakterien vorkommen.

Die Entdeckung von *Clostridium Pasteurianum* und von *Azotobacter Chroococcum* im Schlamm und im Plankton der Kieler Förde

durch die Herren BENECKE und KEUTNER war die Frucht jener Untersuchung¹⁾. Dadurch ist das Problem der Stickstoffassimilation durch Meeresorganismen in eine ganz neue Phase getreten.

Zunächst war festgestellt, dass es in der westlichen Ostsee Pflanzen gibt, die freien Stickstoff binden, d. h. ihn zum Aufbau von Eiweiss verwenden können. Hiermit war der ungeheure Vorrat des über den Ozeanen schwebenden Luftstickstoffs unmittelbar in den Stoffwechsel der Meeresorganismen hereinbezogen. Ob die assimilierenden Pflanzen zu den Algen oder den Spaltpilzen gehören, ist für die von den Herren BENECKE und KEUTNER gewonnene Lösung des Problems zunächst gleichgültig. —

Es kommt nun weiter darauf an, ob und in welcher Weise *Clostridium* und *Azotobacter* den von ihnen gebundenen Stickstoff den Algen und den Tieren des Meeres nutzbar machen. Von manchen Tieren könnten jene Bakterien bei ihrer Grösse gefressen werden und so als unmittelbare Nahrung dienen. Aber auch an Algen könnten sie von ihren gebundenen Stickstoffvorräten abgeben; wir denken unwillkürlich gleich wieder an die Leguminosen. Natürlich brauchte die Art der Mitteilung nicht die gleiche zu sein, wie zwischen *Rhizobium* und seinen Wirten.

Zunächst ist daher die Verbreitung der genannten Stickstoffbakterien²⁾, unter denen ich der Kürze wegen allein von *Azotobacter* sprechen will, ins Auge zu fassen. *Azotobacter* findet sich zunächst im Schlamm des Meeresgrundes; das genauere Vorkommen daselbst wurde bis jetzt nicht festgestellt. Der Schlamm oder Schlick (die Modde) ist, wie wir aus den Untersuchungen G. KARSTEN's wissen, mit einem feinen Überzuge von Diatomeen bedeckt. Vielleicht könnte *Azotobacter* an der Oberfläche jener Diatomeen haften. Bemerkenswert erschien mir das Ergebnis von Versuchen Herrn KEUTNER's, wonach aus reinem Ostseewasser Kulturen von *Azotobacter* nicht gewonnen werden konnten. Wohl aber gelang die Kultur bei Impfung mit einer Spur von Plankton, d. h. jenen mikroskopischen, im Wasser schwebenden Algen und Thieren, die durch ein feines GazeNetz an der Oberfläche des Wassers gesammelt und zu einem bräunlichen Schlamm verdichtet werden. Diese Tatsache scheint darauf hinzuweisen, dass *Azotobacter* an der Oberfläche der Planktonalgen haftet. Es war dies eigentlich von vorneherein zu erwarten. Denn *Azotobacter* bedarf zu seiner Ernährung eines Kohlenhydrats (oder einer diesem gleichwertigen organischen Verbindung), und ein solches ist im Meerwasser nicht vorhanden. Darum ist nicht einzusehen, wie *Azotobacter* frei schwimmend im Meerwasser sollte leben können,

1) Vgl. das Juniheft dieser Berichte.

2) Mit dem Worte Stickstoffbakterien bezeichne ich nur solche Bakterien, die freien Stickstoff assimilieren.

weil äusserst unwahrscheinlich ist, dass es selbst Kohlensäure assimiliert. Da indes *Azotobacter* vorzüglich auf Agarplatten gedeiht, denen keine Stickstoffverbindung als Nahrungsquelle zugesetzt ist, so liegt es sehr nahe, dass der Schleim, der als Quellungsprodukt der äusseren Membranschichten die Oberfläche der Algen bedeckt, für *Azotobacter* eine vorzügliche Kohlenstoffquelle abgeben muss, und dass die Oberfläche der Algen in erster Linie als seine eigentliche Wohnstätte in Betracht kommen dürfte.

