

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtlichsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Aus der Biologischen Anstalt Helgoland

Überlegungen zur Rolle der Bakterien im Stoffkreislauf des Meeres

Von Dr. WILFRIED GUNKEL

Zusammenfassung: Zur Anregung einer verstärkten marinen mikrobiologischen Forschung werden einige Daten verschiedener Untersucher betreffend Vorkommen, Verbreitung, Charakteristik und Aktivität von Meeresbakterien angeführt und auf die Bedeutung der Bakterien im Stoffkreislauf des Meeres hingewiesen. Die Methoden zur Bearbeitung ökologischer Probleme werden kritisch betrachtet.

Abstract: Data of different investigators regarding the occurrence, distribution, characteristic and activity of marine bacteria are given to suggest an intensified research in the field of marine microbiology. Attention is directed to the significance of the bacteria in the cycle of substances in the sea. The applied methods to deal with ecological problems are examined critically.

Vor etwa 75 Jahren begann man, sich mit der Bakteriologie des Meeres zu beschäftigen. BERNHARD FISCHER, GAZERT, CERTES sind die Ersten gewesen, die uns durch ihre Untersuchungen Daten über die Verteilung der Bakterien in den Ozeanen vermittelten.

Genau wie auf dem Festland ist die Hauptrolle der Bakterien des Meeres darin zu sehen, daß sie abgestorbene Lebewesen abbauen und dadurch die lebensnotwendigen Minimumstoffe wieder in den Kreislauf zurückkehren lassen. Wenn wir den Kreislauf der Stoffe auf der Erde oder im Meer verstehen wollen, ist es notwendig, daß wir auch seinen abbauenden Teil überblicken können. Leider wissen wir hierüber nur sehr ungenügend Bescheid. So fällt es schwer, eine Grenze zu ziehen zwischen Reaktionen, die durch Bakterien veranlaßt werden, und solchen, die auch ohne sie ablaufen. Hierbei muß einmal besonders an autolytische Prozesse gedacht werden, d. h. Abbau durch die eigenen Enzyme, die nach dem Absterben frei werden und zum anderen an rein abiotische Prozesse, insbesondere Oxydationen.

Über den genannten Abbau, also die Remineralisation, wirken die Bakterien auch auf andere, vielfältige Weise auf ihre Umwelt ein; so z. B. durch Veränderung der Redoxbedingungen, Abgabe von Vitaminen, wie z. B. B₁₂, Krankheitserregung bei Tieren, sie rufen das Verderben von Fischen hervor, wenn diese unsachgemäß oder zu lange gelagert werden, Netze und Tauwerk fallen der Rottung anheim und als erste Besiedler auf Schiffsböden erleichtern sie höheren Lebewesen das Anwachsen.

Die Hauptziele der Meeresbakteriologie dürften, auf den einfachsten Nenner gebracht: Vorkommen, Verbreitung, Charakteristiken und Aktivität der Bakterien im Meere sein (ZOBELL, 1961), wobei immer die Frage nach der Rolle der Bakterien im Stoffkreislauf des Meeres im Vordergrund stehen dürfte.

Die erste Frage war die, ob das Vorkommen von Bakterien auf die Küstenzonen und die flachen Randmeere beschränkt ist, da hier beträchtlich größere Mengen organischer Nährstoffe vorhanden sind, oder ob sie überall im Ozean, auch in tieferem Wasser anzutreffen sind.

Dazu untersuchte FISCHER auf der Plankton-Expedition 1899 157 Wasserproben und stellte in nahezu sämtlichen Proben Bakterien fest. Der höchste Keimgehalt wurde, wie erwartet, in Landnähe gefunden, besonders in Häfen und auf den Reeden (mehrere

tausend/ml), aber sehr schnell nahm die Bakterienzahl gegen das freie Wasser hin ab. In der Regel konnte bereits 3 Meilen vom Land entfernt keine höhere Keimzahl gegenüber dem freien Wasser festgestellt werden, jedoch wurden gelegentlich auch im freien Ozean sehr hohe Zahlen erhalten, die mit dem Verlauf der Grenzen verschiedener Wasserkörper korreliert werden konnten.

Ebenfalls von FISCHER wurde der Keimgehalt der Meeresluft untersucht, der extrem niedrig war und sich damit sehr von der Festlandsluft unterschied. Außerdem isolierte er aus Atlantikwasser erstmalig ein Leuchtbakterium und untersuchte die Abhängigkeit der Leuchtintensität von Salzgehalt, Sauerstoff und Nährstoffen (FISCHER, 1894).

GAZERT erweiterte das von FISCHER geschaffene Bild durch bakteriologische Untersuchungen auf der deutschen Südpolarexpedition 1901—1903 insbesondere dadurch, daß er von der großen Keimarmut in den höheren Breiten berichtete. (GAZERT, 1906).

