

**Berichte aus dem Institut für Meereskunde
an der Christian - Albrechts - Universität Kiel
Nr. 188**

**Forschungen
der Abteilung Marine Mikrobiologie
des Instituts für Meereskunde
an der Universität Kiel
1964 - 1989**

IFM - BER - 188

**Herausgegeben von der
Abteilung Marine Mikrobiologie
Institut für Meereskunde
Düsternbrooker Weg 20
2300 Kiel**

**April 1989
ISSN 0341 - 8561**

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort	2
1. Quantität und Qualität der Mikroorganismen	4
1.1. RHEINHEIMER, G.: Verteilung und Zusammensetzung von Bakterienpopulationen im marinen Bereich	4
1.2. SCHNEIDER, J.: Vorkommen und Funktion von Pilzen in der Ostsee	16
2. Mikrobielle Stoffumsetzungen im Meer	28
2.1. HOPPE, H.-G.: Heterotrophe Stoffumsetzungen von Bakterien im Meer	29
2.2. GOCKE, K.: Bakterielle Stoffaufnahme im aeroben und anaeroben Milieu der Ostsee	40
2.3. MEYER-REIL, L.-A.: Mikrobielle Aktivitäten in Sedimenten der Kieler Bucht	48
2.4. LOCHTE, K.: Bakterielle Aktivität in der Tiefsee	64
2.5. BRETTAR, I. und P. KÄHLER: Denitrifikation in der Ostsee	77
3. Bakterien im Nahrungsnetz	89
3.1. GALVAO, H., V. GAST und H. SICH: Bakterien als Nahrung von Flagellaten und Ciliaten im Pelagial und Benthos der Ostsee	90
3.2. SCHMALJOHANN, R.: Endosymbiose zwischen methyloxydierenden bzw. schwefeloxidierenden Bakterien und wirbellosen Tieren im Skagerrak	101
4. Mikrobiologische Arbeiten zum praktischen Meeresschutz	109
4.1. KIRSTEIN, K.O.: Mikrobiologisches Monitoring in der Ostsee	110
4.2. GERICKE, H. und J. WESNIGK: Mikrobieller Abbau von organischen Schadstoffen	119
4.3. SCHULZ, C.-J.: Prüfung von Leuchtbakterien mit geringen Salzansprüchen auf ihre Eignung für den Leuchtbakterientest	130
5. RHEINHEIMER, G. Zukunftsperspektiven der meeresmikrobiologischen Forschung im Institut für Meereskunde	138
Anhang	
Veröffentlichungen aus der Abt. Marine Mikrobiologie	142
Diplomarbeiten, Dissertationen, Habilarbeiten	164
Internationale Projekte der Abt. Marine Mikrobiologie	168

Vorwort

Im April 1964 begann die Abteilung Marine Mikrobiologie mit ihrer Arbeit. In diesen 25 Jahren konnte sie sich von dem kleinen Labor im Dachgeschoß einer alten Villa am Klaus-Groth-Platz mit einem Wissenschaftler und einer technischen Assistentin zu einer Abteilung entwickeln, in der nun mit den Diplomanden und Doktoranden mehr als 25 Leute tätig sind. Ein solches Jubiläum gibt Anlaß zu einem Rückblick auf das, was geleistet wurde - aber auch zu Gedanken über das, was noch zu tun ist.

Die Angehörigen der Abteilung wollen mit diesem Bericht einen Überblick über ihre Arbeiten geben. Dabei soll es aber nicht so sehr um die Vergangenheit sondern mehr um die Gegenwart und Zukunft gehen. Es werden also bevorzugt die Ergebnisse der noch laufenden oder erst kürzlich abgeschlossenen Projekte sowie die Pläne für künftige Vorhaben behandelt. In diesem Zusammenhang wird auch auf neue Entwicklungen und methodische Möglichkeiten hingewiesen und ihre Bedeutung für unsere weitere Arbeit diskutiert.

Die Forschungstätigkeit der Abteilung hat langfristig das Ziel, einen möglichst umfassenden Beitrag zur Aufklärung der folgenden für die Meereskunde wichtigen Problemkreise zu leisten:

1. Quantität und Qualität der Mikroorganismen
2. Mikrobiologische Stoffumsetzungen
3. Bakterien im Nahrungsnetz
4. Mikrobiologische Arbeiten zum praktischen Meeresschutz

Diese Arbeiten laufen zum Teil bereits seit vielen Jahren. Sie stellen aber nicht einfach die Fortführung einmal begonnener Projekte dar, sondern es erfolgt immer wieder eine Aktualisierung unter Berücksichtigung der jeweiligen Entwicklung der Wissenschaft und der Gerätetechnik. Eine Reihe von Vorhaben konnte inzwischen erfolgreich abgeschlossen werden. Das gilt z.B. für die Arbeiten über die Wechselbeziehungen von Phytoplankton und Bakterien in der Ostsee, bei der es um die Aufnahme der durch Exsudation und Lyse freigesetzten organischen Stoffe ging und die einige sehr interessante Ergebnisse brachten. Auch die Untersu-

chungen zur Überlebensfähigkeit von Abwasserbakterien in Brack- und Meerwasser, in die auch die Rolle von Bakteriophagen einbezogen war, wurden vor mehreren Jahren beendet. Dafür konnten neue Projekte innerhalb der vier o.g. Teilgebiete aufgenommen werden. Das betrifft u.a. die Untersuchungen über die Symbiose zwischen Bakterien und Meerestieren, die extrazellulären Enzymaktivitäten, den Leuchtbakterientest sowie den Abbau von Schadstoffen in geringen Konzentrationen. Stets waren damit eingehende methodische Arbeiten verbunden, die die Durchführung der Projekte erst möglich machten. Die erarbeiteten Methoden wurden dann oft von anderen Arbeitsgruppen im In- und Ausland übernommen. Da der größere Teil der Forschungsvorhaben durch Drittmittel von DFG, BMFT, UBA u.a. gefördert wurde und wird, mußte sich das auf die Programmgestaltung der Abteilung auswirken. Es kamen auf diese Weise Anregungen und Mittel zu neuen Projekten - andere konnten hingegen aus Raum- und Personalmangel nicht durchgeführt werden. Dennoch wurde versucht, jeweils eine Verbindung zu den bereits laufenden Vorhaben herzustellen und so eine möglichst große Effektivität zu erreichen.

Das Verzeichnis der aus der Abteilung hervorgegangenen Veröffentlichungen und Examensarbeiten ermöglicht einen Überblick über die Forschungstätigkeit der Mikrobiologen am Institut für Meereskunde in den vergangenen 25 Jahren, die hauptsächlich den Bakterien und Pilzen des Meeres sowie ihren vielfältigen Funktionen in den marinen Ökosystemen gewidmet war und ist.

Allen Kollegen und Institutionen, die unsere Arbeit ideell und materiell unterstützt haben, gilt unser Dank und ebenso den früheren und gegenwärtigen Mitarbeitern, von denen einige bereits viele Jahre der Abteilung angehören. In der nachstehenden Tabelle sind die Mitglieder der Abteilung aufgeführt sowie die Projektgruppen, in denen sie tätig sind. Die Autoren danken Frau B. Schönknecht für die Bearbeitung des Textes.

G. Rheinheimer

Die zitierte Literatur von Abteilungsangehörigen findet sich im Anhang.

Abteilung Marine Mikrobiologie

Abteilungsleiter: Prof. Rheinheimer

Sekretariat: Frau Schönknecht (1*)

Gerätetechnik: Herr Sell (1)

Arbeitsgruppen

Quantität und Qualität der Mikroorganismen	Symbiosen Bakterien u. Protozoen im Nahrungsnetz	Stoffumsatz durch Mikroorganismen	Abbau org. Schadstoffe Monitoring	Mykologie
<p>Prof. Rheinheimer (1) Dr. Gocke (1) Frau Kreibich (1) Frau Petersen (1) Frau Dipl.Biol. Kosfeld (3)</p> <p>Frau Dr. Lochte (2) Frau Dreyer (2)</p> <p>Bakterienverteilung (Gesamtzahl, Biomasse, Saprophyten Spezialisten) in Abhängigkeit von hydrographisch-chemischen, biologischen u. anthropogenen Faktoren. Taxonomie von Meeres- u. Brackwasserbakterien. Mikrobiologie der Flüsse. Tiefseemikrobiologie (EMFT).</p>	<p>Dr. Schmaljohann (2)</p> <p>Dipl.Biol. Sich (3) Frau Galvao (3)</p> <p>Rolle von Symbiosen zwischen methylo-trophen sowie schwefeloxydierenden Bakterien u. marinen Invertebraten (DFG).</p> <p>Bakterien als Nahrung von Flagellaten u. Ciliaten in Wasser und Sediment im Jahresgang.</p>	<p>Prof. Hoppe (1) Frau Mehrens (2) Frau Dipl.Biol. Giesen-hagen (2*, 3) Dr. Gocke</p> <p>Dr. Meyer-Reil Frau Meinke (2) Frau Dipl.Biol. Köster (2*, 3)</p> <p>Frau Dipl.Biol. Brettar (3)</p> <p>Inkorporation niedermolekularer Stoffe. Bakterieller Abbau hochmolekul. Stoffe u. Spaltprodukte. Bedeutung von extrazellulären Enzymen (DFG).</p> <p>Mikrobiologische Umsetzungen in Sedimenten (SFB).</p> <p>Mineralisation. Denitrifikation.</p>	<p>Frau Dipl.Biol. Gericke (2*, 3) Frau Dipl.Biol. Wesnigk (2*, 3) Frau Boß (2)</p> <p>Dr. Kirstein (2) Frau Koppe (2)</p> <p>Dr. Schulz (2)</p> <p>Mikrobieller Abbau verschiedener Verbindungen in umweltrelevanten Konzentrationen (UBA).</p> <p>Untersuchungsfahrten in der westlichen Ostsee zur Erfassung mikrobiologischer Parameter. Isolierung von Indikatororganismen u. Prüfung ihrer Eignung für Monitoring (EMFT).</p> <p>Leuchtbakterientest (UBA).</p>	<p>Dr. Schneider (1)</p> <p>Niedere Pilze der Ostsee. Holzerstörung durch Pilze im Meer.</p>

(1) Planstellen (2) Projektstellen (3) Doktoranden * Halbtagsangestellte * Stipendiat

Stand Ende 1988

1. Quantität und Qualität der Mikroorganismen

Kenntnisse über die Verteilung von Mikroorganismen in Wasser und Sediment sowie die Zusammensetzung der Mikroflora sind wichtige Voraussetzungen für die Erforschung mikrobiologisch-ökologischer Prozesse in den Gewässern (s.z.B. ZoBell 1946). Entsprechende Untersuchungen begannen in der Abt. Marine Mikrobiologie bereits 1964 und werden bis heute fortgeführt. Dabei wurden immer wieder die neuen methodischen Entwicklungen berücksichtigt, die eine Erweiterung unseres Wissens ermöglichten.

1.1. Verteilung und Zusammensetzung von Bakterienpopulationen im marinen Bereich

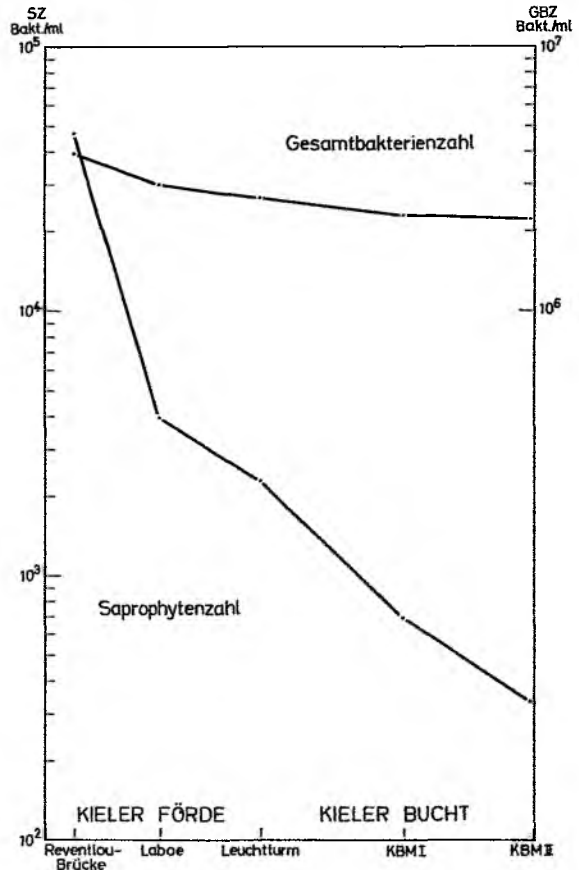
Gerhard Rheinheimer

Die Arbeiten erfolgten zunächst vorwiegend in der westlichen Ostsee sowie im Elbe-Aestuar und konnten später auf andere Meeresgebiete (übrige Ostsee, Nordsee, Indik, Atlantik, tropische Lagunen) ausgedehnt werden.

Saprophytische und spezialisierte Bakterien

Anfangs wurden vor allem Jahresgänge der Saprophytenzahlen bestimmt. Dabei handelt es sich um eine Gruppe von Bakterien, die Kolonien auf Pepton-Hefeextrakt-Agar bilden. Sie vermögen leicht angreifbare Nährstoffe wie Eiweiß und einfache Kohlenhydrate sehr rasch aufzunehmen und sich entsprechend zu vermehren. Deshalb stellen sie einen wichtigen Indikator für Belastungen z.B. durch kommunale Abwässer dar (s. Abb. 1). In der Kieler Bucht zeigen die Jahreskurven der Saprophytenzahlen einen ähnlichen Verlauf wie der Chlorophyllgehalt mit Spitzen im zeitigen Frühling und im Herbst (Rheinheimer 1977, 1985). Jedoch treten die Saprophytenma-

Abb. 1: Gesamtbakterien- und Saprophytenzahlen auf einem Schnitt von der Kieler Förde in die weniger belastete Kieler Bucht am 11. 7. 74. Die Gesamtbakterienzahl geht auf ca. 50 %, die Saprophytenzahl dagegen auf 2 % zurück



xima stets mit einem Zeitverzug von 1 - 3 Wochen auf. In dieser Zeitspanne können die Bakterien die durch Exsudation und Lyse von den Phytoplanktonzellen freigesetzten organischen Stoffe aufnehmen und in bakterielle Biomasse umwandeln. Die Jahresgänge einiger spezialisierter Bakterien wie z.B. der Zellulosezerersetzer zeigen einen anderen Jahresgang mit einer kräftigen Spitze im Spätherbst, da zu dieser Jahreszeit reichlich Zellulose durch das Absterben von Algen und die Zufuhr von Pflanzenmaterial vom Lande zur Verfügung steht (Lehnberg 1972). Die Gesamtzahl der harnstoffabbauenden Bakterien hat dagegen ihr Maximum im Winter und ihr Minimum im Sommer. Das ist auf den Einfluß der Abwasserbelastung zurückzuführen. Denn es handelt sich zu einem großen Teil um nicht marine Formen, deren Lebensdauer im Ostseewasser in der kalten Jahreszeit größer ist als im Sommer. Mit steigender Wassertemperatur nimmt jedoch ihre Aktivität zu. Dabei kommt es innerhalb der Population zu einer gewissen Verschiebung zugunsten des Anteils der halophilen Bakterien (Steinmann 1976). Die Anzahl der Hefepilze hat ihr Maximum ebenfalls im Winter (Hoppe

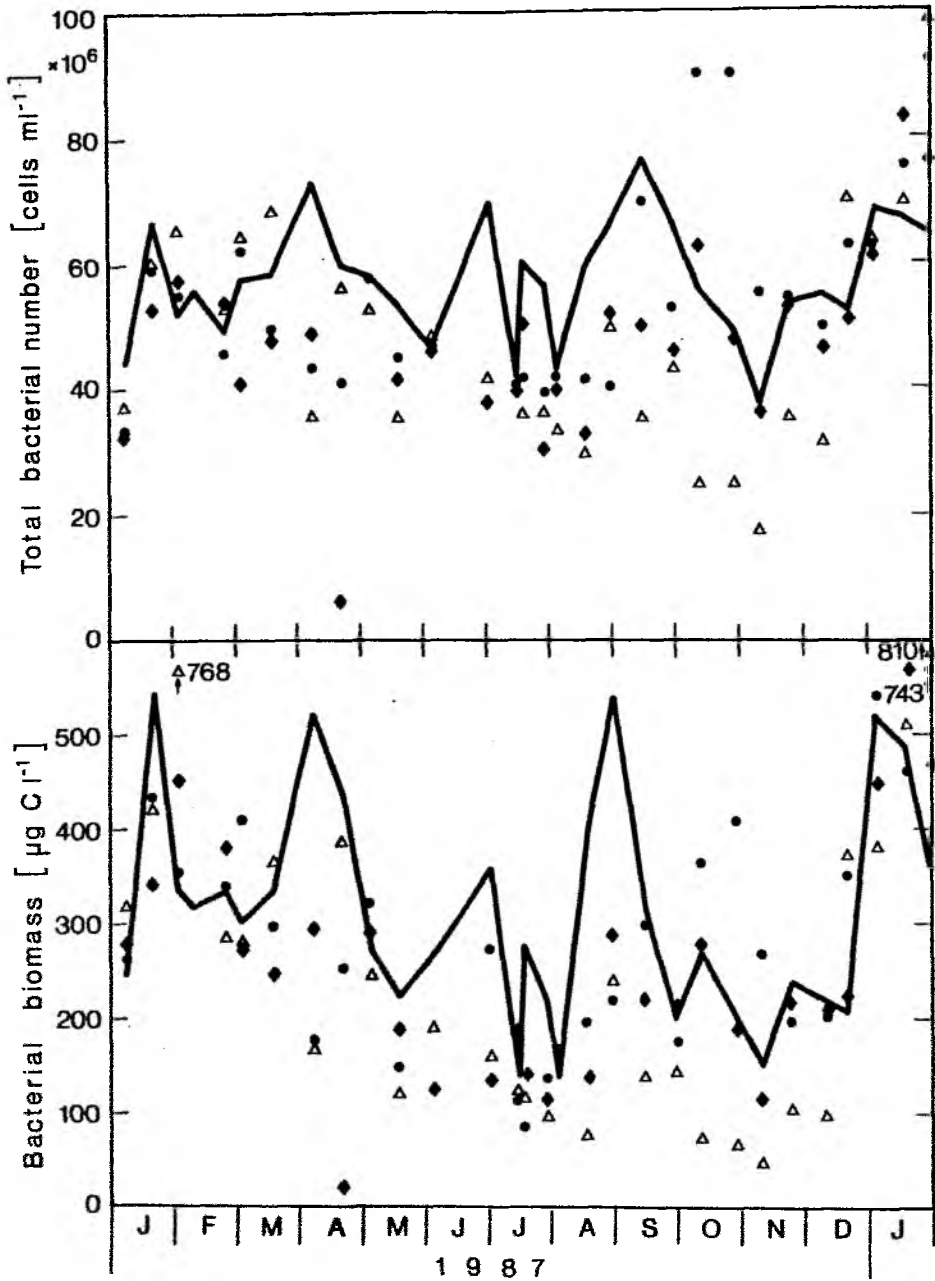


Abb. 2: Jahreszeitlicher Verlauf der Gesamtbakterienzahl (oben) und der bakteriellen Biomasse (unten). Station 1 (Norden) = Rhomben; Station 2 (Westen) = Kreise; Station 4 (Osten) = Dreiecke. Die durchgezogene Linie repräsentiert die Station 3 (Zentrum der Ciénaga); nach Gocke.

1972). Das gilt auch für die Saprophytenzahlen in stärker belasteten Gewässern wie dem Elbe-Aestuar (Rheinheimer 1977).