Ich veranlasste daher Herrn KEUTNER, von frisch gesammelter *Laminaria flexicaulis*, *Fucus serratus*, *Hydrolapathum sanguineum* und anderen Algen, vorsichtig mit dem Skalpell etwas Schleim von der Oberfläche abzuschaben und zu untersuchen. Wie ich erwartet hatte, erwies sich die Oberfläche der genannten Algen bedeckt mit *Azotobacter*, das im Schleime nistet. Die Grösse und Eigenart dieses Spaltpilzes schliesst jede Verwechslung aus. Die anscheinend so reine Oberfläche von *Laminaria* war wie eine Kulturplatte von Agar mit *Azotobacter* bedeckt; und was ist im Grunde Agar anders als Zellwandsubstanz von Algen!

Es kann daher keinem Zweifel unterliegen, dass in der schleimigen Hülle unserer Meeresalgen, wie *Laminaria* und *Fucus*, Spaltpilze leben, die den im Meerwasser absorbierten Luftstickstoff zu Eiweiss verarbeiten. Ob diese Bakterien instande sind, von ihrem Erwerb an gebundenem Stickstoff an jene Algen abzugeben, ist die zweite, noch ungelöste Seite des Problems.

Man könnte verschiedene „Arbeits-Hypothesen“ in dieser Frage aufstellen. Eine derselben könnte dahin gehen, dass, wie bei der Symbiose zwischen *Rhizobium* und den Leguminosen, von den Algen eine verdauende Tätigkeit durch Abscheidung eines proteolytischen Ferments innerhalb der „Schleimkutikula“ auf die Bakterien ausgeübt würde. Wahrscheinlicher dünkt mich indes ein anderer Modus der Symbiose, den man sich folgendermassen vorstellen kann. Die Bakterien erhalten von der Alge die stickstofffreien Kohlenstoffverbindungen, deren sie für ihr Gedeihen als Bau- und Arbeitsstoffe bedürfen, und produzieren dafür aus dem freien Stickstoff weit mehr Ammoniumverbindungen, als sie selbst nötig haben, so dass sie reichlich davon an die von ihnen epiphytisch bewohnte Alge abgeben können. Sie würden sich somit als dem Algenkörper anhaftende Stickstoffassimilatoren der Pflanzengemeinschaft, die sie mit der Alge bilden, darstellen.

Die letztere Möglichkeit bezw. Hypothese kann ich nicht erörtern, ohne einen Ausblick zu tun auf die Vorstellungen, die ich anderweitig über den chemischen Weg der Assimilation des Luftstickstoffs durch Bakterien entwickelt habe. Ich wies darauf hin, dass a priori das erste Glied dieser Kette, deren Endglied den

Aufbau des Eiweissmoleküls darstellt, sein müsse: entweder eine Oxydation des Stickstoffs oder eine Reduktion desselben oder keins von beiden, d. h. eine Additionsvorgang. Dass es sich um eine Oxydation handeln könnte, halte ich für ausgeschlossen, weil ein Teil der Stickstoffbakterien die Assimilation anaërob ausübt. Da mir eine Addition unwahrscheinlich dünkt¹⁾, so gelangte ich zum Schluss, dass der Assimilation von N ein Reduktionsvorgang zugrunde liegt, indem H in zunächst nicht genau angebbarer Zahl dem N angelagert wird. Dadurch wird beim Assimilationsvorgang der Stickstoff auch gleich in diejenige Bindung übergeführt, in der er im Eiweissmolekül enthalten ist. Denn im Eiweiss kommt kein an O, sondern nur an H gebundener N vor.

Selbstverständlich braucht die Reduktion des N durch das Protoplasma der Stickstoffbakterien keine direkte zu sein. Es kann auch durch Erregung einer Gärung im Algenschleim Wasserstoff entbunden werden und dieser in statu nascendi den Stickstoff zu Ammoniak reduzieren.

Es könnte danach das erste Assimilationsprodukt des Stickstoffs Ammoniak sein, oder doch, wenn es in solchem Überschuss durch die Bakterienzelle produziert wird, dass nur ein Teil davon zur Bildung von Bakterieneiweiss Verwendung finden kann, hierbei eine Ammoniumverbindung sich abspalten, die von den Zellen der Algen absorbiert wird. —