In den inzwischen vergangenen Jahren sind zwar viele mikrobiologische Untersuchungen im Meer durchgeführt worden, so insbesondere von ZOBELL an der Kalifornischen Küste (z. B. ZOBELL, 1946), von CVIIC in der Adria (CVIIC, 1955) sowie von verschiedenen Untersuchern von Woodshole aus, aber Großaufnahmen über weiteste Entfernungen sind erst wieder in allerletzter Zeit von KRISS und Mitarbeitern unternommen worden.

In den verschiedensten Teilen der Welt wurden aus verschiedenen Tiefen Proben entnommen. Allein in der Grönland-See, der Norwegischen See und im Atlantik wurden 1733 Proben mit Hilfe der Membranfilter-Kulturmethode auf den Gehalt an Bakterien untersucht. Allgemein wurde hier gefunden, daß der Keimgehalt in den tropischen Gebieten am höchsten lag und nach den höheren Breiten hin abnahm. Im Atlantischen Ozean z. B. wiesen zwischen 10°N und 10°S 77 % aller bearbeiteten Proben (KRISS machte jeweils Ansätze mit 40 ml Seewasser) eine Keimzahl über 10 auf, während zwischen 50°N und 60°N ca. 99 % der untersuchten Proben weniger als 10 Bakterien enthielten. Ähnlich liegen die Verhältnisse in den anderen von KRISS untersuchten Gebieten, z. B. dem Indischen Ozean und dem Pazifik. KRISS glaubt, die verschiedenen Zahlen als Indikatoren für die Wasserherkunft verwenden zu können. Aufgrund der vorspringenden Wasserzungen mit niederem bzw. höherem Gehalt an Bakterien in der Tiefe schließt er, daß die Tiefenzirkulation im Indischen Ozean bedeutend komplizierter ist als bisher angenommen wurde. (KRISS und Mitarb., 1961).

Daß unter Umständen biologische Verfahren empfindliche Anzeiger für verschiedene Wasserkörper und Schichtungen sein können, ist darauf begründet, daß wir hier leicht Unterschiede von mehreren Größenordnungen antreffen können. Bei zukünftigen ozeanographischen Untersuchungen könnte eine Zusammenarbeit zwischen Ozeanographen und Mikrobiologen für beide Seiten äußerst fruchtbare Ergebnisse bringen.

Den weitesten Raum in den Untersuchungen der letzten Jahre nehmen bei den marinen Bakterien die Bestimmungen besonderer Charakteristiken ein. Sie gehen in ihrer naturwissenschaftlichen Bedeutung weit über das Fachgebiet der marinen Mikrobiologie hinaus.

Einige Beispiele: ZOBELL berichtete, daß er in allen Proben vom Meeresboden, auch in den größten Tiefen des Philippinen-Grabens bei ca. 11000 m unter der Wasseroberfläche, große Anzahlen vermehrungsfähiger Bakterien fand. Er konstruierte ein Gerät, das es ermöglicht, bei gewaltigem Überdruck, 1000 und mehr atü, zu bebrüten, was dem hydrostatischen Druck in diesen Tiefen entspricht. Es wurde festgestellt, daß viele dieser Tiefseebakterien ausgesprochen barophil, d. h. an den Druck dieser Tiefen angepaßt sind, sich nur unter diesem Druck im Labor vermehren, während kein oder nur geringes Wachstum bei Bebrütung ohne Überdruck erfolgt. Umgedreht zeigen viele

Oberflächenformen von Meeresbakterien abweichenden oder keinen Wuchs, wenn sie bei diesen Verhältnissen kultiviert werden. (ZOBELL, 1959).

Einen bedeutenden Einfluß auf andere Lebewesen haben die Bakterien neben ihren anderen Leistungen auch dadurch, daß sie gewisse organische Wachstumsstoffe synthetisieren und abgeben. Hier ist insbesondere an Vitamin B₁₂ zu denken, welches eine Reihe von pflanzlichen Lebewesen nicht synthetisieren kann und daher dieses Vitamin aufnehmen muß. Diese Verhältnisse wurden erst klar erkannt, nachdem es gelungen war, bakterienfreie Kulturen herzustellen. Hier müssen besonders die Untersuchungen von PROVASOLI erwähnt werden (z. B. PROVASOLI, 1958).