Gesamtbakterienzahl und bakterielle Biomasse

Seit 1972 werden nach entsprechenden methodischen Vorarbeiten (Zimmermann und Meyer-Reil 1974, Zimmermann 1977) mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie auch die Gesamtbakterienzahlen und die bakterielle Biomasse bestimmt. Die ersteren bewegen sich in der westlichen Ostsee zwischen 0,5 und 5 Millionen und im offenen Atlantik zwischen mehreren tausend und einigen Millionen in 1 ml Wasser. Die Jahresgänge in der Kieler Bucht zeigen nicht so eindeutige Spitzen wie die der Saprophyten, da in der Gesamtbakterienzahl auch ein mehr oder weniger großer Anteil von inaktiven und toten Zellen enthalten ist (30 - 70 %) und ebenso von Spezialisten, die auf die jeweils vorhandenen Nährstoffe nicht ansprechen. Die bakterielle Biomasse kann aber beträchtliche Bedeutung für das Nahrungsnetz haben. Das ist besonders dann der Fall, wenn Blüten von fädigen Cyanobakterien (Blaualgen) auftreten, wie das in der zentralen Ostsee regelmäßig geschieht. Diese werden vom Zooplankton ungerne gefressen, so daß die von den Primärproduzenten gelieferte Energie nur auf dem Umweg über die Bakterien in das Nahrungsnetz eingeschleust werden kann (Hoppe 1981, Rheinheimer 1981).

Seit 1974 (Jeske 1975) wurden mikrobiologische Untersuchungen in der tropischen Ciénaga Grande de Santa Marta durchgeführt. Bei diesem Gewässer handelt es sich um eine hochproduktive flache Küstenlagune an der Karibikküste Kolumbiens mit einer Fläche von ca. 420 km² und einer mittleren Tiefe von nur 1.6 m. In der Ciénaga treten ausgeprägte jahreszeitliche Salinitätsänderungen auf, je nachdem ob aufgrund der Niederschlagverhältnisse die Einflüsse des Meeres oder der Flüsse überwiegen. Dieses hat zur Folge, daß die Gesamtbakterienzahl lokal in einem weiteren Bereich schwanken kann (Abb. 2). Im Zentrum der Lagune war die Zahl der Bakterien jedoch relativ konstant. Sie lag 1987 im Mittel bei etwa 60 Millionen Zellen in 1 ml Wasser und gehört damit zu den höchsten bisher für natürliche Gewässer dieser Größe bekannten

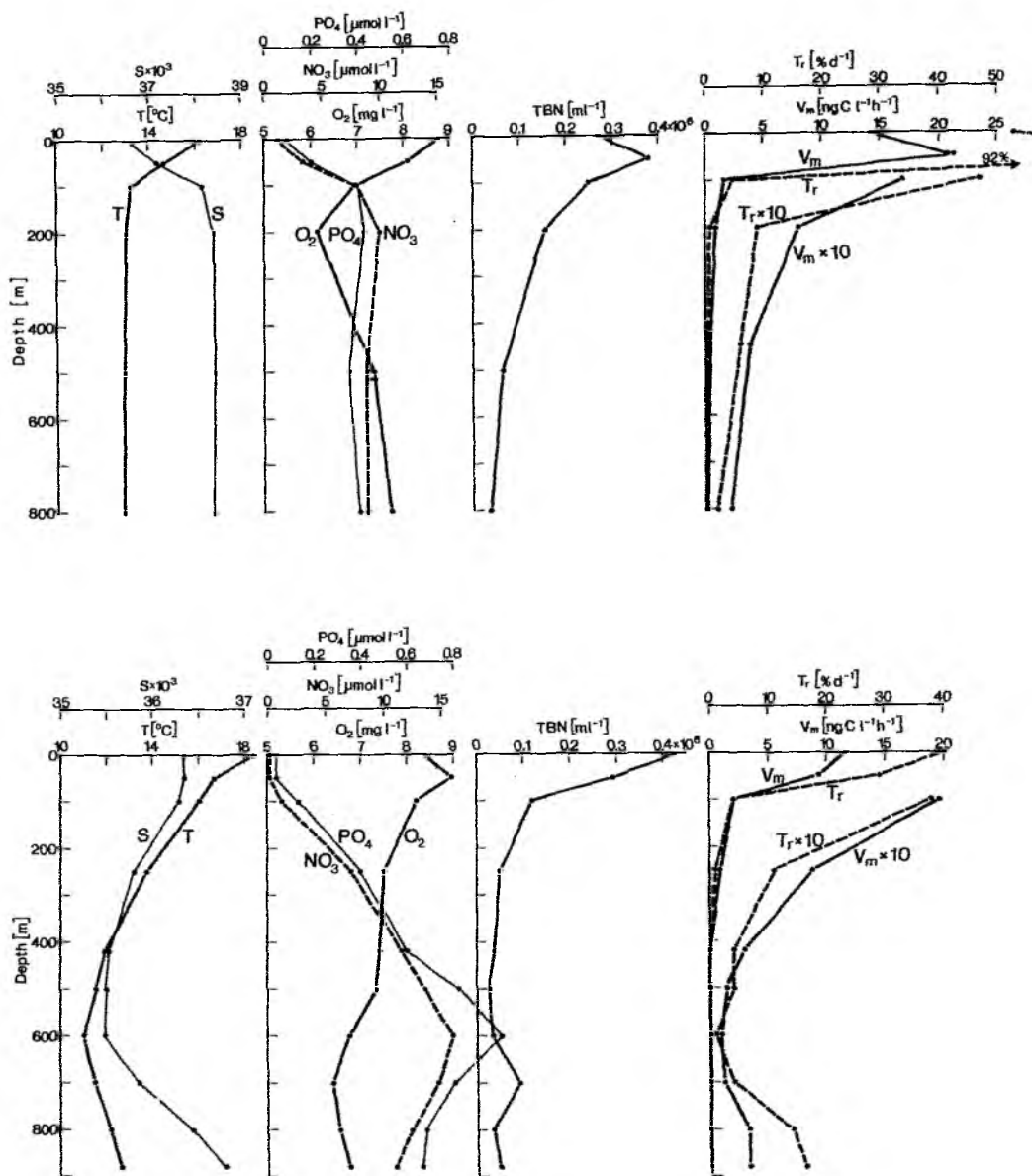


Abb. 3: Vertikalverteilung physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Parameter auf der Station A (oben) und Da (unten). Gesamtbakterienzahl; V_m = maximale Aufnahmegeschwindigkeit von Glukose; T_r = Umsatzrate von Glukose. Zur besseren Darstellung sind V_m und T_r unterhalb von 100 m zusätzlich 10-fach überhöht dargestellt ($V_m \times 10$ und $T_r \times 10$).
 A Mittelmeer Da Atlantik.

Werten (Gocke in Vorber.).

Die Vertikalverteilung von Gesamtbakterienzahl, bakterieller Biomasse und Saprophytenzahl im Meerwasser zeigt fast überall ein ähnliches Bild. Die Maxima finden sich in der Regel in der photischen Zone. Darunter gehen die Werte stark zurück und steigen unmittelbar über dem Grund wieder an. Damit spiegeln sie die Verteilung der leicht aufnehmbaren Nährstoffe wider. In geschichteten Wasserkörpern mit ausgeprägter Thermo- und/oder Halokline nimmt die Bakterienmenge in Grenzhorizonten oft deutlich zu. Das ist besonders ausgeprägt z.B. im Kattegat während der Sommermonate (Rheinheimer 1968). In der zentralen Ostsee kommt es in der Grenzzone von sauerstoff- und schwefelwasserstoffhaltigem Wasser, der Chemokline, ebenfalls zu einem Anstieg der Bakterienmenge und der bakteriellen Aktivität. Ein eindrucksvolles Beispiel konnte im Gotlandtief studiert werden (Rheinheimer et al. 1989). Auch in anderen Meeresgebieten ließen sich in verschiedenen Wasserkörpern Unterschiede von Bakterienmenge und bakterieller Biomasse feststellen. So wurden im ausströmenden Mittelmeerwasser des Gibraltarstromes südlich und westlich von Portugal deutlich höhere Werte als im darüberliegenden Atlantikwasser gefunden. Der Vergleich einer Station im Alboran-Becken (westl. Mittelmeer) und einer etwa gleich tiefen Station im Golf von Cadiz zeigt deutlich die Unterschiede der bakteriologischen Parameter in beiden Meeresgebieten. Bei der ersteren nehmen Bakterienmenge sowie bakterielle Biomasse und Aktivität (maximale Aufnahmegeschwindigkeit und Umsatzrate von Glukose) unterhalb einer etwa 100 m mächtigen Deckschicht stetig ab. In der letzteren ist dagegen im Tiefenwasser ein deutlicher Anstieg dieser Werte festzustellen (Abb. 3). Das dafür verantwortliche "Mittelmeerwasser" dürfte hauptsächlich aus der zwischen 100 und 300 m Tiefe befindlichen Wasserschicht des Alboran-Beckens stammen, deren Bakteriengehalt größer ist als im Atlantik. Diese Ergebnisse zeigen, daß neben den hydrographischen auch mikrobiologische Parameter zur Charakterisierung des Gibraltarstromes herangezogen werden können (Gocke und Rheinheimer i. Vorber.).

In den Tidenbereichen der Flußaestuarie und der angrenzenden

Küstengewässer gibt es starke Einflüsse der Strömungsverhältnisse auf die horizontale und die vertikale Verteilung der Mikroorganismen. In der Elbemündung zeigten sich unperiodische Schwankungen durch den Abfluß und periodische durch den Tidestrom. So fand sich bei starkem Aus- und Einstrom eine gleichmäßige Verteilung der Bakterien über die ganze Wassersäule. Bei Stillwasser erfolgte dann eine Sedimentation der Mikroben zusammen mit dem Detritus, so daß der Bakteriengehalt des Wassers im Oberflächenbereich stark ab- und über Grund entsprechend zunahm (Koske et al. 1966).

In den Sedimenten ist die Bakterienmenge vielfach von der Korngröße abhängig. So wurden im Sand der mittleren Kieler Bucht $0,7 - 2,3 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ und im Schlick $46,7 - 77,7 \times 10^9 \text{ Bakt. cm}^{-3}$ jeweils im obersten cm Feuchtsediment gezählt. Mit zunehmender Sedimenttiefe geht der Bakteriengehalt rasch zurück und liegt bei 10 cm oft bereits um einige Größenordnungen unter dem des Oberflächensedimentes. In dem Sandsediment befanden sich in der Zeit von Juni bis September 1974 36 - 51 % der Bakterien im interstitiellen Wasser und 49 - 64 % auf den Sandkörnern. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen des Bakterienaufwuchses zeigten eine sehr ungleichmäßige Besiedlung der Sandkörner. Die Bakterien befinden sich vorwiegend in Vertiefungen und fehlen an den exponierten Kanten und Erhöhungen infolge des mechanischen Stresses bei den Sandbewegungen.

Die Aufwuchsbakterien sind an ihren extremen Standorten durch ihre Morphologie oder besondere Anheftungsmechanismen angepaßt. So finden sich z.B. diskusförmige Bakterien, die den Sandkörnern flach aufliegen. Kokken und Stäbchen sind meist mit Schleimfäden auf dem Substrat befestigt oder in einem elastischen Netz aufgehängt (Weise und Rheinheimer 1978, 1979).

Brackwasserbakterien

Den Einflüssen von Standortfaktoren wie Salzgehalt, Temperatur, Primärproduktion, Abwasserbelastung u.a. auf die Bakterienverteilung und die Zusammensetzung der Mikroflora wurde von Anfang an nachgegangen. Es zeigte sich sehr bald, daß im Brackwasser der

Ostsee und der Flußaestuarie von Elbe und Weser besondere Brackwasserbakterien vorkommen, deren Salzansprüche sich von denen der eigentlichen Meeresbakterien durch Optima zwischen 5 und 20 ‰ gegenüber 25 und 40 ‰ unterscheiden. Sie werden sowohl durch Süßwasser als auch durch Meerwasser mit einem Salzgehalt um 35 ‰ in ihrer Entwicklung gehemmt (Rheinheimer 1971). Neben den allgemein verbreiteten stäbchen-, kokken- und spirillenförmigen Zellen wurde eine Gruppe von Bakterien gefunden, die charakteristische stern- und raupenförmige Aggregate bilden. Diese haben den Schwerpunkt ihrer Verbreitung in der westlichen Ostsee und den Flußaestuaren der Deutschen Bucht (Ahrens 1969).

Bedeutung physiologischer Bakteriengruppen

Weitere Untersuchungen galten physiologischen Gruppen, die bestimmte Stoffe abbauen können und entsprechend zur Selbstreinigung der Gewässer beitragen. Dabei handelt es sich vor allem um solche, die Proteine, Aminosäuren, Zucker, bestimmte Alkohole und Kohlenwasserstoffe (s. Gunkel und Gassmann 1980), Phenole, organische Säuren, Fette, Chitin, Zellulose, Alginate sowie einige anthropogene Schadstoffe angreifen. Von besonderem Interesse sind die Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen bestimmter Stoffe und der Reaktion der Mikroflora. Bei leicht angreifbaren Verbindungen kann sie sehr rasch durch entsprechende Populationsänderungen reagieren. So kommt es z.B. bei der Zufuhr von Eiweiß, einfachen Alkoholen oder organischen Säuren und ähnlichen Stoffen schon nach einigen Stunden zur Vermehrung der Mikroben, die diese als Nahrung verwenden können. Sehr viel langsamer geschieht das bei schwer angreifbaren hochmolekularen Substanzen. Nicht selten ist erst nach vielen Tagen oder einigen Wochen eine Veränderung der Mikroflora festzustellen. Am Abbau von hochmolekularen Verbindungen sind meist Bakterien verschiedener physiologischer Gruppen beteiligt, die oft nacheinander auftreten und charakteristische Sukzessionen bilden können.

Eine solche Sukzession von Mikroorganismen kann auch beim Aufwuchs absterbender Algen festgestellt werden. So beobachtete Hoppe (1981) bei dem fadenbildenden Cyanobacterium Nodularia

spumigena zunächst die Ansiedlung niederer Pilze, denen bald Bakterien folgten. Dabei handelte es sich anfangs um Kokken, die später von stäbchenförmigen Zellen abgelöst wurden. Das Zusammenbrechen von Planktonblüten hat oft eine explosionsartige Vermehrung von Bakterien zur Folge. Diese liefern die Ernährungsgrundlage für bakterienfressende Protozoen - vor allem Flagellaten und Ciliaten (s. Abschn. 3.1). Deren Entwicklung hat dann innerhalb weniger Tage einen starken Rückgang der Bakterienzahl zur Folge. Das Gleichgewicht zwischen diesen beiden Gruppen wird immer schnell wieder hergestellt.

Analysen von Bakterienpopulationen

In den letzten Jahren erfolgten Analysen der Bakterienpopulation von Flüssen (Elbe und Trave) sowie der Ostsee und dem Nordostatlantik mit Hilfe der numerischen Taxonomie (Bölter et al. 1986, Bölter und Rheinheimer 1987). Die Untersuchungen in der Ostsee zwischen dem Arkona-Becken und dem nördlichen Bottnischen Meerbusen ergaben, daß trotz der großen Unterschiede von Hydrographie und Chemie bei den Untersuchungsstationen die Population der aeroben saprophytischen Bakterien verhältnismäßig homogen ist. Die isolierten Stämme konnten weitgehend den Gattungen Pseudomonas, Achromobacter, Flavobacterium, Enterobacter und den Coryneformen zugeordnet werden. Die Population ist ziemlich unspezifisch. Offenbar ist in der Ostsee ein Grundspektrum von Arten dieser Gattungen vorhanden, die vor allem durch Veränderungen in ihrem Zahlenverhältnis auf die unterschiedlichen Bedingungen reagieren. Damit sind natürlich nur die auf dem Pepton-Hefeextrakt-Agar wachsenden Bakterien erfaßt. Auch gibt es durchaus Gruppen, die auf bestimmte Bereiche der Ostsee konzentriert sind, wie das oben erwähnte Beispiel der sternbildenden Agrobacterium-Arten zeigt. Andererseits sind aber auch die hochspezialisierten chemoautotrophen Nitrit- und Nitratbakterien in der gesamten Ostsee vorhanden. Sie fehlen wahrscheinlich nur im H₂S-haltigen Tiefenwasser. Schwefeloxidierende Thiobacillen dürften ebenfalls praktisch überall in geringerer Menge vorkommen und vermögen sich unter günstigen Bedingungen, wie sie vor allem in den Grenzbereichen zwischen O₂- und H₂S-haltigen Wasserkörpern bestehen, rasch

zu vermehren (Bansemir und Rheinheimer 1974). Selbst die obligat anaeroben Desulfurikanten (Desulfovibrio) sind sogar im Oberflächenwasser nachzuweisen, wo sie sich offensichtlich in einem sauerstoffunempfindlichen Ruhestadium befinden. Nach Verschwinden des Sauerstoffs gewinnen sie ihre Stoffwechselaktivität zurück und können sich vermehren. Aus diesen Befunden kann gefolgert werden, daß in der Ostsee und ebenso in anderen Meeresgebieten ständig ein Bakterienspektrum vorhanden ist, das auf Veränderungen der Bedingungen schnell durch Vermehrung der einen oder anderen Art (oder auch mehrerer Arten) reagieren kann. Dadurch wird das Funktionieren des Stoffkreislaufes gewährleistet.

Hieraus ergibt sich die große Bedeutung von Veränderungen der Bakterienpopulation für die marinen Ökosysteme. Störungen z.B. durch Schadstoffe können nachhaltige Folgen haben. Auch eine starke Sauerstoffzehrung, die zum weitgehenden Verschwinden des Sauerstoffs in den betroffenen Wasserkörpern und Sedimenten führt, kann die normalen Stoffumsetzungen durch die Bakterien beeinträchtigen. Ein Beispiel geben Beobachtungen vom Sommer 1986 im Teili-Tief südlich von Finnland. Hier lag die Sauerstoffkonzentration des Tiefenwassers (120 - 158 m) unter $0,2 \text{ mg l}^{-1}$. Dadurch war noch eine Ammoniakoxidation durch Nitritbakterien möglich - jedoch keine Nitritoxidation durch Nitratbakterien. Also reicherte sich Nitrit in stärkerem Maße an und der Anteil der Nitritbakterien konnte sich vergrößern (Rheinheimer et al. 1988).

Ausblick

Die Untersuchungen über die Quantität und Qualität der Mikroorganismen sind noch lange nicht abgeschlossen. Wir verfügen zwar über einen Einblick in die mengenmäßige Verteilung der Bakterien im marinen Bereich. Es gibt aber vergleichsweise wenige zuverlässige Daten über die Gesamtzahl der Pilze und so gut wie keine über deren Biomasse. Hinsichtlich der artenmäßigen Verteilung der Mikroflora in marinen Ökosystemen haben wir nur ein sehr unvollkommenes Wissen. Hier sind wir wegen der größeren morphologischen Unterschiede besser über die Pilze orientiert als über

die Bakterien. Bei den letzteren beschränken sich unsere Kenntnisse weitgehend auf Verbreitung und Funktion physiologischer Gruppen. Über deren artenmäßige Zusammensetzung wissen wir aber in der Regel nur wenig. Es erfolgte zwar auch in unserer Abteilung eine Reihe von taxonomischen Untersuchungen an Saprophyten und spezialisierten Bakteriengruppen - so z.B. bei Fett-, Chitin- und Zelluloseabbauern. Doch handelt es sich dabei nur um einen kleinen Anteil der gesamten Bakterienflora. Nach wie vor sind viele Bakterien des Meeres wie auch anderer Gewässer nicht kultivierbar und entziehen sich damit der taxonomischen Untersuchung und Identifikation. Eine mikroskopische Analyse von Wasserproben aus dem Atlantik ergab z.B. einen hohen Anteil (bis über 30 %) von stark gebogenen Zellen, die auf dem Pepton Hefeextrakt-Medium nicht zur Entwicklung kamen. Da häufig Teilungsstadien zu beobachten waren, müssen sie eine wichtige Funktion bei den Stoffumsetzungen in diesem Meeresgebiet haben (Rheinheimer und Schmaljohann 1983). Doch ohne biochemische Tests können wir darüber keine zuverlässigen Aussagen machen. Die Erarbeitung besserer Kultivierungsmethoden bleibt daher ein Ziel der Gewässermikrobiologen, das nicht verdrängt werden darf.