Nehmen wir an, dass die Assimilation des N auf einer Reduktion beruht, so gliedert sich die Erscheinung damit ein in das allgemeine, weitreichende Reduktionsvermögen des vegetabilischen Protoplasma. Ist doch auch die Denitrifikation nichts anderes als die Betätigung jenes Vermögens. Wenn eine höhere Pflanze Nitrate zum Zweck der Eiweissbildung assimiliert, so ist das ein denitrifizierender, also ein Reduktionsvorgang. Die meisten Bakterien scheinen die Befähigung zum Denitrifizieren zu besitzen. Von 109 untersuchten Bakterien reduzierten 85 Nitrat zu Nitrit, 50 zu Ammoniak; mehr als 20 spalteten freien Stickstoff ab; zu den letzteren gehört auch der an Wunden vorkommende *Barillus pyocyaneus*²⁾. Da ist es nicht zu verwundern, dass, wie BEIJERINCK³⁾ gefunden hat, auch *Azotobacter Chroococcum* zu denitrifizieren vermag. Dasselbe reduziert nach BEIJERINCK Nitrate zu Nitriten und diese weiter bis zu Ammon, doch

1) Von befreundeter Seite wurde ich darauf aufmerksam gemacht, dass die von SCHÖNBEIN entdeckte Bildung des Ammonnitrit aus Stickstoff und Wasser vielleicht als eine Addition gedeutet werden könne. Käme dieser Vorgang in Betracht, so könnte man die Tätigkeit der Bakterien dabei als eine katalytische, d. h. denselben beschleunigende, vorstellen.

2) Nach A. FISCHER, Vorlesungen II. Aufl., S. 190.

3) Centralblatt für Bakteriologie IX (1902), S. 41.

ohne dass freier N gebildet wird. Die Bildung von NH^3 aus Salpetersäure ist ein weitergehender Reduktionsvorgang, als die Entbindung von freiem N; wäre es daher nicht denkbar, dass *Azotobacter* den von ihm bei seiner denitrifizierenden Tätigkeit gebildeten N alsbald weiter zu NH^3 reduzierte? Das würde auch ein Licht werfen auf seine eventuelle symbiotische Tätigkeit in der Versorgung von Algen mit gebundenem Stickstoff, wobei der elementare Stickstoff als Quelle dient. —

Als Ergebnis vorstehender Zeilen möchte ich feststellen, dass für die Stickstoffernährung der Organismen des Ozeans zwei Magazine in Betracht kommen:

Erstens die Modde des Meeresgrundes. Sie besteht aus dem Detritus toter Tiere und Pflanzen und liefert gebundenen Stickstoff teils als unmittelbares, teils als mittelbares Zersetzungsprodukt von Eiweiss. Diese Stickstoffquelle erhält einen geringfügigen Zuschuss¹⁾ aus den in den Ozean mündenden Strömen.

Zweitens der über dem Ozean schwebende Vorrat von luftförmigem Stickstoff. Dieser wird in Stickstoffverbindungen übergeführt

- a) durch physikalische Vorgänge in der Atmosphäre, die namentlich Salpetersäure erzeugen, welche mit den Niederschlägen dem Meerwasser zugeführt wird;
- b) durch die assimilierende Tätigkeit von Stickstoffbakterien, die den im Meerwasser absorbierten Stickstoff reduzieren und mutmasslich einen Teil der so gewonnenen Stickstoffverbindungen an Algen, namentlich auch an die im Plankton frei schwebenden Arten derselben, abgeben können. Diese letztere Menge von gebundenem Stickstoff ist natürlich im Meerwasser nicht nachweisbar.

Nunmehr wird es ein grosses Interesse haben, an der Oberfläche von Algen der verschiedenen Meere des Erdballs nach Stickstoff assimilierenden Bakterien zu suchen. Ich vermute, dass sich hierbei erhebliche Verschiedenheiten in bezug auf die Stickstoffernährung der Algen ergeben werden. Auch die Oberfläche von Algen süsser Gewässer könnte auf das Vorkommen von Stickstoffbakterien hin untersucht werden.

1) Von K. BRANDT wird dieser Zuschuss weit höher bewertet, als hier gesehen konnte. Vergl. l. c. und: Über den Stoffwechsel im Meere. 2 Abhandl. in Wissensch. Meeresuntersuchungen, Abt. Kiel, Bd. 6, S. 25 ff.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: [21](#)

Autor(en)/Author(s): Reinke (Reincke) Johannes

Artikel/Article: [Die zur Ernährung der Meeres-Organismen disponible Quellen an Stickstoff. 371-380](#)