B₁₂ beeinflußt z. B. wesentlich das Ausbrechen der sogenannten „red tide“, die durch *Gymnodium brevis* hervorgerufene Planktonblüte, die vor der Küste von Florida und Kalifornien große Fischsterben hervorruft. Bei manchen Algen sind auch andere „Micro-nutrients“ notwendig, so benötigt z. B. *Ulva* zur Ausbildung von normalen Lappen eine Kombination von Adenin und Kinetin, die in der Natur zur Verfügung steht, in bakterienfreien Kulturen dagegen zugefügt werden muß, um normalen Wuchs zu erhalten. Da bisher erst wenige Organismen bakterienfrei kultiviert worden sind, kann noch nicht übersehen werden, um ein wie weit verbreitetes Phänomen es sich handelt.

Ein besonderes Interesse haben in den letzten Jahren auch die Eigenschaften der mit Erdöl im Zusammenhang stehenden Bakterien gefunden. Man nimmt an, daß das Erdöl unter marinen Bedingungen entstanden ist und daß Bakterien einen entscheidenden Anteil spielten, die vorhandene organische Substanz in Erdöl umzuwandeln (z. B. EMERY, 1960). Ein Vorgang, den wir auch heute noch beobachten können, wo in bestimmten Sedimenten unter anaeroben Bedingungen die organischen Substanzen mit der Tiefe, d. h. also mit dem Alter, immer „erdöhlähnlicher“ werden. Auf der anderen Seite können Bakterien Erdöl abbauen, wobei sich bestimmte Bakterienarten auf olefinische, andere wieder auf paraffinische Kohlenwasserstoffe spezialisiert haben. So unangenehm und unerwünscht ein Abbau von Erdöl in Ölfeldern während der Förderung und der Lagerung sowie in der fertigen Produkten ist, so erwünscht ist der möglichst rasche Abbau von Erdöl bei der Ölverschmutzung der Meere und Gewässer. Es ist bekannt, daß durch Tankschiffe bei der Reinigung der Erdöltanks bis 1 % der beförderten Erdölmenge, d. h. ca. 3 mio. to Öl jährlich über Bord gepumpt werden, und zwar weitestgehend nur auf bestimmten Schiffsstraßen, sofern nicht eine Abgabe an Auffanganlagen in den Häfen erfolgt. Dieses Öl beeinträchtigt die Qualität der Fische in bestimmten Gebieten, insbesondere an der Küste und in Flußmündungen, es verschmutzt die Badestrände und verölt die Gefieder von Seevögeln.

Große wirtschaftliche Verluste entstehen der Erdölindustrie durch die sulfatreduzierenden Bakterien. Öllager kommen oft mit salzreichem Wasser vergesellschaftet vor, bzw. bei der sogenannten „sekundären Ölgewinnung“ wird bei nahezu erschöpften Ölquellen durch Seitenbohrungen hindurch Wasser in die Lagerstätte gedrückt, um auch den Rest des Öles gewinnen zu können. Die Tätigkeit der Bakterien resultiert in einer anaeroben Korrosion und die Bohrröhren werden durch Metallsulfide verstopft. Um diesem Problem zu begegnen, ist in letzter Zeit versucht worden, dem Wachstum der Sulfatreduzenten durch Zufügung von Antibiotica Einhalt zu gebieten.

Ein weiteres erwähnenswertes Charakteristikum der Meeresbakterien ist ihre Adaptation an den Salzgehalt des Seewassers. Im Kulturverfahren müssen die Nährböden mit Seewasser hergestellt werden, um die typischen Meeresbakterien zum Anwachsen zu bringen. Zwar stellte man fest, daß nach einer Reihe von Passagen auf Agarnährböden viele Stämme in der Lage sind, auch auf einem Medium zu wachsen, das mit Süßwasser angesetzt wurde, was wir als eine Adaptation an die Laborbedingungen der Kultivierung auffassen müssen.

Die Bakterien des Toten Meeres benötigen sogar einen Salzgehalt von über 16 % (ELZARI-VOLGANI, 1940), um wachsen zu können, und es gibt Bakterien, die in der Lage sind, sich auf feuchten Salzkristallen zu vermehren.

Die Reihe der Leistungen verschiedener Meeresbakterien ließe sich bedeutend erweitern, es sei jedoch nur noch auf die agrarverdauenden Bakterien hingewiesen, die sich auf Seewasseragarnährboden durch große Vertiefungen zu erkennen geben, sowie auf die Bakterien, die im Verein mit Pilzen große wirtschaftliche Einbußen hervorrufen: Rottung von Tauwerk, Netzen und Holzbooten, die sich besonders in tropischen Gebieten bemerkbar machen, sowie auf die Bakterien, die noch ein gutes Wachstum bei 0° C zeigen, was auch nach Eineisung zu einem Fischverderb führen kann.