Die taxonomische Klassifizierung von heterotrophen Gewässerbakterien hat in jüngster Zeit durch die Molekularbiologie eine neue Dimension erhalten. Der bisher üblichen phenotypischen Klassifizierung durch die morphologisch-physiologische Untersuchung kann nun eine genotypische Klassifizierung durch Gewinnung niedermolekularer RNS-Profile gegenübergestellt werden (Höfle 1988). Eine vergleichende Untersuchung von aus der Ostsee isolierten Bakterien mit beiden Verfahren zusammen mit M. Bölter (Inst. f. Polarökologie) und M. Höfle (MPI f. Limnologie) wurde aufgenommen.

Die nun seit 25 Jahren laufenden Arbeiten über Verteilung und Zusammensetzung der Mikroflora im Meer und seinen Randgebieten haben also nichts an Aktualität verloren. Vielmehr konnten neue Betrachtungsweisen und Methoden immer wieder zu einer Erweiterung der Kenntnisse beitragen und werden dieses auch weiterhin tun. Arbeiten zur Taxonomie der Mikroflora des Meeres erfolgen auch in

Bremerhaven (s. Rüger 1981) und einigen Instituten des Auslandes. Doch der Wissensbedarf auf diesem Gebiet ist so groß, daß er durch die kleine Gruppe von Wissenschaftlern, die sich heute damit befaßt, nicht befriedigt werden kann. Ein größeres Projekt zur modernen Taxonomie mariner Mikroorganismen ist auch im Hinblick auf die Probleme der Gentechnik sehr wünschenswert. Denn nur die genaue Kenntnis der Mikroorganismen und ihrer Fähigkeiten erlaubt eine Beurteilung eventueller ökologischer Folgen von manipulierten Stämmen. Ähnlich ist es auch beim Auftreten von Krankheiten bei marinen Organismen. Über die Mikroflora von Wirbeltieren und Wirbellosen ist immer noch sehr wenig bekannt. Auch in dieser Hinsicht sind weitere intensive Arbeiten über Quantität und Qualität der Mikroorganismen unverzichtbar.

Literatur

- Gunkel, W. und G. Gassmann (1980): Hydrocarbons and hydrocarbon degradation in the marine environment including some considerations of the water-sediment interface. *Colloques int. C.N.R.S.* 293, 301 - 307.
- Hofle, M. (1988): Identification of bacteria by low molecular weight RNA profiles: a new chemotaxonomic approach. *J. Microbiol. Meth.* 8, 235 - 248.
- Ruger, H.J. (1981): Comparison of the API and Minitec identification systems with conventional methods of differentiating marine bacteria. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* 19, 21 - 34.
- ZoBell, C.E. (1946): *Marine Microbiology. A monograph on hydrobacteriology.* Chronica Botanica Co., Waltham, Mass. USA 240 p.

1.2. Vorkommen und Funktion von Pilzen in der Ostsee

Joachim Schneider

Bald nach ihrer Errichtung am Institut für Meereskunde in Kiel wurde in der Abteilung Marine Mikrobiologie auch eine Arbeitsgruppe für Mykologie eingerichtet. Neben der am Institut für Meeresforschung in Bremerhaven schon länger bestehenden mykologischen Forschungseinrichtung (Dr. W. Höhnk, Dr. A. Gaertner, Dr. A. Ulken) ist dies die zweite Institution in der Bundesrepublik Deutschland, an der Meerespilze untersucht werden, wobei der Schwerpunkt in regionaler Hinsicht in der Ostsee und ihren Förden liegt.

Schon in den dreißiger Jahren waren vereinzelt Ergebnisse über das Vorkommen von niederen Pilzen (d.h. vor allem Chytridiomyceten und Oomyceten) im Bereich der Ostsee-Ausgänge veröffentlicht worden, so von dem amerikanischen Botaniker Sparrow (1934), der über Pilze an jütländischen Stränden berichtete und von Höhnk (1939), der als Gastforscher am damaligen Institut für Meereskunde in Kiel-Kitzeberg Oomyceten aus der Kieler Förde isolierte. Höhnk stellte neben taxonomischen Untersuchungen auch erste Versuche zum Einfluß des Salzgehaltes auf die Entwicklung dieser Pilze an. Ulken (1964) und Gaertner (1966) wiesen dann im Wasser und in Sedimenten der Nordsee regelmäßig niedere Pilze nach.

In der Ostsee waren nach Sparrows und Höhnks Veröffentlichungen bis zur Mitte der sechziger Jahre nur vereinzelte unsystematische Untersuchungen hinsichtlich des Vorkommens von Pilzen vorgenommen worden. Außer einer Veröffentlichung über den Befall eines Copepoden (Eurytemora) durch Leptolegnia baltica (Höhnk und Vallin, 1953) berichteten Harder und Uebelmesser (1955) und Scholz (1958) unter anderem über vereinzelte Funde von niederen Pilzen in Sedimentproben aus der Schleimündung und der äußeren Kieler Förde. Die erste Aufgabe für die neugegründete mykologische Arbeitsrichtung im Rahmen der Abteilung Marine Mikrobiologie bestand daher darin, systematisch an zahlreichen Proben (Wasser, Sediment,

Algen) von den unterschiedlichsten Standorten das Vorkommen und die Verbreitung von Pilzen (zunächst von Chytridiomyceten) zu untersuchen. Aus praktischen Gründen wurden die Proben anfangs im Gebiet der Kieler Bucht und ihrer Förden genommen, und zwar auf regelmäßigen Ausfahrten über den Zeitraum mehrerer Jahre (1965 - 1970), um neben der räumlichen auch eine eventuelle zeitliche Verteilung dieser Organismen zu erfassen.

Taxonomische Untersuchung Niedererer Pilze

Die westliche Ostsee und ihre Förden stellen als Übergangszone zwischen der Nordsee und der mittleren und nördlichen Ostsee besonders im Hinblick auf den Salzgehalt ein interessantes Untersuchungsgebiet dar. Es treten hier - räumlich und zeitlich wechselnd - erhebliche Salinitätsunterschiede auf, so daß auch für Pilze ähnliche Auswirkungen zu erwarten waren, wie sie zum Beispiel von Gessner (1975) für die höheren Pflanzen und Tiere dargestellt worden sind.

Von Ausnahmefällen abgesehen sind niedere Pilze in solchen Proben nicht direkt zu beobachten, sondern müssen mit Ködern angereichert werden. Als besonders praktisch hat sich hierfür die Verwendung von sterilisiertem Pinus-Pollen erwiesen.

Über die Ergebnisse sind mehrere Veröffentlichungen erschienen, einschließlich der Resultate zweier größerer mikrobiologisch-ökologischer Untersuchungen, bei denen auch die mykologischen Verhältnisse berücksichtigt wurden - eine Bereisung der Ostsee mit zahlreichen Proben-Stationen zwischen der Kieler Förde und den Gewässern um Gotland und die sich über 3 Jahre erstreckende, 30 Profilmfahrten umfassende Erforschung der biologischen, chemischen und hydrographischen Verhältnisse in der Schlei (Schneider 1967, 1968, 1969, 1970).

Bei diesen Vorhaben ging es zunächst darum, festzustellen, welche Pilzarten in Proben mariner Herkunft vorkommen und ob eine bestimmte qualitative und quantitative Abhängigkeit von regionalen oder jahreszeitlichen Bedingungen festzustellen ist (wobei

Faktoren wie Landnähe, Nährstoffgehalt, Salinität, Temperatur und Abwasserbelastung berücksichtigt wurden), d.h. das Forschungsprogramm umfaßte sowohl taxonomische als auch ökologische Studien. Da die meisten niederen Pilze in Rohkulturen nur eine kurze Lebensdauer besitzen, eine genaue Beobachtung der für die taxonomische Einordnung wichtigen Entwicklungsgänge und Versuche zur Ökologie nur an Reinkulturen möglich sind, war es unumgänglich, die Pilze zu isolieren und in fremdorganismenfreie Kultur zu überführen.

Ordnet man die gefundenen Pilze nach der Häufigkeit und ihrer regionalen Verbreitung im Gebiet der Ostsee, so ergibt sich folgendes Bild: am häufigsten trat Schizochytrium aggregatum auf, sein Vorkommen erstreckte sich von der westlichen Ostsee (einschließlich der Ostsee-Ausgänge und der Förden) bis zum Arkona-Becken. Eine ähnliche Verbreitung und Häufigkeit zeigte Thraustochytrium multirudimentale. In einer geringeren Zahl von Proben wurden Thraustochytrium kinnei und Thraustochytrium striatum gefunden. Diese traten östlich von Fehmarn nicht mehr auf. Darüberhinaus fanden sich sporadisch weitere monozentrische Pilze vom Typ der Thraustochytrien, die nicht näher zu bestimmen waren.

Im Inneren der Förden einschließlich in der Schlei wurde eine Reihe niederer Pilze beobachtet, von denen Verwandte aus dem Süßwasser bekannt sind, wie z.B. Olpidium pendulum, Rhizophyidium halophilum, Rhizophlyctis harderi, Nowakowskiella elegans, Saprolegnia spec., Phytium spec., Lagenidium spec. Einige dieser Arten wurden auch in Sedimentproben gefunden, die aus stärker verunreinigten Gewässern, wie der Kieler und Flensburger Förde und der Schlei stammten; Schizochytrium aggregatum kam sogar in H₂S-haltigen Proben vor (Schneider 1969).

Untersuchungen hinsichtlich ihrer Salinitätsansprüche führten zu dem Ergebnis, daß es sich bei den als autochthone marine Formen anzusehenden Thraustochytrium- und Schizochytrium-Arten um euryhaline Pilze handelt, die Salzgehaltsschwankungen von 5 - >25 ‰ S zu ertragen vermögen (im trockengefallenen Algenanwurf noch höhere Salinitäten!) und deren Verbreitungsgrenze in der Ostsee

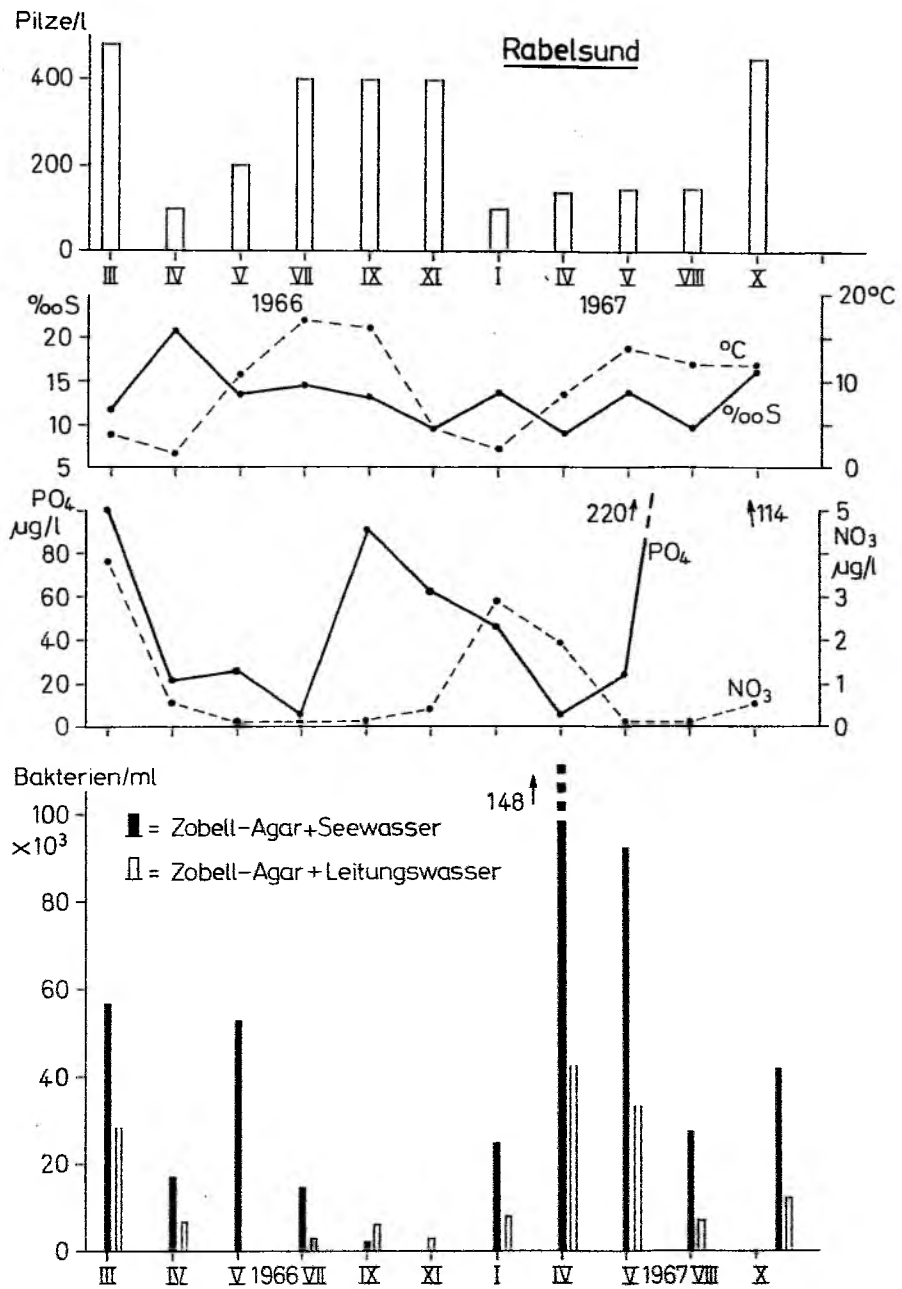


Abb. 1: Die Keimzahlen niederer Pilze (Infektiöse Einheiten) in der Schlei (Stat. Rabelsund) im Vergleich zum Salz-, Phosphat- und Nitratgehalt, der Wassertemperatur und der Bakterienkeimzahl des Probenwassers.

Tab. 1: Die Vertikalverteilung niederer Pilze (Infektiöse Einheiten/Liter) in verschiedenen Wassertiefen der Kieler Bucht.

Station	Tiefe m	Nied. Pilze	Hefen	Bakterien
Feuerschiff Kiel November 1965	5	79	23	5080
	10	49	6	3240
	15	43	5	1910
Boknis Eck Februar 1966	5	920	41	6060
	10	540	52	5100
	15	140	65	5300
Schlei-Olpenitz Juli 1966	5	1000	-	-
	10	-	-	-
	25	33	-	-
Schlei-Olpenitz September 1966	5	6000	-	-
	10	1000	-	-
	25	260	-	-
Breitgrund Juli 1966	5	1000	2	1030
	25	30	0	570

etwa zwischen der Darßer-Schwelle und dem Arkona-Becken liegt. Diese Beobachtungen konnten in Laborversuchen bestätigt werden.

Quantitative Untersuchungen

Auf den von 1965 bis 1968 regelmäßig vorgenommene Profil-Fahrten in der Schlei wurden, neben taxonomisch-qualitativen Studien, auch quantitative mykologische Untersuchungen nach der Methode von Gaertner (1966) an niederen Pilzen durchgeführt (Schneider 1970). Nur zwei der in der Kieler Bucht vorkommenden Arten (Schizochytrium aggregatum und Thraustochytrium spec. (Typ 1) konnten auch in der innersten Schlei bei Schleswig isoliert werden. In quantitativer Hinsicht war eine Zunahme der niederen Pilze von Schleimünde bis Schleswig festzustellen und das Auftreten eines Maximums im Spätherbst (mit einem zweiten Gipfel im Sommer an einigen Stationen), wobei eine Korrelation mit den Temperaturen und dem Phosphatgehalt des Wassers festzustellen war. Der Besatz an Bakterien dagegen verhielt sich gegenläufig (Abb. 1). Quantitative Untersuchungen über den Besatz an niederen Pilzen wurden auch auf einer Ostsee-Profilfahrt von der Kieler Bucht bis in das Gebiet um Gotland vorgenommen. Während in der Kieler Bucht ähnliche Werte wie in der Deutschen Bucht angetroffen wurden (Gaertner 1968), nahm der Besatz östlich des Fehmarn Belts rasch ab. Bei Arkona waren keine Pilze mehr nachzuweisen.

Die quantitative Vertikalverteilung in der Kieler Bucht zeigte Maxima im Oberflächenwasser und Minima in Proben, die dicht über Grund genommen worden waren (Schneider 1968) (Tab. 1); dagegen wurden östlich von Fehmarn Pilze nur noch im bodennahen Wasser entsprechender Salinität gefunden (Schneider unveröff.).

Vergleiche der Pilzflora verschiedener Standorte

Zum Vergleich mit der Pilzflora des Brackwassers besonders in Küstennähe wurden mehrfach Wasser- und ufernahe Bodenproben vom Pluss-See (Ostholstein) auf niedere Pilze untersucht, wobei etwa 25 Arten unterschieden werden konnten, von denen einige (Rhizophyidium sphaerotheka, Rh. gibbosum, Rh. pollinis-pini, Olpidium

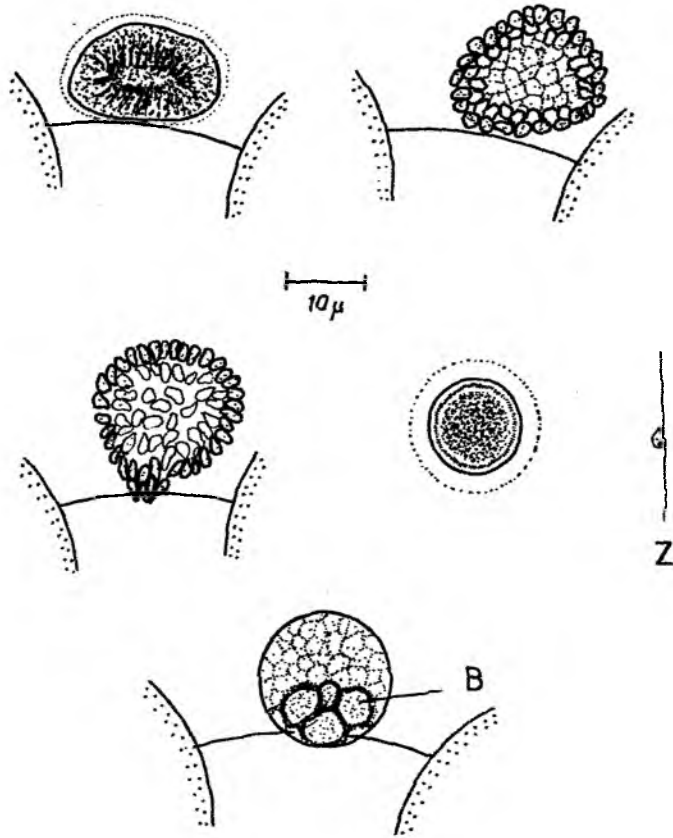


Abb. 2: Zwei niedere Pilze aus der Morecombe Bay, Cumberland, Großbritannien. Thraustochytrium striatum in verschiedenen Stadien; Thr. multirudimentale, B = Basalkörper, Z = Zoospore.

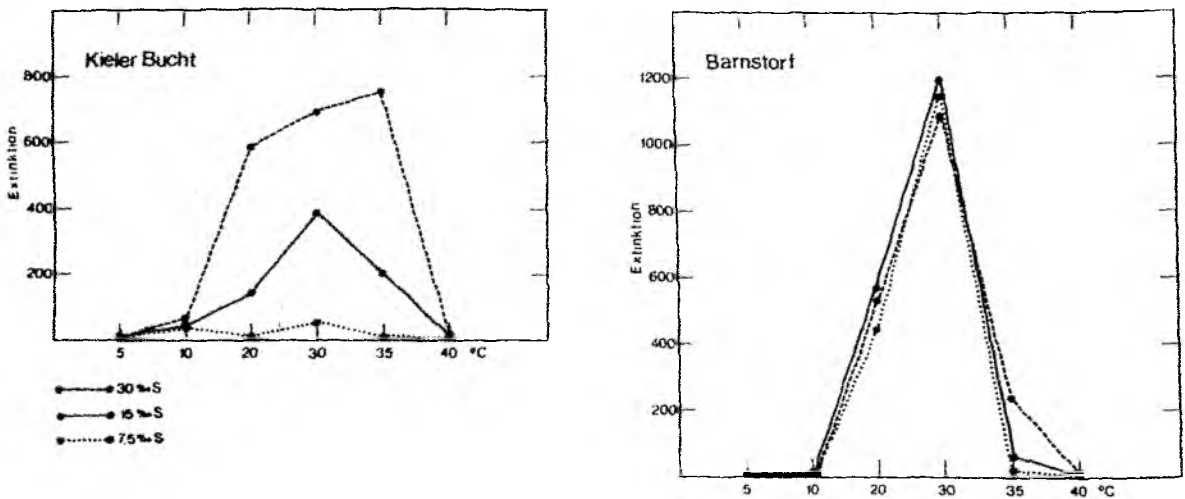


Abb. 3: Die Entwicklung von 2 Isolaten von Thraustochytrium pachydermum (Barnstorf = Salzquelle bei Braunschweig) bei verschiedenen Temperaturen und Salinitäten nach 2 Tagen.

spec.; Pythium spec.) auch im schwach salzigen Wasser der inneren Schlei auftraten.

Ab etwa 1970 begannen Untersuchungen über Hefen, wobei quantitative und qualitative Gesichtspunkte berücksichtigt wurden. Besonders die damalige Einleitung ungeklärten Abwassers der Stadt Kiel bei Bülk ließ zeitweise erhebliche Mengen an salzwassertoleranten (oder osmophilen) Hefen in Küstennähe zur Entfaltung kommen. Die Verteilung dieser Organismen in der Kieler Bucht war besonders von der Nährstoffkonzentration und der Windrichtung abhängig; auch konnte ein interessanter Zusammenhang mit der Entwicklung der Bakterien beobachtet werden (Hoppe 1972 a, b).

Anlässlich eines Forschungsaufenthaltes im Windermere Laboratory der Freshwater Biological Association, Ambleside, Westmoreland, Großbritannien, im Juni 1970 wurden Boden- und Wasserproben aus dem Mündungsgebiet des River Leven und von Stränden der Westküste auf das Vorkommen niederer Pilze untersucht. Dieses Gebiet war zu der Zeit noch verhältnismäßig unbelastet durch industrielle Einflüsse und erschien deshalb für Vergleichsuntersuchungen gut geeignet (Schneider 1971). Unter den beobachteten Arten herrschten Rhizophydium-, Thraustochytrium- und Schizochytrium-Arten vor (Abb. 2).

Die Beobachtung, daß in Quellen oberhalb von Salzlagerstätten bei Braunschweig niedere Pilze vorkommen, die einigen im Meer gefundenen Gattungen ähneln sowie die Veröffentlichungen anderer Autoren zum gleichen Thema (z.B. Gaertner 1954, Booth 1969) regten zu einem Vergleich in taxonomischer und ökologischer Hinsicht von Isolaten aus beiden Biotopen an. In den binnenländischen Salzquellen trat nur Thraustochytrium pachydermum auf, während die Proben aus dem Meer eine größere Artenvielfalt aufwiesen (einschließlich der Funde von Chytridineen im Brackwasser). Ökologische Laboruntersuchungen ergaben dagegen eine unterschiedliche Wirkung von Temperatur und Salinität (in kombinierten Versuchen gleichzeitig verändert) bei Herkünften aus dem Meer und aus den Salzquellen (Abb. 3). Während sich das Meer-Isolat ("Kieler Bucht") bei einer bestimmten Temperatur um so besser

entwickelte, je höher der Salzgehalt war, wuchs der Pilz aus der Salzquelle "Barnstorf" bei allen Temperaturen gleich gut oder schlecht ohne Rücksicht auf die Salinität.

Pilze als Schadstoffindikatoren

Als gegen Ende der sechziger Jahre Probleme der Umweltverschmutzung die Forschung zu beeinflussen begann, bestand eine der Aufgaben darin, geeignete Organismen zu finden, die zur routinemäßigen Überwachung der Schadstoff-Belastungen in Gewässern verwendet werden könnten. Um 1970 wurden nur Vertreter höher organisierter auto- und heterotropher Organismen (Algen, Hydrozoen, Muscheln, Fische) als solche Testorganismen verwendet, heterotrophe Mikroorganismen, wie Bakterien und Pilze, fehlten. Um diese Lücke auf mykologischem Gebiet zu schließen, wurde ein Pilz aus der Gruppe der durch zweigeißelige Zoosporen charakterisierten Thraustochytriaceae in einer Reihe von Versuchen auf sein Verhalten gegenüber Schwermetallsalzen und Phenol und seine Eignung als Testorganismus untersucht (Schneider 1972). Der verwendete Pilz, Thraustochytrium striatum, stammt aus Bodenproben der Kieler Bucht und lag in Reinkultur vor. Als einfach zu handhaben und ausreichend empfindlich erwies sich die Methode der Pollen-Wasser-Kultivierung (unter Zusatz der Testsubstanzen) und der Registrierung der Zoosporen-Bildung und -Aktivität als Indikatoren der Schadstoffwirkung. Bei den verschiedenen Schadstoffkonzentrationen zeigte der Testorganismus gut abgestufte Reaktionen.

Holzbesiedelnde Höhere Pilze

Ab 1973 wurden auch höhere Pilze des Brackwassers aus der Gruppe der holzbesiedelnden lignicolen Asco- und Deuteromyceten in das Forschungsprogramm aufgenommen. Ein Teil der Pilze wird in der (taxonomisch uneinheitlichen Gruppe) der im salinen Milieu gefundenen Halosphaeriaceae zusammengefaßt, während weitere Pilze zu Gattungen gehören, die auch Arten im aquatischen Bereich besitzen (was ebenfalls für die beobachteten Deuteromyceten gilt). Sterilisierte Hölzer wurden an je 2 Stationen der Kieler Förde und der

Schleifexponiert. Die im Abstand von 6 Wochen eingeholten Brettchen wurden sofort und danach in regelmäßigen Abständen auf die für die einzelnen Arten charakteristischen Sporen untersucht. (Die Expositionszeit betrug maximal 2 Jahre). Auf Grund dieser Untersuchungen ließen sich Aussagen über die bei Salinitäten zwischen 0 - 20 ‰ S vorkommenden Arten lignicoler Pilze, ihre saisonale und regionale Verteilung und ihre Bevorzugung bestimmter Holzarten machen. Einige Ascomyceten konnten zum ersten Mal für die westliche Ostsee beschrieben werden (Halosphaeria stellata, Corollospora cristata und Nais inornata). Als bevorzugte Holzart stellte sich Buchenholz heraus (vor der Kiefer und einigen tropischen Baumarten). Darüberhinaus wurden Zusammenhänge hinsichtlich der Wassertemperatur und des Salzgehaltes während der Expositionszeit, der Expositionsdauer und der Länge der Inkubationszeit der Hölzer nach der Probennahme festgestellt (Schneider 1976).

Eine weitere sich über mehrere Jahre erstreckende Untersuchung befaßte sich mit der Entwicklung terrestrischer Pilze (Asco- und Deuteromyceten), wenn diese in Brackwasser gelangen, wie dies z.B. durch Einwehen von Blättern oder durch Einschwemmung von Land her und schließlich durch den Eintrag von Sporen aus der Luft fast ständig in erheblichem Umfang der Fall ist. Diese Untersuchungen erhielten einen Anstoß durch die Beobachtung, daß auf Nähragar-Platten, die mit salzigen Wasserproben aus der Kieler Bucht, der Kieler Förde, der Nordsee und dem Atlantik beimpft wurden, sich regelmäßig "terrestrische" Pilze entwickelten. In methodisch unterschiedlichen Ansätzen wurde die Keimung von Sporen, die Entwicklung von Mycel und die Bildung von Vermehrungs- und Fortpflanzungsstadien in Experimenten im Labor und am natürlichen Standort bei verschiedenen Salzgehalten untersucht. Ein besonderes Gewicht kam hier jenen Methoden zu, bei denen die Entwicklung der Pilze unter annähernd natürlichen Bedingungen stattfinden konnte, was durch die Exposition von Sporen oder von Blättern ufernaher Bäume, die besonders im Herbst stark mit Pilzen infiziert sind, in der Kieler Förde erreicht werden sollte (Schneider, in Vorber.).

Ausblick

Als ein wesentlicher Nachteil der bisherigen mykologischen Forschungen muß das Fehlen einer auch für ökologische Untersuchungen mit großen Probenzahlen geeigneten zuverlässigen quantitativen Methode angesehen werden. Bisher lassen sich bestenfalls semi-quantitative Aussagen machen (eine Ausnahme bilden die Hefen) und eine Korrelierung mit Daten anderer Bereiche (Bakteriologie, Planktologie oder Chemie) ist kaum möglich. Daher liegt eine wichtige Aufgabe darin, eine routinemäßig anwendbare quantitative Methode für Meerespilze zu entwickeln. Auch die Erforschung der Pilze, die an extremen Meeresstandorten (arktische Gewässer, Tiefsee) vorkommen sowie von pathogenen Arten (Fischparasiten) im Zusammenhang mit der Verunreinigung des Meeres, besonders in Küstennähe, stellen zukünftige Arbeitsthemen dar. Schließlich ist die Intensivierung der autökologischen Forschung an einzelnen Isolaten von Meerespilzen ein aussichtsreiches Forschungsgebiet.

Literatur

- Booth, T. (1969): Marine fungi from British Columbia: monocentric chytrids and chytridiaceous species from coastal and interior halomorphic soils. *Syesis* 2, 141 - 161.
- Gaertner, A. (1954): Über das Vorkommen niederer Erdphycomyceten in Afrika, Schweden und an einigen mitteleuropäischen Standorten. *Arch. Mikrobiol.* 21, 4 - 56.
- Gaertner, A. (1966): Vorkommen, Physiologie und Verteilung mariner Niederer Pilze (Aquatic Phycomycetes), Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven Sdb. 2, 221 - 236.
- Gaertner, A. (1968): Die Fluktuationen mariner niederer Pilze in der Deutschen Bucht 1965 und 1966. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven Sdb. 3, 105 - 120.
- Gessner, F. (1957): Meer und Strand. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 2. Aufl., Berlin.
- Harder, R. und E. Uebelmesser (1955): Über marine saprophytische Chytridiales und einige andere Pilze vom Meeresboden und Meeresstrand. *Arch. Mikrobiol.* 22, 87 - 144.
- Höhnk, W. (1939): Ein Beitrag zur Kenntnis der Phycomyceten des

- Brackwassers. Kieler Meeresforsch. 3, 337 - 361.
- Höhnk, W. und Vallin (1953): Epidemisches Absterben von Eurytemora im Bottnischen Meerbusen, verursacht durch Leptolegnia baltica nov. spec. Veröff. Inst. f. Meeresforsch. Bemerhaven 3, 215 - 223.
- Scholz, E. (1958): Über morphologische Modifikationen bei niederen Erdphycomyceten und Beschreibung zweier neuer Arten von Rhizophydium und Thraustochytrium. Arch. Mikrobiol. 29, 354 - 369.
- Sparrow, F.K. (1934): Observations on marine phycomycetes in Denmark. Dansk Bot. Arkiv 8, 1 - 24.
- Ulken, A. (1964): Über einige Thraustochytrien des polyhalinen Brackwassers. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven 9, 31 - 42.

2. Mikrobielle Stoffumsetzungen im Meer

Die Beteiligung an den Stoffumsetzungen in den marinen Ökosystemen stellt die wichtigste Funktion der Mikroorganismen dar. Sie vermögen fast alle natürlichen und viele anthropogenen organischen Substanzen anzugreifen und unter günstigen Bedingungen zu ihren Ausgangsstoffen Kohlendioxid, Wasser und einigen anorganischen Salzen abzubauen. Daran sind zahlreiche verschiedene Mikroben beteiligt, die sich bestimmten physiologischen Gruppen zuordnen lassen. Ihre Tätigkeit erfolgt oft in Sukzessionen, deren Abfolge von den jeweiligen Standortbedingungen abhängt. Bei den Abbauvorgängen handelt es sich in der Regel um enzymatische Prozesse, die innerhalb oder außerhalb der Zellen erfolgen. Das letztere ist vor allem bei höhermolekularen Stoffen der Fall. Die kohlenstoffheterotrophen Mikroorganismen können ihre Energie durch die Oxidation von organischen Stoffen unter aeroben oder auch unter anaeroben Bedingungen gewinnen. In den anoxischen Bereichen der Ostsee kommt es dabei zu Nitrat- und Sulfatatmung, die Denitrifikation und Desulfurikation bewirken. Diese Remineralisierung des organischen Materials wird durch chemoautotrophe Nitrifizierer und Schwefeloxidierer zu Ende geführt, die reduzierte anorganische Stickstoff- und Schwefelverbindungen zu Nitrat bzw. zu Sulfat oxidieren.

Diesen mikrobiellen Stoffumsetzungen war von Anfang an ein wesentlicher Teil der Arbeiten in der Abt. Marine Mikrobiologie gewidmet. Über einige der jüngeren Untersuchungen zu diesem Themenkreis wird im folgenden berichtet.

2.1 Heterotrophe Stoffumsetzungen von Bakterien im Meer

Hans-Georg Hoppe

Organische Stoffe im Meerwasser werden durch heterotrophe Bakterien aufgenommen und verarbeitet. Dabei stehen die Bakterien in Konkurrenz zu den Meerestieren, die ebenfalls von diesen Stoffen leben. Diese Konkurrenz besteht aber im wesentlichen nur um die partikulären Stoffe, die Verarbeitung der gelösten Wasserinhaltsstoffe ist weitgehend eine Domäne der Bakterien allein (Rheinheimer 1981). Die organische Substanz im Meerwasser ist primär partikulär, da sie von den Primärproduzenten gebildet wird. Die Primärproduzenten scheiden einen Teil der photoassimilatorisch gebildeten Substanz in Form von wasserlöslichen Exsudaten aus (Wolter 1982). Einleitungen im Küstenbereich können ebenfalls viele Partikel enthalten, sind aber im übrigen unterschiedlich präkonditioniert, d.h. ihre Inhaltsstoffe sind teilweise schon abgebaut. Um die organischen Partikel verwerten zu können, müssen Bakterien sie zuvor auflösen, in der Regel durch hydrolytische extrazelluläre Enzyme. Es hängt also von der Freßaktivität der partikelfressenden Tiere und von der hydrolytischen Aktivität der Bakterien ab, wie groß der Teil der organischen Substanz ist, der über die Bakterien in die Nahrungskette eingeht oder mineralisiert wird. Da Tiere auch noch lebende Primärproduzenten fressen, die im "gesunden" Zustand selten von Bakterien befallen werden, haben sie gegenüber den Bakterien einen Vorteil. Allerdings fallen ja auch die Ausscheidungen der Tiere hauptsächlich dem bakteriellen Abbau anheim.

Die Auflösung der organischen Partikel geschieht in der Regel durch "Spezialisten", die neben den weitverbreiteten hydrolytischen Eigenschaften auch noch andere, z.B. zur Festheftung an Oberflächen haben. Um die niedermolekularen Spaltprodukte des bakteriellen Partikelabbaus besteht eine starke Konkurrenz zwischen den meisten heterotrophen Mikroorganismen im Wasser. Diese Stoffe sind im Wasser gelöst, d.h. fast überall in geringen Konzentrationen verfügbar. Ohne direkt miteinander in Kontakt zu geraten, können davon Bakterien in großer Zahl und Artenvielfalt

leben. Sie werden als "freilebende" Bakterien, im Gegensatz zu den "angehefteten" Bakterien bezeichnet. Entscheidend für den Erfolg in der "indirekten" Konkurrenz zwischen diesen Bakterien ist der Grad ihrer Anpassung an das vorherrschende Nährstoffniveau. Da die Konzentrationen der einzelnen Nährstoffe unterschiedlich sein können, spielt auch die Präferenz für einzelne Stoffe eine Rolle und natürlich auch die Verträglichkeit der sonstigen Umweltbedingungen für die in Frage kommende Bakterien-spezies.

Die Zahl der im Wasser vorhandenen Bakterien kann seit der Einführung der Auflichtfluoreszenzmikroskopie (Zimmermann 1975) genau bestimmt werden. Die ermittelten Zahlen (in der westlichen Ostsee, z.B. $0,5 - 5 \times 10^6$ pro ml; Rheinheimer 1977) waren weit

Tabelle 1: Jahresgang der Gesamtbakterienzahl und der aktiven Bakterien ($\times 10^3 \text{ ml}^{-1}$) sowie deren Relation zueinander (in %) in der Kieler Förde.

Datum	7.4.	10.5.	14.6.	8.7.	3.8.	14.9.	13.10.	5.11.	7.12.	13.1.	22.2.	30.3.
Gesamtbakt.-zahl (GBZ)	2241	2193	4662	4490	2615	1599	956	1011	1367	908	907	1147
akt. Bakt.	282	1154	2602	2050	1628	360	364	335	111	252	243	673
% akt. Bakt von der GBZ	13	53	56	46	62	23	38	33	8	28	27	45

höher als zuvor angenommen. Es kann davon ausgegangen werden, daß die mikroskopisch nachgewiesenen Bakterien aus Meeresgebieten größtenteils heterotroph leben, es sei denn, sie stammten aus $\text{H}_2\text{S}/\text{O}_2$ Grenzbereichen. Cyanobakterien sind morphologisch und fluoreszenzanalytisch relativ leicht zu erkennen und die Zahl der autotrophen Nitrifikanten im Meerwasser wird als gering bezeich-

net (Watson and Waterbury 1971). Auch spätere Untersuchungen von Ward (1982) haben gezeigt, daß autotrophe Nitrifikanten zahlenmäßig verglichen mit dem Gesamtbakteriengehalt recht unbedeutend sind. Es ergab sich aber die Frage, ob die vorhandenen Bakterien unter natürlichen Bedingungen gleichzeitig an den quantitativ meßbaren heterotrophen Stoffumsetzungen beteiligt sind. Um dieses zu untersuchen, wurde eine Variante der Mikroautoradiographie entwickelt, die es erlaubt bei sehr niedrigen Additionen eines relativ universellen Substrates (^3H -Aminosäuren-Gemisch) zu natürlichen Wasserproben, die Stoffaufnahme einzelner Bakterien nachzuweisen (Hoppe 1976). Einige Ergebnisse über die Zahl der "aktiv metabolisierenden Bakterien" und ihre Relation zu den insgesamt vorhandenen Bakterien sind in Tab. 1 dargestellt. Es zeigt sich deutlich, daß keineswegs alle Bakterien zu dem Zeitpunkt der Probennahme als aktiv im Sinne der Substrataufnahme zu bezeichnen sind, und daß - hauptsächlich abhängig von der Temperatur - ein spezifischer Jahresgang besteht. Diese Tatsachen werden durch Untersuchungen mit ähnlichen oder anderen methodischen Ansätzen bestätigt (Meyer-Reil 1978, Zimmermann et al. 1978). Die ebenfalls mit radiochemischen Methoden gemessene quantitative Stoffaufnahme der Bakterien (Wright and Hobbie 1966; Gocke 1974, 1975, 1978) ist also höchstwahrscheinlich nur einem Teil der vorhandenen Bakterien zuzuschreiben. Dies hat natürlich Konsequenzen für die Berechnung der spezifischen Stoffaufnahmeaktivität einzelner Bakterienzellen. Es konnte mit Hilfe der Autoradiographie gezeigt werden, daß die spezifische Aufnahme geschwindigkeit für verschiedene Substrate bei Bakterien aus zwei Meeresgebieten und einem Fluß annähernd gleich ist. Eine Ausnahme bildet Acetat, daß von den Süßwasserbakterien des Flusses etwa 3 - 5 mal schneller aufgenommen wird (Hoppe 1978). Dies mag die hohe Kapazität zur Acetataufnahme in Meeresgebieten mit Süßwasserzufuhr erklären.

Der Zustand der nicht metabolisch aktiven Bakterien wird mit dem Ausdruck "bacterial dormancy" beschrieben. Dieser Zustand gehört sicher zu den in verdünnten Lösungen wichtigen Überlebensstrategien (Jannasch 1979) der Bakterien. Er bedarf, auch unter dem Aspekt der Reaktivierung, noch weiterer Aufklärung.