Bei der Untersuchung der Kreisläufe hat seit vielen Jahren der Schwefelkreislauf eine ganze Anzahl Bearbeiter in seinen Bann gezogen. Daher sind die einzelnen Schritte und Reaktionen dieses Kreislaufes relativ gut bekannt, über ihre quantitative Bedeutung in der Natur sind wir jedoch noch weitestgehend im Unklaren. Auf einen stark vereinfachten Nenner gebracht, haben wir einen Kreislauf zwischen Sulfat, organisch gebundenem Schwefel, Sulfiden und elementarem Schwefel vorliegen. Von besonderem Interesse dürfte die Frage nach der Herkunft der Sulfide sein. Allgemein wird angenommen, daß die fast ausschließliche Quelle der gebildeten Sulfide die Sulfatreduktion ist und falls anaerober, durch Schwefeleisen schwarz gefärbter Schlamm gefunden wird, wird angenommen, daß dieser der Sulfatreduktion entstammt. Als Begründung werden in der Regel zwei Punkte angeführt:

1. Die große Anzahl sulfatreduzierender Bakterien, die mit Hilfe von Kulturverfahren nachgewiesen werden.

Hierzu muß gesagt werden: niemals kann eine einmalige Bestimmung der Anzahl von Bakterien Aussagen über eine bakterielle Aktivität machen, und zum anderen haben viele der Bearbeiter einen Nährboden mit Pepton verwendet. Pepton enthält jedoch beträchtliche Mengen von Cystin und fast alle heterotrophen Bakterien bilden hieraus, wenn sie unter annähernd anaeroben Bedingungen kultiviert werden, Schwefelwasserstoff, der in den erwähnten Arbeiten irrtümlicherweise als Indikator für die Schwefelreduktion angesehen wurde. Eine einwandfreie Entscheidung, ob wir es tatsächlich mit sulfatreduzierenden Bakterien zu tun haben, ist nur durch die Bestimmung der Abnahme des Sulfats bzw. durch Verwendung eines Nährbodens ohne organisch gebundenem Schwefel möglich.

2. Die Behauptung von DALNICENKO und CIGIRIN, daß über 99 % der im Schwarzen Meer vorhandenen Sulfide aus der Sulfatreduktion stammen, ist in die meisten Lehrbücher, die sich mit diesem Gebiet befassen, übernommen worden. Dabei stützen sich ihre Untersuchungen lediglich auf die Tatsache, daß wir in der Grenzschicht zwischen aeroben und anaeroben Verhältnissen mehr Sulfate haben als in der Tiefe. Dieser Wert wurde als Ausgangswert verwendet und die etwas geringeren Sulfatwerte in der Tiefe mit Verminderung durch Sulfatreduktion erklärt. Dabei ist diese Zunahme zwanglos auch mit einer Oxydation der in der Tiefe gebildeten Sulfide an dieser Grenzschicht zu erklären, insbesondere dadurch, daß wir zur Tiefe hin eine starke Zunahme der Summe Sulfid und Sulfat-Schwefel haben. Erst kürzlich hat sich KRISS wieder dieser Frage zugewandt und kommt zu dem Ergebnis, daß die Ansicht von DALNICENKO und CIGIRIN, daß über 99 % der gebildeten Sulfide aus der Sulfatreduktion stammen, nicht nur ungerechtfertigt ist, sondern den Charakter einer Behauptung trägt, die sich im Widerspruch zu ihren tatsächlichen Ergebnissen befindet. Er meint, daß es bis heute noch völlig ausgeschlossen ist, irgendeine Aussage machen zu können, welcher Anteil bei der Freisetzung von H₂S aus der Eiweißfäulnis und welcher aus der Sulfatreduktion stammt.

Um der Lösung dieser Frage näherzukommen, wurden Modellversuche im Golf von Mexico und in Helgoland durchgeführt (GUNKEL und OPPENHEIMER, 1961). Die obersten Sedimentschichten wurden gesammelt, in Behälter eingebracht, bebrütet und nach verschiedenen Zeiten auf die verschiedenen Schwefelverbindungen analysiert, sowie die beteiligten physiologischen Gruppen der Bakterien bestimmt. Etwa die Hälfte der gebildeten Sulfide kam aus organischen S-Verbindungen. Das Ergebnis ist auf den ersten Blick etwas überraschend, da innerhalb kurzer Zeit eine sehr starke Zunahme an Sulfiden zu verzeichnen war. Es zeigte sich jedoch, daß viele marine Algen eine sehr große Menge Schwefel organisch gebunden vorliegen haben, die bis 4 % der Trockensubstanz betragen kann.