Ein anderer Aspekt, dessen Bearbeitung in der Abt. Marine Mikrobiologie besondere Beachtung erfährt, ist der enzymatische Abbau von makromolekularen Substraten und deren Relation zur heterotrophen Substrataufnahme (Hoppe 1986). Es ist nachgewiesen, daß manche Bakterien bestimmte Stoffe nicht zu hydrolysieren vermögen (z.B. Zellulose), wohl aber von deren Spaltprodukten leben. Die niedermolekularen Spaltprodukte können also nicht von ihnen selbst erzeugt werden, sondern sie müssen von der Tätigkeit anderer Mikroorganismen stammen. Diese Feststellung schließt ein, daß die Spaltprodukte von den hydrolysierenden Bakterien selbst nicht vollständig aufgenommen werden sondern (vorübergehend) in den Nährstoffgehalt des Meerwassers eingehen. Die wichtigsten Produzenten niedermolekularer Substrate sind wahrscheinlich an organische Partikel angeheftete Bakterien (Kim 1985), die in der westlichen Ostsee allerdings nur ca. 5% von den insgesamt vorhandenen Bakterien ausmachen (Zimmermann 1975). Ähnlich niedrige Anteile angehefteter Bakterien wurden auch in anderen Meeresgebieten gefunden (Kirchman und Mitchell 1982; Hoppe 1984) Es bedarf dringend einer Erklärung, warum organische Partikel oft nur in einem so geringen Maß von Bakterien besiedelt sind. Die freilebenden Formen besitzen vielfach auch hydrolytische Kapazitäten, sie leben aber teilweise auch von der Überschubproduktion der angehefteten Bakterien (Hoppe et al. 1988).

Die Messung der extrazellulären Enzymaktivität der Bakterien unter 'in situ' Bedingungen ist mit großen Schwierigkeiten verbunden, da es sich dabei um einen dynamischen Vorgang handelt, der von Substrat nachliefernden und verbrauchenden Prozessen abhängt. Durch die Verwendung von Modellsubstraten als "Tracer" für den hydrolytischen Abbau können diese Probleme umgangen werden. Die Nachweisgrenze für den Abbau der verwendeten fluorigenen Modellsubstrate (Methylumbelliferyl-Verbindungen) liegt sehr niedrig im nanomolaren Bereich. Allerdings können diese nur in beschränktem Maße Modelle für die von ihnen vertretenen Stoffklassen sein, da die Vielfalt der Verbindungen in den makromolekularen Stoffklassen sehr groß ist. Mit den fluorigenen Modellsubstraten sind quantitative Messungen verschiedener extrazellulärer Enzymaktivitäten (z.B. Peptidase-, α und β -Glucosida-

se-, Chitinase-Aktivität) der Bakterien im Meerwasser möglich (Hoppe 1983). es können auch in sehr einfacher Weise entsprechende Abbauaktivitäten von Bakterienkolonien ermittelt werden (Kim and Hoppe 1986). Leider bestehen noch keine Möglichkeiten, einen Nachweis über extrazelluläre Enzymaktivitäten von einzelnen Zellen zu führen. Dieser würde, analog zu dem Verfahren mit den "metabolisch aktiven" Bakterien zu einer besseren Zuordnung der quantitativen Aktivitätsmessung führen.

Die gemessene Enzymaktivität in Wasserproben läßt sich ziemlich eindeutig den Bakterien zuordnen (Tab. 2). Teilweise finden sich die Enzyme aber auch in der partikelfreien Wasserphase und auch an den Partikeln selbst, wo sie wahrscheinlich mit den anheftenden Bakterien assoziiert sind (Hollibaugh und Azam 1983). Nur Phosphatasen findet man hauptsächlich in gelöster Form oder an Partikelgrößen, die überwiegend dem Phytoplankton zuzuordnen sind.

Tabelle 2: Verteilung der extrazellulären Enzymaktivität für verschiedene Stoffklassen im Größenspektrum der partikulären Wasserinhaltsstoffe bzw. Organismen. %-Anteil von der Gesamtaktivität in der jeweiligen Größenklasse.

Extrazelluläre Enzyme	Größenklassen (in μm)					
	<0.2	0.2-1 ^a	1-3 ^a	3-8	8-56	56-200
Peptidasen	17	41	5	8	17	12
α -Glucosidasen	0	67	17	0	0	15
β -Glucosidasen	4	72	24	0	0	0
N-Acetylglucosaminidase	4	35	62	0	0	0
Phosphatasen	33	14	0	12	17	24
Lipasen	16	39	0	3	6	37

^{a)} in diesen Größenklassen befinden sich die freilebenden Bakterien.

Von den gemessenen Enzymaktivitäten war die Amino-Peptidaseaktivität stets am höchsten, gefolgt von der N-Acetylglucosaminidase (Chitinase)- und der α - und β -Glucosidaseaktivität. Die Enzymaktivitäten unterliegen, ähnlich wie die Substrataufnahme einem Jahresgang, der hauptsächlich von der Wassertemperatur und dem Auftreten von Planktonblüten abhängt (Abb. 1). Ähnlich verhält es sich mit den Hydrolyseraten (H_R) für die polymeren Wasserinhaltsstoffe (H_R , gemessen in $\% h^{-1}$, bezeichnet den %-Anteil von dem Gesamtgehalt eines polymeren Stoffes im Wasser, der in 1 Std. hauptsächlich durch Bakterien hydrolysiert wird). Die Hydrolyseaktivitäten gehen im Winter auf etwa 1/20 der höchsten Werte im Frühsommer zurück. Dies ist bei einer Temperaturänderung um ca. 20 °C eine unerwartet starke Erniedrigung, die wohl damit zusammenhängt, daß unterhalb von ca. 10 °C Wassertemperatur erheblich höhere Aktivierungsenergien für die Enzyme erforderlich sind. Die Hydrolyseraten für Peptide in einer Ostseeförde liegen zwischen 0,07 $\% h^{-1}$ im Winter und 2,2 $\% h^{-1}$ im Frühsommer. Die entsprechenden Turnover-Raten für Leucin liegen zwischen 0,3 $\% h^{-1}$ und 12,1 $\% h^{-1}$. Daraus kann geschlossen werden, daß die Gesamtheit der Peptide (soweit sie durch das Modellsubstrat repräsentiert werden) in der Regel langsamer abgebaut wird als der Gehalt des Wassers an Aminosäuren (wenn Leucin als repräsentativ auch für andere Aminosäuren angesehen wird). Dies gilt für das Pelagial, es kann sein, daß durch die Bakterienaktivität im Sediment die Bilanz insgesamt ausgeglichen wird (Hinweise darauf geben Arbeiten von Kim (1985) und Meyer-Reil (1986)).

Von besonderem Interesse für die Ökologie von marinen Gewässern ist es, wenn H_2S aus dem Sediment in der Wassersäule gelangt. Diese Verhältnisse werden in dieser Publikation an anderer Stelle beschrieben (Gocke, Kap. 2.2.). Hier soll auf Veränderungen eingegangen werden, die der bakterielle Abbau von polymeren Naturstoffen durch H_2S erfährt. Versuche dazu wurden im Labor durchgeführt, da der Übergang von oxischen zu anoxischen Verhältnissen und umgekehrt am besten in Experimenten simuliert werden kann (Hoppe 1986).

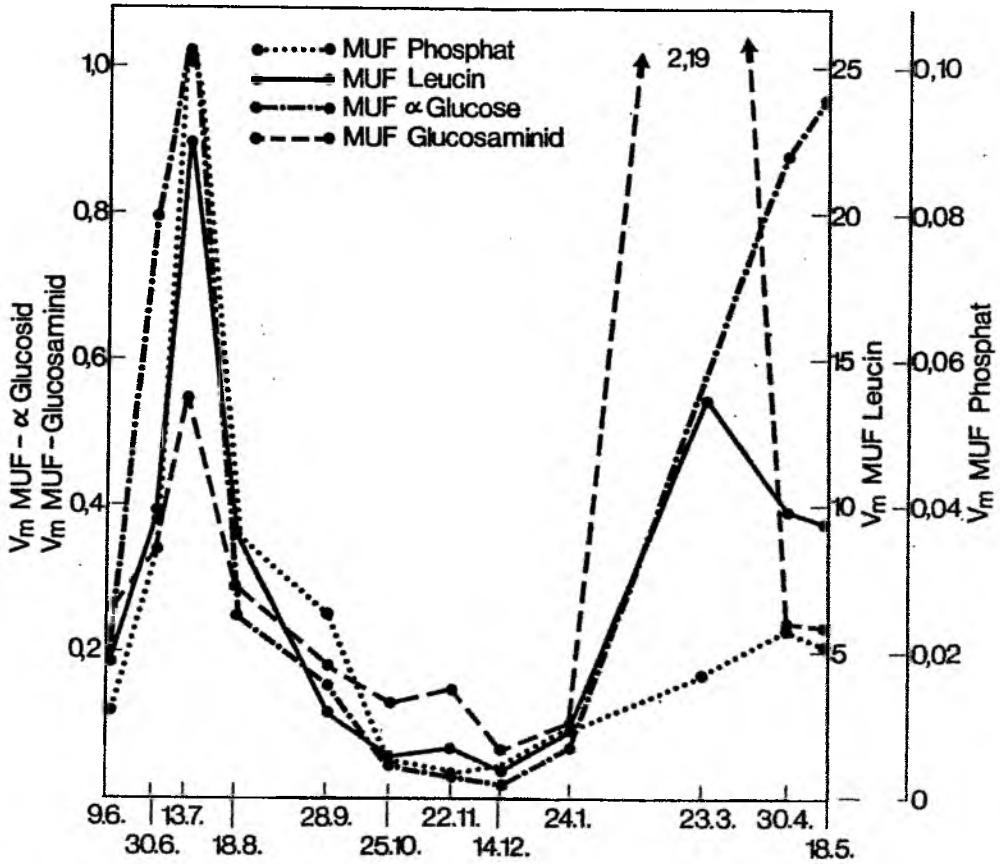


Abb. 1: Jahresgang der maximalen Hydrolysegeschwindigkeit für verschiedene oligomere Substratklassen, z.B. Peptide, α -glucosidische Verbindungen, chitinartige Verbindungen, organische Phosphorverbindungen. $V_m = \mu\text{g C l}^{-1}\text{h}^{-1}$ oder, $\mu\text{g P l}^{-1}\text{h}^{-1}$.

Tabelle 3: Der Einfluß anoxischer Bedingungen auf natürliche aerobe Bakterienpopulationen aus dem Brackwasser der Kieler Förde. Parallelinkubation einer Wasserprobe oxisch und anoxisch (H_2S). Die jeweils erste Zahlenkolonne zeigt die Werte nach 1 Std. Inkubation, die Werte in () wurden nach 24 Std. gemessen.

Parameter	oxisch	anoxisch (H_2S)
1) Saprophyten	5,700 (22,400)	6,400 (14,920)
1) Gesamtbakterienzahl ($\times 10^6$)	3.06 (4.59)	2.84 (2.31)
1) aktive Bakterien ($\times 10^3$)	143 (622)	6 (2.6)
2) V_m (Glukose)	0.54 (2.03)	0.01 (0.03)
% Respiration	27.4 (31.3)	39.3 (27.8)
3) Peptidase	2.17 (3.37)	0.81 (0.67)
3) α -Glucosidase	0.62 (0.90)	0.13 (0.18)
3) β -Glucosidase	0.55 (0.88)	0.18 (0.19)
3) N-acetyl-glucos- aminidase	0.53 (0.59)	0.37 (0.39)
3) Phosphatase	1.57 (1.04)	1.38 (0.87)

1) Zahlen pro ml, 2) maximale Aufnahmegeschwindigkeit, $\mu g C_{Glucose} l^{-1} h^{-1}$,
3) relative Fluoreszenz-Einheiten, Zunahme der Fluoreszenz pro Stunde.

Als Beispiel aus einer Serie von Versuchen werden hier die

Ergebnisse eines Experimentes angeführt, bei dem Oberflächenwasser aus einer Ostseeförde mit Na_2S versetzt wurde, so daß sich ein H_2S -Gehalt von ca. $30 \mu\text{M}$ entwickelte (Tab. 3). Im Vergleich zur oxischen Kontrolle zeigen die Bakterienzahlen (Saprophyten, Gesamtbakterienzahl) am Versuchsbeginn noch keine Reduzierung in dem H_2S -Ansatz. Nach 24 Std. Inkubation sind die Zuwächse jedoch viel niedriger als in der oxischen Kontrolle. Die "metabolisch aktiven" Bakterien gehen dagegen sofort sehr stark zurück, genau so wie die heterotrophe Glucoseaufnahme (V_m), und es kommt auch zu keiner Erholung während der Inkubationszeit. Die gemessenen extrazellulären Enzymaktivitäten werden auch sofort durch H_2S beeinträchtigt. Allerdings gehen sie relativ zur oxischen Kontrolle viel weniger stark zurück (ca. 30 - 70 %) als die Substrataufnahme. Bezogen auf die aktuelle Situation in betroffenen Wasserkörpern im Meer könnte dies bedeuten, daß es beim Auftreten von H_2S (vorübergehend) zu einer Anhäufung von niedermolekularen Stoffen kommt, da die Enzymaktivität nur teilweise gehemmt wird, die Substrataufnahme aber fast völlig zum Erliegen kommt. Die verschiedenen Enzymaktivitäten werden durch H_2S in unterschiedlichem Maß gehemmt. Weiterführende Versuche haben gezeigt, daß die extrazelluläre Enzymaktivität bei Wiederbelüftung anoxisch adaptierter Bakterien nur langsam wieder auf die Werte einer oxischen Kontrolle ansteigt. Die Substrataufnahme dagegen regeneriert sehr schnell unter den gegebenen Versuchsbedingungen (Hoppe et al. 1988).

Für den Abbau der makromolekularen organischen Substanz spielt sicher das Sediment und die darüberliegende Wasserschicht eine bedeutende Rolle, da das sedimentierte partikuläre Material sich dort anreichert. Deswegen wird die bodennahe Wasserschicht jetzt mit einem speziell dafür konstruierten Wasserschöpfer mikrobiologisch untersucht. Ausgehend von der These, daß angeheftete Bakterien an Partikeln größere Mengen niedermolekulare Stoffe freisetzen als sie selber verbrauchen, wird erwartet, daß in dieser Wasserschicht ein großer Teil der im Wasser gelösten organischen Stoffe entsteht. Es ist allerdings zu beachten, daß die sedimentnahe Wasserschicht, anders als das Sediment selbst, stark den jeweiligen hydrographischen Bedingungen ausgesetzt ist, welche zu

Vermischungen mit anderen Wasserkörpern führen können. Gerade diese Verhältnisse aber tragen zum Export von präkonditionierter organischer Substanz in Wasserkörpern mit ggf. geringerer Bakterienaktivität bei.

Die Primärbesiedlung von organischen und anorganischen Oberflächen erfolgt durch Bakterien und niedere Gewässerpilze. Sie ist zunächst sehr von Zufallseignissen abhängig, in späteren Stadien entwickelt sich eine spezifische Aufwuchsflora, die einerseits in der Regel eine hohe metabolische Aktivität besitzt, andererseits aber stark dem Wegfraß (grazing) von Protozoen ausgesetzt ist. In diesem Zusammenhang ist es interessant, die Entwicklung der Abbauaktivität der angehefteten Bakterienflora zu untersuchen und diese in Relation zu der Aktivität der Bakterien im umgebenden Wasser zu setzen (Hoppe 1984). Schadstoffe können bei sehr niedrigen Konzentrationen fördernde, in der Regel bei höheren Konzentrationen aber sehr negative Auswirkungen auf die bakterielle Stoffaufnahme und Enzymaktivität und damit auf den Stoffumsatz in marinen Gewässern haben. Teilweise neigen sie zur Adsorption an Oberflächen. Untersuchungen des Schadstoffeinflusses auf die Mikrobepopulation im Bereich von Mikrohabitaten sind daher sowohl unter ökologischen als auch unter anwendungsbezogenen Gesichtspunkten dringend erforderlich.

Im Mikrozonbereich spielt sicher auch die bakterielle Chemotaxis eine wichtige Rolle für das Auffinden günstiger Nährstoffgradienten. Die sehr empfindliche fluorimetrische Methode zum Nachweis von extrazellulären Enzymaktivitäten in Zusammenhang mit neueren Entwicklungen geeigneter Apparate könnte hier ein wichtiges Hilfsmittel sein, um die Wirkung verschiedener Substanzen auf die Chemotaxis zu prüfen. Es ist gut möglich, daß die Wirkung von Enzymen, die in die unmittelbare Umgebung der Bakterien abgegeben werden, eine Rolle bei der Richtung der chemotaktischen Bewegung spielt.

Literatur

- Hollibaugh, J.T. and F. Azam (1983): Microbial degradation of dissolved proteins in seawater. *Limnol. Oceanogr.* **28**, 1104-1116.
- Jannasch, H.W. (1979): Microbial ecology of aquatic low nutrient habitats. In: M. Shilo (ed.): *Strategies of microbial life in extreme environments.* 243 - 260, Berlin: Dahlem Konferenzen.
- Kirchman, D. and R. Mitchell (1982): Contribution of particle-bound bacteria to total microheterotrophic activity in five ponds and two marshes. *Appl. Environ. Microbiol.* **43**, 200 - 209.
- Ward, B.B. (1982): Oceanic distribution of ammonium-oxidizing bacteria determined by immunofluorescent assay. *J. of Mar. Res.* **40**, 1155 - 1172.
- Watson, S.W. and J.B. Waterbury (1971): Characteristics of two marine nitrite oxidizing bacteria, *Nitrospina gracilis* nov. gen. nov. sp. and *Nitrococcus mobilis* nov. gen. nov. sp. *Arch. Microbiol.* **77**, 203 - 230.
- WRIGHT, R.T. and J.E. Hobbie (1966): Use of glucose and acetate by bacteria and algae in aquatic ecosystems. *Ecology* **47**, 447 - 464.

2.2. Bakterielle Stoffaufnahme im aeroben und anaeroben Milieu der Ostsee

Klaus Gocke

In weiten Bereichen der zentralen Ostsee findet sich anoxisches Tiefenwasser, in dem zum Teil hohe Konzentrationen des giftigen Schwefelwasserstoffes auftreten. Damit sind diese Gebiete lebensfeindlich für höhere Organismen, nur bestimmte spezialisierte Lebewesen, insbesondere einige Bakteriengruppen vermögen hier zu existieren. Die Ursache für das Vorkommen von H_2S ist die Sauerstoffzehrung infolge Respiration der Lebewesen insbesondere der Bakterien. Denn nach dem vollständigen Verschwinden des Sauerstoffs kann sich Schwefelwasserstoff durch dissimilatorische Sulfatreduktion bilden. Dieser Prozeß wird von hochspezialisierten Bakterien, den Sulfatreduzierern, durchgeführt. Die Voraussetzung für Sauerstoffschwund und H_2S -Bildung ist eine fehlende oder unzureichende Nachlieferung von Sauerstoff.

Diese Bedingung ist in der zentralen Ostsee gegeben, in der eine stabile Dichteschichtung aufgrund des Salzgehaltes verhindert, daß sich das O_2 -reiche Oberflächenwasser mit dem Tiefenwasser mischt. Nach Fonselius diffundieren durch die permanente Halokline, die im Gotlandtief bei ca. 70 m liegt, pro Tag nur ca. 70 g O_2 m^{-2} , eine Menge die bei weitem nicht ausreicht, um die Sauerstoff-Zehrung zu kompensieren.

Zu einem größeren Sauerstoffeintrag kann es in der Gotlandsee wie auch in den weiter westlich gelegenen Gebieten der Ostsee nur durch laterale Zuführung von O_2 -haltigem Wasser kommen. Dieser Prozeß tritt im Westen regelmäßig auf, kommt in der Gotlandsee jedoch nur sporadisch vor. Da die letzte größere Erneuerung des Tiefenwassers, die zu oxischen Bedingungen im Tiefenwasser des Gotlandtiefs führte, 1977 auftrat, kam es bereits 1978 zu anoxischen Bedingungen, die schließlich zu den noch andauernden Verhältnissen mit hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen führten.

Anoxische Verhältnisse treten gelegentlich auch in küstennahen

Gewässern auf. So kam es 1981, 1982 und 1986 in der Kieler Förde zu Fischsterben (Ehrhardt und Wenk 1984; Kils 1986), die das Problem des Sauerstoffschwundes in der Ostsee in das Bewußtsein der Öffentlichkeit brachten. Dies war ein Anlaß, sich intensiver mit der Mikrobiologie und dem Chemismus der anoxischen Zonen der Ostsee zu beschäftigen.

Die Abteilung Marine Mikrobiologie des Instituts für Meereskunde führte zwischen 1982 und 1988 vier größere Forschungsreisen mit FS "Poseidon" bzw. FK "Alkor" in die Ostsee durch. Das wichtigste Ziel der Reisen war das Studium der regionalen und vertikalen Verteilung der heterotrophen Mikroorganismen in Abhängigkeit von biotischen und abiotischen Faktoren. Der Schwerpunkt dieser Untersuchungen lag in der Gotlandsee, in deren Tiefenwasser seit 1978 anoxische Verhältnisse herrschten. Daher konnte hier besonders gut die Anpassung der Mikroorganismen an langfristig herrschende Schwefelwasserstoffverhältnisse studiert werden.

Bei der ersten Fahrt im Jahre 1982 erfolgten zunächst orientierende Untersuchungen. In 10 verschiedenen Tiefen wurden Wasserproben genommen, um Bakterienzahl, bakterielle Aktivität sowie O_2^- , H_2S^- und die Nährstoffkonzentrationen (insbesondere die der anorganischen gelösten Stickstoffkomponenten) zu ermitteln.

Die Bestimmung der Gesamtbakterienzahl erfolgte mit dem Auflicht-Fluoreszenzmikroskop (Zimmermann und Meyer-Reil 1974). Als ein Maß für die bakterielle Aktivität wurde die maximale Aufnahmegeschwindigkeit gelöster niedermolekularer Verbindungen (Glukose und Acetat) mit Hilfe radioaktiv markierter Substanzen bestimmt. Es wurde mit Substratkonzentrationen gearbeitet, die oberhalb der Sättigungskonzentration lagen, so daß mit diesen Messungen nur die maximale Aufnahmegeschwindigkeit - also eine potentielle Aktivität - erhalten wird, die jedoch von den in situ-Bedingungen wie Temperatur, O_2 -Konzentration usw., beeinflusst wird (Wright und Hobbie, 1966; Gocke 1977). Als weiteres Maß für die bakterielle Aktivität wurde die Turnover-Rate der o.g. Verbindungen herangezogen. Sie zeigt uns, wieviel Prozent der in der Probe natürlich vorhandenen gelösten Glukose (bzw. Acetat) von den

Bakterien pro Tag umgesetzt werden. Statt der Turnover-Rate wird häufig auch die Turnover-Zeit angegeben. Sie gibt an, wie lange es unter in situ-Bedingungen dauert, bis z.B. eine Menge von gelöster Glukose, die der Konzentration der natürlich vorhandenen Menge dieser Substanz in der Wasserprobe entspricht, einmal von den Bakterien umgesetzt wird.

Die Untersuchungen im Jahre 1982 brachten ein den Erwartungen entsprechendes Ergebnis. In der durchmischten Deckschicht wurden relativ hohe Bakterienzahlen, maximale Aufnahmegeschwindigkeiten und Turnover-Raten beobachtet. Unterhalb der Thermokline nahmen die Werte deutlich ab und zeigten anschließend mit zunehmender Tiefe keine größeren Veränderungen (Rheinheimer et al. 1989). Dieses Ergebnis wäre nicht besonders erwähnenswert, wenn nicht weitere Untersuchungen in den folgenden Jahren gezeigt hätten, daß die Tiefenverteilung der Bakterien erheblich komplizierter ist. Denn die vertikale Uniformität war die Folge eines nicht genügend dichten Probenabstandes, bei dem die besonders interessanten Wassertiefen nicht erfaßt wurden.

1984 erfolgte daher eine erneute, detaillierte Untersuchung im Gotlandtief, die sich besonders mit den mikrobiellen Prozessen in der Chemokline, das heißt im Übergangsbereich zwischen dem oxidischen und anoxischen Wasserkörper befaßte. Die Chemokline lag damals in etwa 150 m Wassertiefe. Hier zeigte sich plötzlich ein deutlicher Anstieg der Bakterienzahlen und der bakteriellen Aktivität, der allerdings auf eine relativ dünne Wasserschicht von wenigen Metern beschränkt blieb (Abb. 1). Besonders auffallend war hier das deutliche Überwiegen der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit von Acetat gegenüber den beiden anderen untersuchten Verbindungen Glukose und Laktat. Die Bakterienzahlen, die in dem darüber liegenden Winterwasser zwischen 0.4 und 0.8×10^6 Zellen ml^{-1} lagen, stiegen in der Chemokline auf 1.8×10^6 Zellen ml^{-1} an (Gast und Gocke 1988). Im anoxischen Wasserkörper unterhalb der Chemokline erfolgte zunächst ein Rückgang und in größerer Tiefe wieder ein langsamer Anstieg der Bakterienzahlen. Einhergehend mit den Veränderungen der Bakterienzahlen zeigte sich ein Anstieg des mittleren Zellvolumens der Bakterien. Es betrug

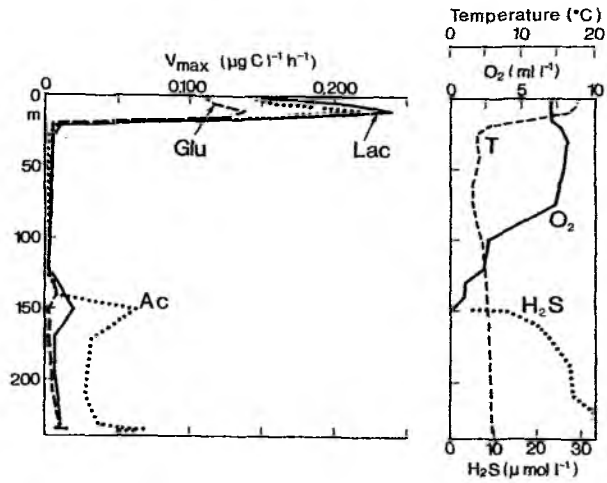


Abb. 1: Vertikalverteilung der maximalen Aufnahmege-
 schwindigkeit (V_{max}) von Glukose (Glu), Laktat
 (Lac) und Acetat (Ac) im Gotlandtief gemessen
 im August 1984.

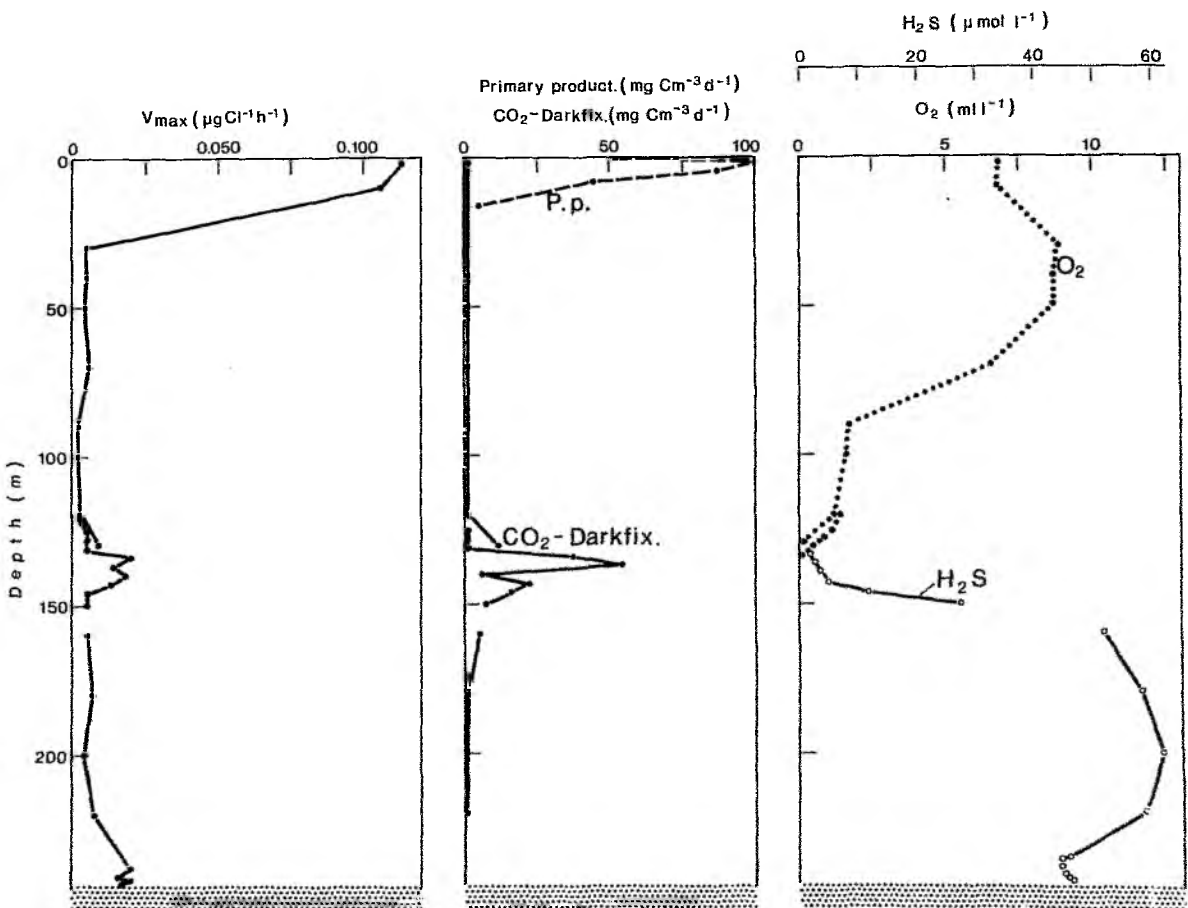


Abb. 2: Vertikalverteilung der maximalen Aufnahmege-
 schwindigkeit (V_{max}) von Glukose, der Primär-
 produktion (P.p.) und der CO_2 -Dunkelfixierung im
 Gotlandtief im August 1986.

im oxischen Bereich $0.1 \mu\text{m}^3$, stieg in der Chemokline auf das Doppelte an und betrug in den anoxischen tieferen Wasserschichten $0.3 \mu\text{m}^3$ (Gast und Gocke 1988). Diese Beobachtungen sowie die ermittelten Saprophytenzahlen weisen deutlich auf eine Veränderung der Zusammensetzung der Bakterienflora hin.

Der Anstieg der Bakterienzahlen sowie die deutlich erhöhte bakterielle Aktivität in der Chemokline lassen vermuten, daß in dieser Wasserschicht günstige Bedingungen für die hier vorherrschende Mikroflora, insbesondere ein erhöhtes Angebot an organischer Substanz, vorliegen. Da die Chemokline sich nicht durch einen deutlichen Anstieg der Dichte auszeichnet, in der sich partikuläres, aus der photischen Zone stammendes, organisches Material ansammelt, müssen andere Prozesse hierfür verantwortlich sein. Der Schluß liegt deshalb nahe, daß die bakterielle Chemosynthese der Prozeß ist, der das biologische Geschehen in der Chemokline bestimmt. In erster Linie ist hier an die Oxidation von H_2S und NH_4 , die beide in relativ hohen Konzentrationen vorliegen, zu denken.

Eines der wichtigsten Ziele der beiden Forschungsreisen in den Jahren 1986 und 1988 war es deshalb, die bakterielle Chemosynthese im Gotlandtief zu messen. Darüberhinaus galt es, die bisherigen Befunde hinsichtlich der Höhe der Bakterienzahlen und der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit zu überprüfen. Als Maß für die Chemosynthese wurde die CO_2 -Dunkelfixierung (gemessen mit Hilfe von radioaktivem Bikarbonat) herangezogen. Da CO_2 auch von heterotrophen Bakterien in geringem Maße inkorporiert wird, führt die Methode zu einer gewissen Überschätzung der Chemosynthese. Diese dürfte allerdings im vorliegenden Fall sehr gering sein. Denn oberhalb und unterhalb der Chemokline, wo es entweder kaum reduzierte Verbindungen gibt oder kein Sauerstoff vorhanden ist, konnten nur äußerst geringe Dunkelfixierungsraten gemessen werden.

1986 wurde direkt in der Chemokline, zusammen mit einer deutlich erhöhten maximalen Aufnahmegeschwindigkeit von Glukose eine CO_2 -Fixierungsrate von etwas mehr als $50 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ gemessen (Abb.

2). Dieser außerordentlich hohe Wert ist wahrscheinlich eine Ausnahme, wie Vergleiche mit den Messungen von 1988 und auch mit den Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen an andere Standorten vermuten lassen. So bestimmten Sorokin (1972) maximale CO_2 -Dunkelfixierungsraten von $7 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ im Schwarzen Meer und Juniper und Brinkhurst (1986) von $24 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ im Saanich Inlet, Kanada. In bestimmten Wasserkörpern können allerdings sehr hohe Werte auftreten, wie Jörgensen et al. (1979) im Solar Lake, Sinai, und Indrebo et al. (1979) im Saelenvann, Norwegen, fanden.

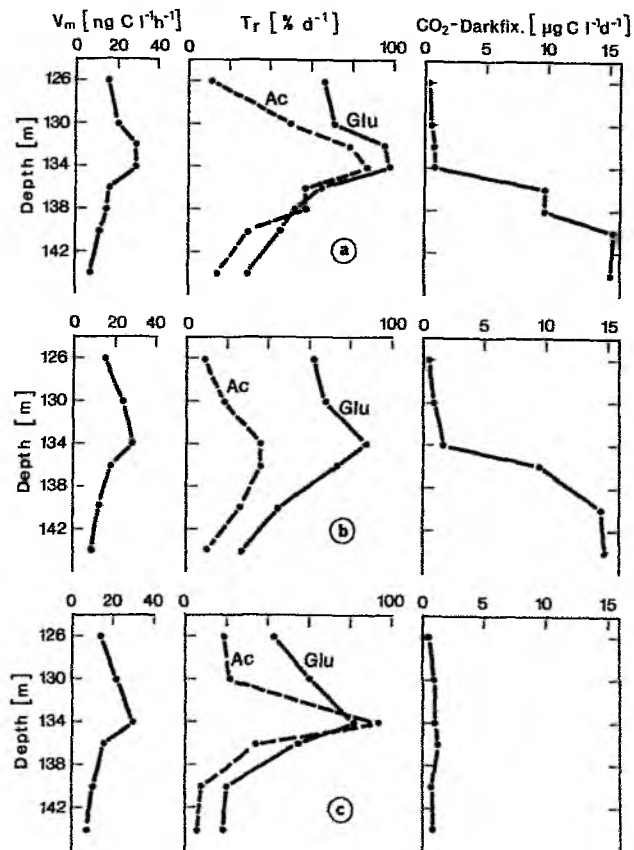


Abb. 3 Vertikalverteilung der maximalen Aufnahmegeschwindigkeit (V_{max}) von Glukose, der Turnover-Raten (T_r von Glukose (Glu) und Acetat (Ac) sowie der CO_2 -Dunkelfixierung in der Chemokline des Gotlandtiefs im Juli 1988. (a) Messung unter in situ O_2 bzw. H_2S -Konzentration, (b) Messung nach geringer Anreicherung mit O_2 , (c) Messung nach kräftiger Belüftung und Eliminierung des H_2S .

Interessant sind die eigenen Beobachtungen sowie die von Tuttle und Jannasch (1973), daß auch unterhalb der Tiefe, in der noch Sauerstoff nachweisbar ist, CO_2 in nicht geringem Maße inkorporiert wird. Juniper und Brinkhurst (1986) fanden hier sogar die höchsten Werte. Möglicherweise liegen hier kleinste O_2 -Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze oder andere Elektronenakzeptoren vor (Juniper und Brinkhurst 1986; Tuttle und Jannasch 1973). Im Gotlandtief ist die Menge an Sauerstoff nicht der limitierende Faktor für die CO_2 -Dunkelfixierung. Denn auch im offensichtlich anoxischen Bereich der Chemokline führte eine geringe experimentelle Beimischung von O_2 zu keiner Erhöhung der Fixierungsrate. Andererseits bewirkte die experimentelle chemische Oxydation von H_2S durch starke Belüftung der Proben, daß die CO_2 -Fixierung auf ganz geringe Werte zurückging (Abb. 3). Offensichtlich spielt also die mikrobielle Oxidation von NH_4^+ im Gotlandtief verglichen mit der von H_2S nur eine untergeordnete Rolle.

Es wird ein lohnendes Ziel weiterer Untersuchungen in der Ostsee sein, die mikrobiologischen Prozesse in der Chemokline noch intensiver zu studieren. Insbesondere sollten Untersuchungen über die Zusammensetzung der Bakterienflora (Sulfatreduzierer, H_2S -oxidierende Bakterien) die bisherigen Arbeiten ergänzen.

Literatur

- Ehrhardt, M. and A. Wenck (1984): Wind pattern and hydrogen sulfide in shallow waters of the Western Baltic Sea, a cause and effect relationship? *Meeresforsch.* 30, 101 - 110.
- Indrebo, G., B. Pengerud and I. Dundas (1979): Microbial activities in a permanently stratified estuary. II. Microbial activities at the oxic-anoxic interface. *Mar. Biol.* 51, 305 - 309.
- Jørgensen, B.B., J.G. Kuenen and Y. Cohen (1979): Microbial transformation of sulfur compounds in a studied lake (Solar Lake, Sinai). *Limnol. Oceanogr.* 24, 799 - 822.
- Juniper, S.K. und R.O. Brinkhurst (1986): Water-column dark CO_2 fixation and bacterial-mat growth in intermittently anoxic Saanich Inlet, British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 33, 41 - 50.

- Kils, U. (1986): Verhaltensphysiologische Untersuchungen an pelagischen Schwärmen - Schwarmbildung als Strategie zur Orientierung in Umweltgradienten - Bedeutung der Schwarmbildung in der Aquakultur. Ber. Inst Meereskunde, Kiel 163, 168 S.
- Sorokin, Y.I. (1972): The bacterial population and the process of hydrogen sulphide oxidation in the Black Sea. J. Cons. int. Explor. Mer. 34, 423 - 455.
- Tuttle, J.H. und H.W. Jannasch (1973): Sulphide and thiosulfate - oxidizing bacteria in anoxic marine basins. Mar. Biol. 20, 64 - 71.
- Wright, W.T. und J.E. Hobbie (1966): Use of glucose and acetate by bacteria and algae in aquatic ecosystems. Ecology 47, 447 - 464.

2.3. Mikrobielle Aktivitäten in Sedimenten der Kieler Bucht

Lutz-Arend Meyer-Reil

Während der letzten zehn Jahre hat die Mikrobiologie mariner Sedimente zunehmend an Interesse gewonnen. Küstenregionen spielen eine wichtige Rolle als Erholungsgebiete und werden intensiv industriell genutzt (z.B. Schiffsverkehr, Fischfang, Abwassereinführung, Ölförderung). Die Sedimente in diesen Gebieten wurden als bedeutende Orte der Regenerierung von Nährstoffen erkannt, die die Grundlage für die Primärproduktion im Wasser bilden.

In der Anfangsphase orientierte sich die marine Sedimentmikrobiologie methodisch an Konzepten und Techniken, die für die Mikrobiologie des Wassers und des Bodens entwickelt wurden. Um den Besonderheiten des Lebensraumes Sediment Rechnung zu tragen, mußten die bestehenden Techniken modifiziert werden. Die Bestimmung der Anzahl von Bakterien gründete sich zunächst ausschließlich auf Kulturverfahren, in denen die Sedimentproben homogenisiert, verdünnt und mit Nährmedien angereichert wurden. Durch diese Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß auf Platten kultivierbare Bakterien ("Saprophyten") in bedeutender Zahl und Vielfalt marine Sedimente besiedeln (Literatur bei Rheinheimer 1984). Die weitere Erforschung der Mikrobiologie mariner Sedimente erfolgte im wesentlichen in zwei Richtungen, die sich zunehmend getrennt voneinander entwickelten: Analyse von Stoffwechselzyklen und Untersuchungen der Bakterienpopulationen hinsichtlich ihrer Zahl, Biomasse und Aktivität.