Das gebildete Sulfid kann auf den Stoffhaushalt eines Gewässers großen Einfluß haben, einmal z. B. dadurch, daß die Bodenfauna vergiftet wird, zum anderen kann es jedoch auch aus dem unlöslichen Eisenphosphat unter Bildung von Hydrotroilit Phosphat, das ja sehr häufig Minimumstoff ist, freisetzen und es so wieder dem Wachstum, z. B. von Phytoplankton zur Verfügung stellen. Neben dem Hydrotroilit kann sich Pyrit bilden, der bedeutend stabiler ist. Die Sulfide schließlich können wieder der Oxydation unterliegen, die durch Bakterien, wie z. B. *Thiobacillus* oder *Beggiotoa* bedeutend beschleunigt wird. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: SOKOLOVA (1961) versetzte H_2S enthaltendes Grubenwasser eines Ölfeldes bei Kubitshev (UDSSR), das 15 % anorganische Salze enthielt, mit einer aktiven Kultur von *Thiobacillus thioparus* und belüftete. Es bildeten sich 0,5 g elementarer Schwefel pro 1 Grubenwasser und Tag. Bei gleichen Versuchsbedingungen jedoch ohne Bakterien konnten selbst nach einer Woche noch nicht einmal Spuren von elementarem Schwefel nachgewiesen werden. Die Oxydation von Sulfiden kann bis zum Sulfat weitergehen.

Diese Tatsache könnte durch eine große Anzahl weiterer Beispiele erweitert werden, die uns zeigen, daß bestimmte Reaktionen, obwohl sie auch ohne Bakterien ablaufen können, doch erst durch diese so beschleunigt werden, daß sie Bedeutung erlangen. Die Beantwortung der Frage, welche Mengen einer Substanz von Bakterien umgesetzt worden sind und welche rein chemisch abiotisch abgelaufen sind, wird dadurch so kompliziert, weil wir von der Anwesenheit von Bakterien selbst in größeren Zahlen noch nicht auf eine Aktivität schließen können und zum anderen, daß wir wohl niemals im Laborexperiment völlig natürliche Bedingungen herzustellen in der Lage sind.

Man nimmt heute z. B. aufgrund von Isotopenuntersuchungen an, daß die riesigen Schwefellager in Texas und Louisiana unter Mithilfe von Bakterien entstanden sind. Das Sulfat schließlich kann wieder von Pflanzen in das Eiweiß eingebaut werden.

Wir haben erst sehr wenige quantitative Daten vorliegen. In letzter Zeit sind insbesondere von IVANOV (1959) Untersuchungen mit Schwefelisotopen durchgeführt worden. Gelöst sind die quantitativen bakteriellen Umsetzungen jedoch bei weitem noch nicht.

Ein ganz großes Problem bedeutet in der ökologisch arbeitenden Bakteriologie die Feststellung der Anzahl Bakterien. Meistens werden sogenannte indirekte Methoden angewendet, d. h. daß eine evtl. vorher verdünnte Probenflüssigkeit in Nähragar eingegossen bzw. auf ihm ausgespatelt wird, oder man wendet die sogenannte Membranfiltermethode an, d. h. Filtration durch eine bakteriedichte Membran, die auf einen Nährboden gelegt wird. Die sich entwickelnden Kolonien werden gezählt und als Maß der Anzahl der Bakterien genommen. Leider wachsen nur ein Teil der Bakterien auf einem bestimmten Nährboden aus, da man niemals allen Bakterien optimale Bedingungen geben kann, und außerdem keimen auch Ruhezellen und Sporen aus, d. h. also, daß wir nur sehr schwer nur von der Anzahl Bakterienkolonien auf eine Aktivität im natürlichen Milieu schließen können.

Bei den direkten Zählverfahren werden die Bakterien in unbebrüteten Proben, evtl. nach Anreicherung, direkt unter dem Mikroskop gezählt (JANNASCH und JONES 1959). Der große Nachteil besteht darin, daß eine Unterscheidung zwischen Bakterien und anorganischem bzw. organischem unbelebten Material häufig völlig ausgeschlossen ist, da die meisten marinen Bakterien nur unter $1\ \mu$ groß sind. Selbst wenn man einen sehr kritischen Maßstab anlegt, was man als Bakterium ansieht und was nicht, wird man keine völlig befriedigenden Aussagen machen können, zumal auch auf diese Weise ein sehr subjektiver Faktor hinzukommt. Außerdem ist es, um reproduzierbare Werte auch nur aus einer Probe zu erhalten, nötig, eine größere Anzahl Gesichtsfelder auszuzählen, eine sehr ermüdende Prozedur, wenn man diese Methode bei einer sehr großen Anzahl Proben einsetzen will. Vielleicht ist es jedoch möglich, und dies wäre sehr nützlich, bei späteren Untersuchungen wenigstens gelegentlich die verschiedenen Methoden gleichzeitig anzuwenden, um einen Überblick über die Zahlenverhältnisse zu bekommen. Man sollte nie einer Methode ausschließlich den Vorrang geben.

Weitere Schwierigkeiten treten bei Laborexperimenten durch die Oberflächen der Versuchsgefäße auf. Im Meer ist die organische Substanz äußerst stark verdünnt und liegt größtenteils in gelöster Form vor. Beim Einbringen von Seewasser in Versuchsgefäßen reichert sich die vorhandene organische Substanz an den Gefäßwandungen an und führt in kürzester Zeit zu einer gewaltigen Zunahme von Bakterien wie wir sie im freien Wasser niemals haben. Wir stellen u. U. Generationszeiten von nur 30 min fest. Eine einfache Rechnung zeigt, daß eine einzige Zelle von angenommen $1\ \mu^3$ bei 80 Teilungen in 40 Stunden dann schon die Menge von Bakterien produzieren würde, die einem Volumen von $1\ \text{km}^3$ gleichkommt. Dies zeigt uns, was für einen beschränkten Aussagewert manche Laborexperimente für die Ökologie haben können.

Die Bestimmung der Generationszeit unter natürlichen Bedingungen dürfte eines der wichtigsten Probleme der marinen Bakteriologie sein, denn nur, nachdem dies bekannt ist, werden wir in der Lage sein, z. B. Rückschlüsse zu ziehen, welchen Wert Bakterien als Nahrung für Meerestiere in der Tiefsee haben, eine Frage, die bisher noch sehr stark umstritten ist. Wir finden im Tiefseeschlamm ca. 10^6 Bakterien/cm³, dies entspricht 2 mg pro m² und dem obersten cm. Würden sich die Bakterien alle 20 Stunden teilen, was sie im Kultorexperiment bei gleichem Druck und gleicher Temperatur wie in der Tiefsee tun, und würden sie gleichmäßig verzehrt werden, würde dies 0,87 g/Jahr und m² bedeuten. Eine relativ hohe Menge; um dies aber wirklich bestätigen zu können brauchen wir noch weitere Daten. Außerdem müssen wir unter Versuchsbedingungen damit rechnen, daß eine Selektion der Keime auftritt, wie man es bei Aufbewahrung von Seewasserproben schon nach kurzer Zeit feststellen kann. Die Gesamtanzahl nimmt gewaltig zu, die Anzahl verschiedener Arten jedoch ab. Auch spielt das Absterben von Zooplankton eine Rolle, nicht nur, daß jetzt deren Zehrung wegfällt, die toten Körper bieten einen idealen Nährboden für Bakterien. Vielleicht ergibt sich für die Zukunft die Möglichkeit, auch bakteriologische Vorgänge mit Hilfe eines großen Plastikbeutels zu verfolgen in der Art, wie ihn STRICKLAND und TERHUNE (1961) in Canada für Messungen der Primärproduktion in Küstengewässern einsetzen. Es handelt sich hier um einen Behälter von 6 m Durchmesser und 32000 US gall. Inhalt, der im Wasser belassen wird. Hier ist das Verhältnis Volumen zu Oberfläche ein bedeutend günstigeres, Belichtung und Temperatur entsprechen weitgehend den natürlichen Bedingungen. Ein großer Vorteil in der Bearbeitung ökologischer Probleme dürfte auch die kontinuierliche Kultur von Bakterien sein, die es gestattet, Mikroorganismen über längere Zeiten in einer einzigen Wachstumsphase zu kultivieren.

Die Liste der Schwierigkeiten könnte noch sehr verlängert werden, so z. B. um das große Problem der Bakteriensystematik. Heute ist es uns noch nicht möglich, mit Sicher-

heit alle Bakterien im Meerwasser nach den für eine Bestimmung oft unzureichenden vorliegenden Daten der einzelnen Arten zu bestimmen, d. h. wir können Populationsänderungen nur sehr ungenau erfassen. Insbesondere kann diese systematische Bearbeitung von einem Mikrobiologen unmöglich nebenher durchgeführt werden.

Daß das Meer in Bezug auf Mikroorganismen immer noch äußerst ungenügend bekannt ist, zeigt die kürzliche Entdeckung der sogenannten *Krassilnikoviae* (KRISSE u. MITZKEVICH, 1959). Auf Objektträgern, die in verschiedenen Ozeanen in das Wasser gehängt worden waren, zeigte sich reicher Bewuchs mit Organismen, die durch ihre eigenartige Form in keine der bisher bekannten Klassen der Mikroorganismen eingeordnet werden konnten, und für die deswegen eine neue Klasse aufgestellt wurde.

Zum Abschluß sei auf ein Wort von THIENEMANN hingewiesen, das, obwohl es bereits 1928 gesagt wurde, dem Inhalt nach heute wie damals seine Berechtigung hat und das auch ZOBELL (1946) an den Schluß seines Buches über die Mikrobiologie des Meeres stellt.