Neue mikroskopische Techniken haben Untersuchungen an benthischen Bakterienpopulationen ermöglicht, die in den vergangenen Jahren dazu beitrugen, unsere Kenntnisse über die mikrobielle Besiedlung sowie über die Zahl und Biomasse der Bakterien beträchtlich zu erweitern. Mit Hilfe der Licht- und Rasterelektronenmikroskopie gelang eine topographische Erfassung der mikrobiellen Besiedlung in Abhängigkeit von Größe und Beschaffenheit der Sedimentpartikel (vergl. Meadows and Andersen 1966; Weise and Rheinheimer 1978;

Cammen 1982; DeFlaun and Mayer 1983). Durch die Fluoreszenzmikroskopie, die zunächst für die Färbung von Bakterien in Wasserproben beschrieben wurde (Zimmermann and Meyer-Reil 1974), konnte die Gesamtbakterienzahl und Biomasse in marinen Sedimenten ermittelt werden. Aufgrund ihrer Biomasse wurden die Bakterien als eine wichtige Komponente in der Nahrungskette mariner Sedimente erkannt (Dale 1974; Rublee 1982; Meyer-Reil 1983, 1987 b).

Untersuchungen der verschiedenen Aspekte bakterieller Aktivität erbrachten den Nachweis, daß den Bakterien eine dominierende Rolle im Stoffkreislauf mariner Sedimente zukommt. Durch extrazelluläre Enzyme, die im wesentlichen dem bakteriellen Stoffwechsel entstammen, wird partikuläres organisches Material in niedermolekulare Komponenten zerlegt (Hoppe 1983; Meyer-Reil 1983, 1987 a; King 1986), die von den Bakterien schnell umgesetzt werden (Meyer-Reil 1978; Griffiths et al. 1978; Meyer-Reil et al. 1978, 1980; King et al. 1983; Novitsky 1983 a, b; Meyer-Reil 1987). Ein Teil der aufgenommenen Substrate wird respiriert, ein anderer Teil in bakterielle Biomasse inkorporiert, so daß den Bakterien neben ihrer Rolle als Remineralisierer eine besondere Bedeutung als Produzenten partikulären organischen Materials zuzuschreiben ist.

Die Bestimmung bakterieller Produktionsraten sowie die Ermittlung der Effektivität des Abbaus organischen Materials durch Bakterien gewinnt immer mehr wissenschaftliches Interesse (Craven and Karl 1984; Pollard and Moriarty 1984; Kirchman et al. 1986; Meyer-Reil 1986 a) In diesem Stadium der Wertschätzung neuer Methoden gewinnt die vergleichende Untersuchung der verschiedenen Aspekte bakterieller Aktivitäten besondere Bedeutung (Fallon et al. 1983; Griffiths et al. 1983; Novitsky and Karl 1986; Meyer-Reil 1987 b). Dieser Beitrag beschäftigt sich mit einer zusammenfassenden Darstellung von Untersuchungen der Zahl, Biomasse und Aktivität von Bakterien in Sedimenten der Kieler Bucht (Stationen "Hausgarten" und "Gabelsflach"). Ziel der Untersuchungen war es, ein umfassendes Bild der bakteriellen Entwicklung sowie ihrer Beeinflussung durch Umweltparameter zu gewinnen. Hierzu waren zunächst methodische Entwicklungen notwendig, um den Besonderheiten der

mikrobiellen Besiedlung von Sedimenten Rechnung zu tragen. In der Folge dienten die entwickelten Methoden dann als Grundlage für ausgedehnte Felduntersuchungen.

Bakterienzahl und Biomasse

Zur Bestimmung der Gesamtbakterienzahl und Biomasse im Sediment wurde die Epifluoreszenzmikroskopie, die zunächst für die Färbung von Bakterien in Wasserproben entwickelt wurde (Zimmermann and Meyer-Reil 1974), modifiziert. Da eine direkte quantitative Bestimmung der Zellzahl auf den Sedimentpartikeln nicht möglich war, mußten die Bakterien von den Partikeln abgelöst und vereinzelt werden. Hierzu erwies sich das Homogenisieren des Sedimentes mit Ultraschall als die zuverlässigste Methode. Die verdünnte Probe kann dann mit Fluoreszenz-Farbstoffen gefärbt werden. Acridinorange ergibt gegenüber anderen Farbstoffen zwar einen ausgezeichneten Kontrast, jedoch werden auch Partikel unspezifisch angefärbt, so daß die Differenzierung von Bakterienzellen in Sedimentproben nicht immer eindeutig ist. Für Biomassebestimmungen werden von charakteristischen Gesichtsfeldern Dias angefertigt, die projiziert werden und auf denen mit Hilfe eines Auswertegerätes die Zellen vermessen werden können (Meyer-Reil 1983). Problematisch ist die Extrapolation von Biovolumen auf Biomasse, da die in der Literatur gebräuchlichen Umrechnungsfaktoren erheblich schwanken (Meyer-Reil 1987 b).

Die in Sedimenten der Kieler Bucht ermittelten Bakterienzahlen (zwischen 10^8 und 10^{11} pro g Trockengewicht Sediment) liegen in dem Bereich, der für vergleichbare Sedimente verschiedener Meeresgebiete auch in der Literatur angegeben ist (vergl. Dale 1974; Griffiths et al. 1978; Meyer-Reil et al. 1978; Kepkay et al. 1979; Weise and Rheinheimer 1978; Meyer-Reil et al. 1980; Meyer-Reil 1983, 1986 a). Das bedeutet, daß die Zellzahlen im wesentlichen durch die Art des Sedimentes (Sand, Schlick) und weniger durch den geographischen Bereich geprägt werden. Sofern die wenigen verfügbaren Daten eine Verallgemeinerung zulassen, kann entsprechendes auch für die bakterielle Biomasse geschlossen werden (Bereich zwischen 1 und 1000 μg Kohlenstoff pro g Sedi-

ment).

Die Beziehungen zwischen Bakterienzahl bzw. Biomasse und Sedimenttyp leiten sich aus den signifikanten Korrelationen zwischen den bakteriellen Parametern einerseits und der Korngröße und dem organischen Gehalt des Sedimentes andererseits ab. Feinkörnige Sedimente zeigen gegenüber grobkörnigen meist einen höheren Gehalt an organischem Material sowie eine größere bakterielle Besiedlung. Dabei bleibt jedoch die Frage unbeantwortet, ob die Bakterien auf einen in feinkörnigen Sedimenten ursprünglich vorhandenen höheren Gehalt an organischem Material reagieren, oder ob aufgrund einer bevorzugten Besiedlung feinkörniger Sedimente der Gehalt an organischem Material durch Adsorption an mikrobielle extrazelluläre Polysaccharide ansteigt. Bakterien besiedeln nur einen geringfügigen Teil der Partikeloberfläche (0,05 - 5 %; vergl. Dale 1974; DeFlaun and Mayer 1983). Dementsprechend ist der Anteil bakteriellen Kohlenstoffs des Sedimentes gering (0,6 - 2 %; vergl. Dale 1974; Cammen 1982; Rublee 1982; Meyer-Reil 1984 b). Für die Kieler Bucht kann festgestellt werden, daß sandig-schlickige Sedimente offenbar optimale Bedingungen für die Entwicklung der Bakterienpopulationen darstellen. Hier wurden das größte durchschnittliche Zellgewicht und der höchste Anteil bakteriellen Kohlenstoffs am Gesamtkohlenstoff des Sedimentes erreicht. In sandigen Sedimenten einerseits und schlickigen Sedimenten andererseits wurde die bakterielle Entwicklung deutlich limitiert, offenbar bedingt durch die gegenüber sandig-schlickigen Sedimenten begrenzte Menge und Verwertbarkeit von organischem Material.

Messung der mikrobiellen Aktivität

Spezielle methodische Entwicklungen waren auch notwendig, um den bakteriellen Abbau von organischem Material zu messen. Der überwiegende Teil des durch Sedimentation in das Sediment eingetragenen organischen Materials ist partikulärer Natur und muß vor der Aufnahme in die Zellen extrazellulär gespalten werden. Der enzymatische Abbau von höher molekularen Substraten stellt den geschwindigkeitsbegrenzenden Schritt der Oxidation von organischem

Material in Sedimenten dar (vergl. Billen 1982; Meyer-Reil 1983, 1987 b). Die aus der enzymatischen Hydrolyse resultierenden niedermolekularen organischen Substrate können von den Bakterien aufgenommen und unter Verwendung verschiedener Elektronenakzeptoren oxidiert werden.

Zur Messung des extrazellulären enzymatischen Abbaus von höher molekularem organischen Material in Sedimenten der Kieler Bucht wurden an organische Substrate gebundene Reaktivfarbstoffe (Amylopectin Azur, Hide Powder Azur) wie auch Amino-Acyl- und Methyl-Umbelliferyl-Derivate verschiedener organischer Substrate eingesetzt (Meyer-Reil 1981, 1983; Faubel and Meyer-Reil 1983; Meyer-Reil 1986 b, 1987 a). Die Verwendung dieser artifiziellen Substrate in Sedimenten ist jedoch problematisch (Meyer-Reil 1987 b). Fluorogene Substrate und Reaktivfarbstoffe sind als Modellsubstanzen anzusehen. Sie stellen Stoffwechselanaloge für eine Vielzahl natürlich vorkommender Substrate unbekannter Konzentration und Zusammensetzung dar. Der Abbau dieser Substrate reflektiert jedoch den Pool natürlich vorkommender Enzyme, der sich als Antwort auf Änderungen in der Konzentration und Zusammensetzung natürlichen organischen Materials herausgebildet hat.

Die Untersuchungen über die bakterielle Aufnahme gelöster organischer Substrate in Sedimenten der Kieler Bucht erfolgten mit Hilfe radioaktiv-markierter Substanzen (Meyer-Reil 1978; Meyer-Reil et al. 1978, 1980; Meyer-Reil and Faubel 1980; Meyer-Reil 1986 a, b 1987 a). Da in der Regel weder die Konzentration noch die Verfügbarkeit der analogen natürlichen Substrate bekannt waren, konnten nur relative Umsatzraten gemessen werden.

Sedimente, bei denen durch Zerschneiden von Kernen und Aufschwemmen des Materials in Seewasser die Feinstruktur zerstört wurde, wiesen Aktivitäten auf, die um eine Zehnerpotenz über den Aktivitäten ungestörter Kerne lagen (Hall et al. 1972; Meyer-Reil 1978; Novitsky 1983 b; Oremland et al. 1984; Meyer-Reil 1986 b). Diese Beobachtung unterstreicht die Bedeutung, die der Messung des bakteriellen Abbaus von organischem Material in möglichst ungestörten Sedimenten zukommt. Hierzu wurde eine Einspritztechnik

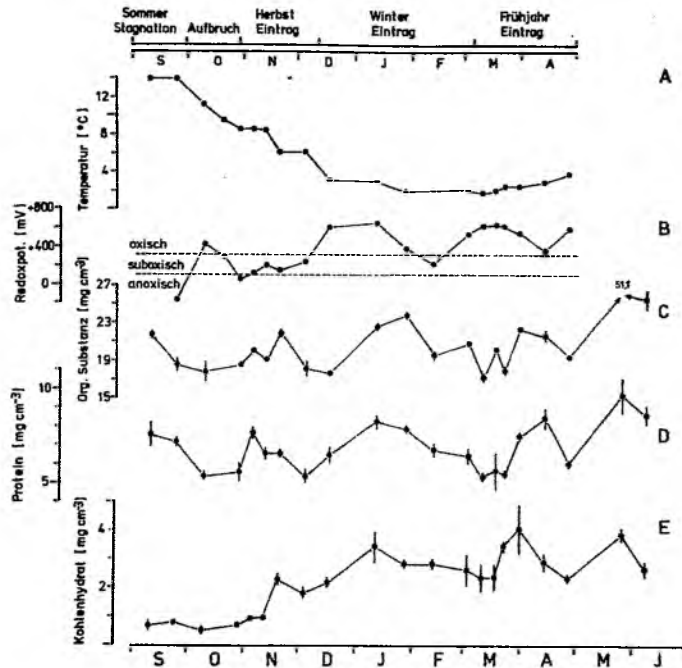
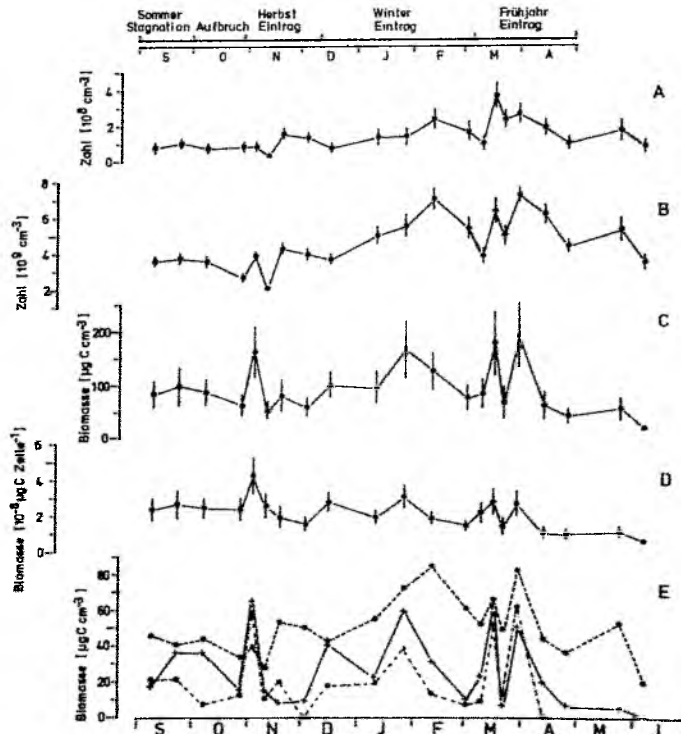


Abb. 1. Saisonale Variation physikalischer und chemischer Parameter im Sediment der Station "Hausgarten" (sandiger Schlick, Wassertiefe 18 m). A - Temperatur, B - Redoxpotential, C - Gesamtgehalt organischen Materials, D - Protein, E - Kohlenhydrat.

Abb. 2. Saisonale Variation mikrobieller Parameter im Sediment der Station "Hausgarten" (sandiger Schlick, Wassertiefe 18 m). A - Anzahl sich teilender Zellen, B - Gesamtzellzahl, C - Biomasse, D - Biomasse pro Zelle, E - Biomassespektrum (● Größenklasse >0-0,3 μm^3 , + Größenklasse 0,3-0,6 μm^3 , o Größenklasse >0,6 μm^3).



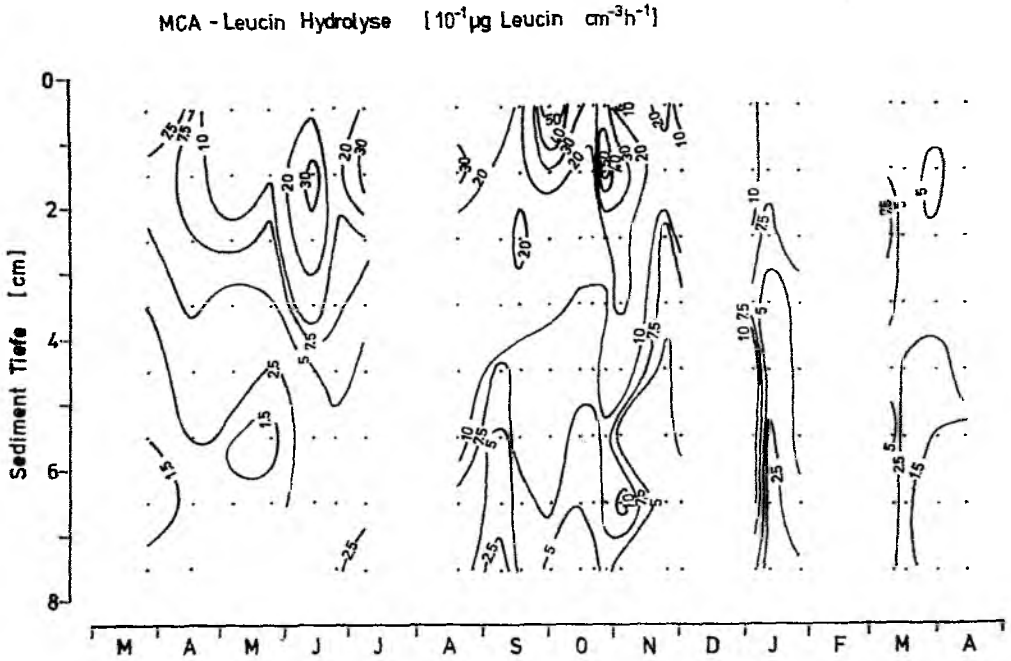
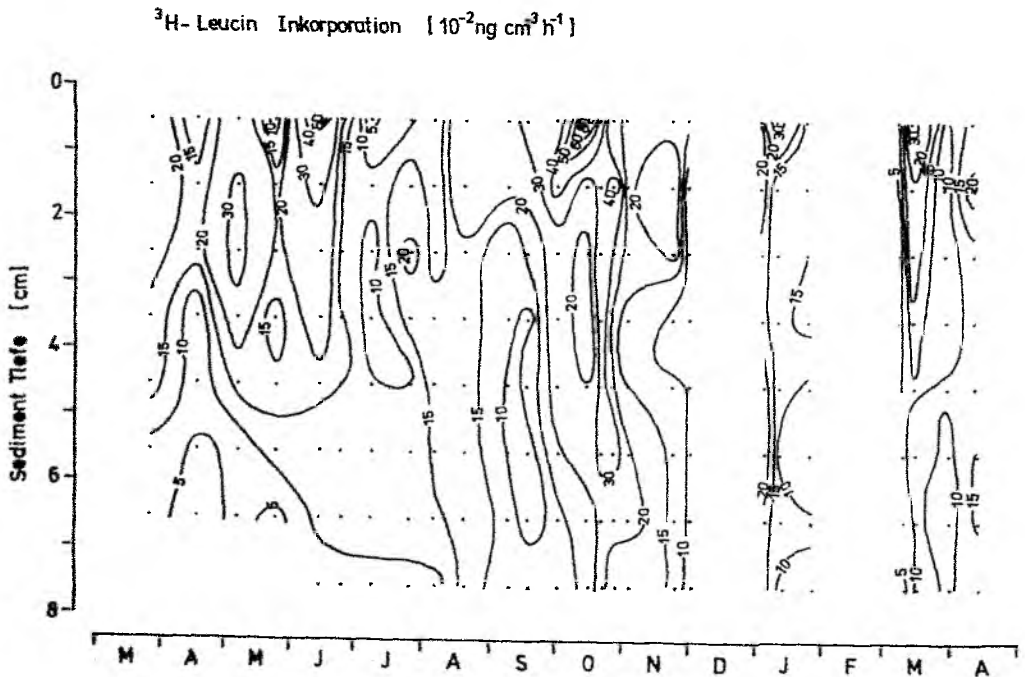


Abb. 3. Isoplethendiagramm der saisonalen und tiefenabhängigen Variation der enzymatischen Hydrolyse von L-Leucin-Methylcoumarinyl-7-Amid-HCl (Station "Gabelsflach"; Wassertiefe 17 m).

Abb. 4. Isoplethendiagramm der saisonalen und tiefenabhängigen Variation der mikrobiellen Inkorporation von ^3H -Leucin (Station "Gabelsflach"; Wassertiefe 17 m).



entwickelt, die die Messung des extrazellulären enzymatischen Abbaus von organischem Material und die Aufnahme gelöster organischer Substrate in ungestörten Sedimenten gestattet (Meyer-Reil 1986 b, 1987 a).

Jahreszeitliche Variationen mikrobieller Parameter

Bakterienzahlen, Biomasse und Aktivität (enzymatische Hydrolyse von partikulärem organischem Material, Inkorporation gelöster organischer Substrate) in Sedimenten der Kieler Bucht zeigten ausgeprägte saisonale Variationen. Diese konnten vornehmlich auf die Akkumulation von organischem Material als Folge von Sedimentationsereignissen zurückgeführt werden. Im Frühjahr (Ende März/Anfang April) und im Herbst (November), korrespondierend zur Sedimentation der Phytoplanktonblüten, reicherte sich organisches Material an der Sedimentoberfläche an. Auch im Winter (Januar) wurde eine bedeutende Akkumulation von organischem Material im Sediment gemessen (Abb. 1). Während das im Frühjahr und Herbst sedimentierte Material relativ frisch war und einen hohen Nährstoffwert besaß, war das Material im Winter resistenter und bestand aus erodierten Makrophyten, resuspendiertem Sediment und Material terrestrischen Ursprungs (Liebezeit et al. 1985; bzw. Graf et al. 1983). Die schwerpunktmäßig an den Stationen im "Hausgarten" und im "Gabelsflach" durchgeführten mikrobiologischen Untersuchungen ergeben ein zusammenhängendes Bild, aus dem die saisonalen Variationen der bakteriellen Zahl, Biomasse und Aktivität in Sedimenten der Kieler Bucht verständlich werden (Abb. 1, 2; Meyer-Reil 1983, 1984 a, b, 1987 b; Meyer-Reil and Graf 1986; Meyer-Reil et al. 1987).