„Dabei ist aber allgemein anerkannt, daß im Gesamtstoffkreislauf einer jeden Lebensstätte die Bakterien ein überaus wichtiges, ja vielleicht — wenn man in solchem Falle überhaupt ein Werturteil fällen darf — das wichtigste Glied darstellen. Wir mögen die Methoden der Wasserchemie noch so fein ausbauen: auch die intensivste Erforschung der rein chemischen Vorgänge wird uns die Rätsel des stofflichen Umsatzes nicht lösen, so lange wir die Bakterienwirkung notgedrungen vernachlässigen müssen.“

Wir wollen hoffen, daß in Zukunft auch in Deutschland, wo vor 75 Jahren die marine Mikrobiologie ihren Ausgang nahm, mehr auf diesem Fachgebiet getan wird, zum Erweitern unserer Kenntnis und zum Nutzen aller am Ozean interessierten wissenschaftlichen Disziplinen.

Diskussion

H. W. JANNASCH (Göttingen):

Aus Herrn GUNKEL's Darstellung ist deutlich geworden, daß die marine Mikrobiologie bei der Frage nach einer Gesamtkeimzahl oder Aktivitätsbestimmung der Mikroorganismen-Population einer Meerwasserprobe überfordert wird. Unter dem Begriff „Mikroorganismen“ wird eine Vielzahl von Organismen und Stoffwechselltypen zusammengefaßt, die die verschiedensten Nährstoffansprüche haben und an gegenläufigen Stoffwechselprozessen beteiligt sein können. Unser zitierter Versuch (JANNASCH u. JONES 1959), bei dem mit 6 verschiedenen Methoden Bakterienzahlen bestimmt und verglichen worden sind, läßt erkennen, daß jede Methode eine besondere Gruppe erfaßt. Da Meerwasser in bezug auf diese Gruppen natürlich keine konstante Zusammensetzung hat, ist die Verwendung einer Nachweismethode in ihrer Bedeutung sehr begrenzt. Weiterhin geht aus der Untersuchung der Wachstumskonstanten mariner Mikroorganismen hervor, daß bei beschleunigten Wachstumsraten (z. B. auf Agarplatten) die Selektion zugunsten derjenigen Organismen erfolgt, die die geringe Nährstoffkonzentration des natürlichen Standortes nicht auszunutzen vermögen, also als eingeschleppte Formen angesehen werden müssen. Schließlich kann, wie Herr GUNKEL schon ausführte, die Zahl der Mikroorganismen niemals ein Maß ihrer Aktivität sein. Daraus wird die weitverbreitete skeptische Aufnahme der KRISSE'schen Großuntersuchungen verständlich. Ein endgültiges Urteil werden die Ozeanographen sprechen, denen die Bestimmung der Keimzahl auf Membranfiltern zur exakten Messung von Wasserbewegungen, Stratifikationen etc. empfohlen wird.

Wenn es auch noch keine einwandfreie Methode für die Gesamtkeimzahlbestimmung im Meerwasser gibt, so kann doch das Ergebnis jeder teilweisen Erfassung der Population sinnvolle Aussagen liefern, nämlich dann, wenn die Methode reproduzierbar beschrieben und ihr selektiver Charakter bei der Interpretation der Zählergebnisse berücksichtigt wird.

J. OVERBECK (Plön):

Vielleicht ist an dieser Stelle die Gelegenheit gegeben, einige Bemerkungen zur Methodik der quantitativen bakteriologischen Untersuchungsverfahren anzuknüpfen.

Die Ursachen für unsere immer noch geringen Kenntnisse der Zahl und Tätigkeit der Bakterien im Süß- und Meerwasser sind vor allem methodischer Natur, denn es gibt keine allgemeine Methode für die restlose Erfassung der Bakterien eines Gewässers. Wahrscheinlich kann es eine solche Methode aus der Natur der Sache heraus auch gar nicht geben. Die bisher gewöhnlich angewandten Plattenverfahren (eine bestimmte Menge steril entnommenen Wassers wird mit Nährboden vermengt, bebrütet und danach zählt man die Zahl der Kolonien) geben erfahrungsgemäß stets zu geringe Zahlen, da längst nicht alle Bakterien auf den Nährboden wachsen und ein Universalnährboden für alle Bakterien nicht existiert. Am besten hat sich noch die Membranfiltermethode bewährt, wie auch bei einer Besprechung von limnobakteriologischen Fragen im Limnologischen Institut Falkau am 22. September 1961 einmütig festgestellt wurde. Bei dieser Methode werden die Bakterien nach Filtration auf dem Membranfilter gefärbt und nach Aufhellung des Filters direkt gezählt. Hiermit wird die im Augenblick der Untersuchung vorhandene Bakterienzahl recht vollständig erfaßt. Jedoch hat auch diese Methode starke Mängel: Es ist häufig schwierig, auf dem Filter Bakterien und Detritus sicher zu unterscheiden; lebende und tote Bakterien werden nicht getrennt; bei starkem Detritusgehalt des Wassers ist das Verfahren nicht anwendbar. Selbstverständlich erhält man auch keine Aussagen über die wirkliche Aktivität der Bakterien, hierzu sind biochemische Verfahren erforderlich. Jedoch ist die Membranfiltermethode trotz mancher Mängel zu einem Standardverfahren der limnobakteriologischen Untersuchungen geworden. Häufig sind durch zweckentsprechende Kombinationen mit Plattenverfahren noch weitgehendere Aufschlüsse zu erhalten.

Literaturverzeichnis

- CVIIC, V. 1955: Distribution of bacteria in the waters of the mid Adriatic Sea. *Izvesca-Rep.* **IV**, 1—44. — ELZARI-VOLCANI, B., 1940: Studies on the microflora of the Dead Sea. Jerusalem (Dissertation). — EMERY, K. O., 1960: The sea off Southern California. A modern habitat of petroleum. J. Wiley & Sons, New York, London. — FISCHER, B., 1894: Die Bakterien des Meeres. Kiel und Leipzig (Ergebnisse der in dem Atlantischen Ozean 1889 ausgeführten Plankton-Expedition der Humboldt-Stiftung). — GUNKEL, W. and C. H. OPPENHEIMER, 1961: Experiments regarding the sulfide formation in sediments of the Texas Gulf Coast. *Bact. Proc.* 1961, 49. — IVANOW, M. V. and L. S. TEREKHOVA, 1959: Study of microbiological processes of hydrogen sulfide formation in Lake Solenoe. *Microbiology. A translation of Mikrobiologiya*, publ. by The American Inst. of Biol. Sciences, Washington, **28**, 235—240. — JANNASCH, H. W. and G. E. JONES, 1959: Bacterial populations in sea water as determined by different methods of enumeration. *Limnol. and Oceanogr.* **4**, 128—139. — JONES, G. E. and R. L. STARKEY, 1957: Fractionation of stable isotopes of sulfur by microorganisms and their role in deposition of native sulfur. *Appl. Microbiol.*, **5**, 111—118. — KRIS, A. E. and I. N. MITZKEVICH, 1959: *Krassnikoviae* A new class of micro-organisms found in sea and ocean depths. *J. Gen. Microbiol.* **20**, 1—12. — KRIS, A. E., 1959: Marine Microbiology. Moskau. — KRIS, A. E., M. V. LEBEDEVVA and I. N. MITZKEVICH, 1960: Microorganisms as indicators of hydrological phenomena in sea and oceans. Investigation of the deep circulation in the Indian Ocean using microbiolo-

gical methods. Deep-Sea Res. **6**, 173—183. — KRISS, A. E., I. N. MITZKEVICH, I. E. MISHUSTINA a. S. S. AByzov, 1961: The hydrological structure of the Atlantic Ocean and the Norwegian and Greenland Seas according to microbiological data. Microbiology. A translation of Mikrobiologiya, publ. by The American Inst. of Biol. Sci., Washington, **29**, 630—637. — PROVASOLI, L. 1958: Effect of plant hormones on *Uva*. Biol. Bull., **114**, 375—384. — PROVASOLI, L., 1958: Nutrition and ecology of protozoa and algae. Annual Rev. of Microbiol., **12**, 279—308. — SOKOLOVA, G. A., 1961: Microbiological production of sulfur from sulfide sea water. Microbiology. A translation of Mikrobiologiya, publ. by The American Inst. of Biol. Sci., Washington, **29**, 638—641. — STRICKLAND, J. and L. TERHUNE, 1961: The study of in-situ marine photosynthesis using a large plastic bag. Limnol. Oceanogr., **6**, 93—96. — ZOBELL, C. E., 1946: Marine Microbiology. Waltham, Mass., USA. — ZOBELL, C. E., 1950: Die Bedeutung der Bakterien für die Erdölbildung. Umschau in Wiss. u. Techn., **50**, 688. — ZOBELL, C. E., 1954: The occurrence of bacteria in the deep sea and their significance for animal life. Internat. Union Biol. Sci., Series B, **16**, 20—26. — ZOBELL, C. E. and R. Y. MORITA, 1959: Deep-sea bacteria. Galathea Rep., **1**, 139—154. — ZOBELL, C. E., 1961: The sea around us microbiologists. Bact. Proc. 1961, 11.