Der Eintrag der Phytoplanktonblüten im Frühjahr und Herbst führte zu einer Stimulation des extrazellulären enzymatischen Abbaus von partikulärem organischem Material im Sediment (Abb. 3). Die enzymatischen Aktivitäten stiegen im Verlaufe des Frühjahrs deutlich an und erreichten ihre maximalen Werte im Frühherbst. Perioden gesteigerter hydrolytischer Aktivitäten korrespondierten mit hoher Inkorporation gelöster organischer Substrate (wie Glukose, Acetat, Leucin und Thymidin; Abb. 4) in bakterielle

Biomasse. Die Stimulation bakterieller Aktivitäten ging von der Sedimentoberfläche aus und pflanzte sich schnell bis in tiefere Sedimenthorizonte fort. Die Mechanismen dieses schnellen "Informationsflusses" sind bislang noch ungeklärt (Bioturbation, physikalische Prozesse?). Während im Frühjahr die Inkorporation von Glukose, Acetat, Leucin und Thymidin gleichermaßen stimuliert wurde, zeigten sich im Herbst deutliche Unterschiede in der Inkorporation der einzelnen Substrate. Diese Beobachtungen lassen vermuten, daß die Bakterien auf den ersten Eintrag von organischem Material in das Sediment zunächst mit Biomasseproduktion und nachfolgend mit Zellteilung reagierten. Dieses konnte durch Untersuchungen der saisonalen Schwankungen der Bakterienzahl, Biomasse und des Größenspektrums der Biomasse bestätigt werden (Abb. 2). Besonders im Herbst führte die erste Stimulation bakterieller Aktivitäten primär zu einer kräftigen Biomasseproduktion. Bedingt durch drastische Verschiebungen im Größenspektrum stieg die durchschnittliche Biomasse pro Zelle stark an. Abweichend von der "Normalverteilung" bakterieller Biomasse wuchs der Anteil mittlerer und großer Zellen an der Gesamtbiomasse auf Kosten kleiner Zellen deutlich an oder dominierte sogar die bakterielle Biomasse. Nach einem kurzfristigen Absinken von Gesamtzellzahl und Biomasse folgte dann eine zweite Stimulation bakterieller Aktivität, die im wesentlichen zu einer Erhöhung der Zellzahl führte, ohne daß eine korrespondierende Biomasseproduktion stattfand.

Im späten Frühjahr wurde die Aktivität der Bakterienpopulationen offenbar entscheidend durch die Entwicklung der benthischen Fauna beeinflusst. Nach der Stimulation bakterieller Aktivitäten im Anschluß an die Sedimentation der Frühjahrsphytoplanktonblüte wurde zur Zeit der Massenentwicklung von benthischer Fauna (Polychaeten) eine Periode deutlich reduzierter Aktivitäten beobachtet. Es ist zu vermuten, daß die Bakterien aufgrund der Verfestigung der Sedimentoberfläche durch die Polychaeten nährstofflimitiert waren und mit einer Reduktion ihres Zellvolumens antworteten. Die bakteriellen Aktivitäten stiegen erst wieder an, nachdem die Fauna zusammengebrochen war. Im Laufe des Sommers zeigten sich bei zunehmend anaeroben Verhältnissen im Sediment

einzelne Perioden gesteigerter bakterieller Inkorporation gelöster organischer Substrate, offenbar bedingt durch kurze Sedimentationsereignisse (Abb. 3, 4).

Auch im Winter wurde in Sedimenten der Kieler Bucht eine hohe Inkorporation von Leucin und Thymidin gemessen, die auf eine intensive Biomasseproduktion hindeutete. Erodierteres Makrophytenmaterial, resuspendiertes Sediment und Material terrestrischen Ursprungs bildeten offenbar die Nährstoffgrundlage für die Entwicklung der bakteriellen Aktivität (Graf et al. 1983; Meyer-Reil 1983), die sich aufgrund der geringen Temperatur und des weitgehenden Fehlens bakterienfressender Organismen langsam und kontinuierlich vollzog. Diese Entwicklung während des Winters unterscheidet sich damit deutlich von der spontanen, kurzfristigen Stimulation bakterieller Aktivitäten als Antwort auf den Eintrag der Phytoplanktonblüten im Frühjahr und Herbst (Abb. 2, 4).

Durch die dargestellten Untersuchungen in Sedimenten der Kieler Bucht ist es zum ersten Mal gelungen, die Beziehungen zwischen der Anreicherung und dem bakteriellen Abbau von organischem Material im Sediment nachzuweisen (Abb. 5), sowie die engen Verbindungen zwischen den unterschiedlichen Aspekten bakterieller Aktivitäten (enzymatische Hydrolyse von partikulärem Material, Aufnahme der gelösten Spaltprodukte, Biomasseproduktion, Teilungsaktivität) aufzuzeigen. Aus den Untersuchungen ist weiterhin abzuleiten, daß sich die Entwicklung der Bakterienpopulationen vor einem relativ konstanten Hintergrund von Zellzahl und Biomasse vollzog. Einzelne Sedimentationsereignisse bedingten ein kurzfristiges Anwachsen von Bakterienzahl und Biomasse. Regulationsmechanismen, wie zum Beispiel erhöhter Freßdruck, führten dann sehr schnell wieder zu einer Reduzierung der bakteriellen Zahl und Biomasse auf Werte innerhalb der "normalen" Variationsbreiten, die offenbar sedimentspezifisch sind. Verschiebungen im Größenspektrum bakterieller Biomasse (Abb. 2) erwiesen sich als besonders empfindlicher Indikator für Änderungen der Umweltparameter (z.B. Eintrag oder Mangel von Nährstoffen). Gegenüber der Zahl und Biomasse zeigten die bakteriellen Aktivitäten hingegen

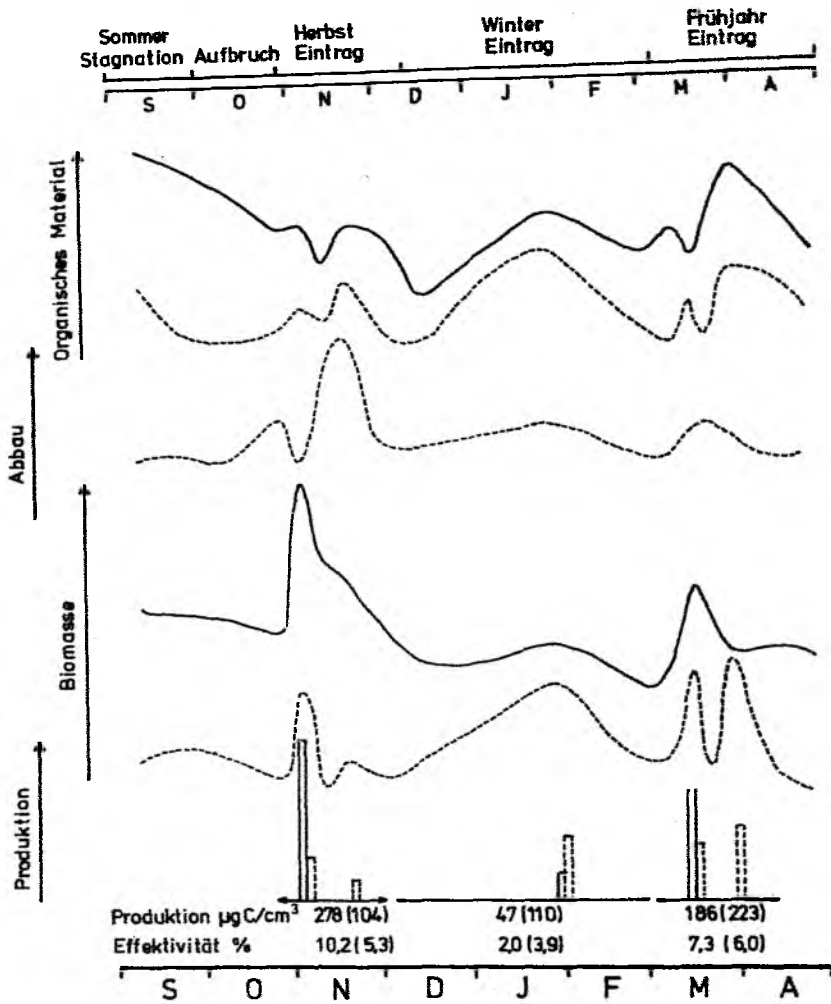


Abb. 5. Schematische Darstellung der saisonalen Variation des Gesamtgehaltes und des enzymatischen Abbaus von organischem Material sowie der bakteriellen Biomasseentwicklung im Sediment der Station "Hausgarten". Die durchgezogene Linie kennzeichnet schlackiges Sediment (Wassertiefe 28 m), die gestrichelte Linie kennzeichnet sandig-schlackiges Sediment (Wassertiefe 18 m). Im unteren Teil der Abbildung sind die bakterielle Produktion sowie die Effektivität des Abbaus von organischem Material zu den entsprechenden Jahreszeiten angegeben. Die zuerst genannten Werte beziehen sich auf das schlackige Sediment, die Werte in Klammern auf das sandig-schlackige Sediment (nach Meyer-Reil 1987 b).

weit größere Schwankungsbreiten.

Mikrobielle Produktion

Basierend auf dem Anstieg der bakteriellen Biomasse als Folge des Eintrags der Phytoplanktonblüten im Frühjahr und Herbst sowie aufgrund der Nährstoffanreicherung im Winter errechnete sich zu den verschiedenen Jahreszeiten folgende bakterielle Produktion: Frühjahr 2,2 (1,9) g, Herbst 1,0 (2,8) g und Winter 1,1 (0,5) g Kohlenstoff pro m^2 Sediment (bezogen auf 1 cm Sedimenttiefe; Abb. 5). Die jährliche Produktion betrug damit 4,3 (5,2) g Bakterienkohlenstoff pro m^2 . Diese Zahlen bedeuten, daß sandig-schlickige (zuerst genannte Werte) und schlickige Sedimente (Werte in Klammern) der Kieler Bucht hinsichtlich ihrer Gesamtproduktion vergleichbar sind, die Hauptproduktionsphasen jedoch zu verschiedenen Jahreszeiten (Frühjahr bzw. Herbst) stattfanden. Legt man für die Kieler Bucht eine durchschnittliche jährliche Primärproduktion von 100 g Phytoplanktonkohlenstoff unter 1 m^2 Wassersäule zugrunde (s. Horstmann in Meyer-Reil 1977), so bedeuten die dargestellten Werte, daß im Jahresmittel 5 % der planktischen Primärproduktion für die benthische bakterielle Sekundärproduktion genutzt wird. Vergleicht man für Sedimente der Kieler Bucht den Eintrag von organischem Material mit der korrespondierenden bakteriellen Biomassezunahme, so errechnen sich Wachstumserträge zwischen 2 und 10 % (Abb. 5). Erwartungsgemäß wurden im Frühjahr und Herbst die höchsten und im Winter die niedrigsten Werte erreicht. Die errechneten Wachstumserträge liegen an der unteren Grenze der in der Literatur für den Abbau von partikulärem organischem Material angegebenen Zahlen (Newell 1984).

Bezieht man die zu den verschiedenen Jahreszeiten ermittelten Produktionswerte auf die Bezugsbasis Tag, so resultiert eine tägliche bakterielle Produktion zwischen 10 und 370 mg Kohlenstoff pro m^2 Sediment. Dieser Bereich deckt sich mit Literaturdaten (Tab. 1), denen ganz verschiedene Meßmethoden zugrundeliegen (Meyer-Reil et al. 1980; Moriarty and Pollard 1982; Fallon et al.)

Tab. 1: Mikrobielle Produktion in marinen Sedimenten nach Daten aus der Literatur.

Ort	Sediment	Methode	Produktion (mgC/m ² /d)	Literatur
Kieler Bucht Ostsee	Strand	Glukose-Inkorp.	28	Meyer-Reil et al. 1980
Moreton Bay Queensland	Seegras	Thymidin-Inkorp.	12	Moriarty and Pollard 1982
Nordatlantik Sedimente		Thymidin-Inkorp.	100-300	Fallon et al. 1983
Kieler Bucht Ostsee	sandig. Schlick	Saisonale Varia- tionen der	20-300	Meyer-Reil 1983
	Schlick	Biomasse	10-370	Meyer-Reil 1987 b
Pazifik		Adenin-Inkorp.	1380-2930 ¹⁾ (20-8070)	Craven and Karl 1984
San Pedro Basin		Adenin-Inkorp.	160-220	Craven et al. 1986
Kieler Bucht Ostsee	Sand	Tagesvariationen der Biomasse	80	Meyer-Reil 1986 a

1) extrapoliert aus den Originaldaten auf eine Fläche von 1 m² bis zu einer Tiefe von 1 cm. Extremwerte wurden in Klammern angegeben.

1983; Meyer-Reil 1983; Craven and Karl 1984; Craven et al. 1986; Meyer-Reil 1986 a).

Ausblick

Einleitende Untersuchungen zeigten, daß an Grenzflächen, wie der Kontaktzone zwischen Wasser und Sediment, der Grenzzone zwischen aeroben und anaeroben Bedingungen sowie an biogenen Strukturen, eine bedeutsame Konzentrierung der Zahl und Biomasse von Mikroorganismen stattfindet. Es ist zu vermuten, daß diese Grenzflächen durch ein breites Spektrum der verschiedensten Gruppen von Mikroorganismen charakterisiert sind und daß die mikrobiellen Aktivitäten im Vergleich zum umgebenden Sediment um ein Vielfaches gesteigert sind.

Sehr wenig weiß man über das Zusammenwirken der unterschiedlichen Aspekte mikrobieller Aktivitäten (enzymatische Hydrolyse partikulären organischen Materials, Aufnahme gelöster organischer Substrate, Biomasseproduktion, Teilungsaktivität). Die weitaus meisten Angaben der Literatur beziehen sich auf die Messung einzelner Aspekte mikrobieller Aktivitäten. Es wäre wünschenswert, aufgrund der Beziehungen der unterschiedlichen Aspekte mikrobieller Aktivitäten zueinander zu einer Charakterisierung des physiologischen Zustands einer Mikroorganismenpopulation zu kommen.

Außerordentlich wenig ist die aktive Fraktion einer Mikroorganismenpopulation bekannt. Mikrobiologische oder chemische Messungen des Substratumsatzes erlauben keine Aussage über die Anzahl oder das Spektrum der Organismen, die an den Prozessen beteiligt sind. Ein hoher Substratumsatz kann von einer relativ kleinen Gruppe sehr aktiver Organismen geleistet werden. Umgekehrt wäre es auch denkbar, daß an dem Substratumsatz eine relativ große Anzahl von Organismen beteiligt ist, die, auf die Einzelzelle bezogen, nur geringe Stoffwechselaktivität besitzen.

Letztlich werden auch Daten über die bakterielle Produktion sowie über die Effektivität des mikrobiellen Abbaus von organischem Material dringend benötigt. Die bislang vorliegenden Methoden der Produktionsbestimmung sind noch unbefriedigend und erlauben wohl kaum mehr als eine vorsichtige Abschätzung des Bereiches möglicher Produktion.

Literatur

- Billen, G. (1982): Modelling the processes of organic matter degradation and nutrient recycling in sedimentary systems, in: D.B. Nedwell and C.M. Brown (eds.) *Sediment Microbiology*. pp. 11 - 52, Academic Press, London.
- Cammen, L.M. (1982): Effect of particle size on organic content and microbial abundance within four marine sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 9, 273 - 280

- Craven, D.B., R.A. Jahnke and A.F. Carlucci (1986): Fine-scale vertical distributions of microbial biomass and activity in California Borderland sediments. *Deep-Sea Research* **33**, 379 - 390.
- Craven, D.B. and D.M. Karl (1984): Microbial RNA and DNA synthesis in marine sediments. *Mar. Biol.* **83**, 129 - 139.
- Dale, N.G. (1974): Bacteria in intertidal sediments: factors related to their distribution. *Limnol. Oceanogr.* **19**, 509 - 518.
- DeFlaun, M.F. and L.M. Mayer (1983): Relationships between bacteria and grain surfaces in intertidal sediments. *Limnol. Oceanogr.* **28**, 873 - 881.
- Fallon, R.D., S.Y. Newell and C.S. Hopkinson (1983): Bacterial production in marine sediments: will cell-specific measures agree with whole-systems metabolism? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **11**, 119 - 127.
- Griffiths, R.P., B.A. Caldwell, W.A. Broich and R.Y. Morita (1983): Microbial processes relating to carbon cycling in Southeastern Bering Sea sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **10**: 265 - 275.
- Griffiths, R.P., S.S. Hayasaka, T.M. McNamara and R.Y. Morita (1978): Relative microbial activity and bacteria concentrations in water and sediment samples taken in the Beaufort Sea. *Can. J. Microbiol.* **24**, 1217 - 1226.
- Hall, K.J., P.M. Kleiber and I. Yesaki (1972): Heterotrophic uptake of organic solutes by microorganisms in the sediment. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Suppl.* **29**, 441 - 471.
- Kepkay, P.E., R.C. Cooke and J.A. Novitsky (1979): Microbial autotrophy a primary source of organic carbon in marine sediments. *Science* **204**, 68 - 69.
- King, G.M. (1986): Characterization of β -glucosidase activity in intertidal marine sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* **51**, 373 - 380.
- King, G.M., M.J. Klug and D.R. Lovley (1983): Metabolism of acetate, methanol, and trimethylamine in sediments of Lowes Cove, Maine. *Appl. Environ. Microbiol.* **45**, 1848 - 1853.

- Kirchman, D.L., S.Y. Newell and R.E. Hodson (1986): Incorporation versus biosynthesis of leucine: implications for measuring rates of protein synthesis and biomass production by bacteria in marine systems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **32**, 47 - 59.
- Liebezeit, G., M. Schumann and F. Bohde (1985): Residual amino acid fluxes in Kiel Bight - February to June 1980. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **27**, 203 - 207.
- Meadows, P.S. and J.G. Anderson (1966): Microorganisms attached to marine and freshwater sand grains. *Nature* **198**, 610 - 611.
- Moriarty, D.J.W. and P.C. Pollard (1982): Diel variation of bacterial productivity in seagrass (Zostera capricorni) beds measured by rate of thymidine incorporation into DNA. *Mar. Biol.* **72**, 165 - 173.
- Newell, R.C. (1984): The biological role of detritus in the marine environment in: M.J.R. Fasham (ed.) *Flows of Energy and Materials in Marine Ecosystems, Theory and Practice*. pp. 317 - 343, Plenum Press, New York.
- Novitsky, J.A. (1983): Microbial activity at the sediment-water interface in Halifax Harbor, Canada. *Appl. Environ. Microbiol.* **45**, 1761 - 1766.
- Novitsky, J.A. and D.M. Karl (1986): Characterization of microbial activity in the surface layers of a coastal subtropical sediment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **28**, 49 - 55.
- Pollard, P.C. and D.J.W. Moriarty (1984): Validity of the tritiated thymidine method for estimating bacteria growth rates: measurement of isotope dilution during DNA synthesis. *Appl. Environ. Microbiol.* **48**, 1076 - 1083.
- Rublee, P.A. (1982): Bacteria and microbial distribution in estuarine sediments, in: V.S. Kennedy (ed.) *Estuarine Comparisons*. pp. 159 - 182, Academic Press, New York.

2.4. Bakterielle Aktivität in der Tiefsee

Karin Lochte

Etwa 80 % des Meeresbodens liegen unterhalb von 2000 m Wassertiefe und die bathyale und abyssale Tiefsee stellt damit eines der größten und weitgehend unbekanntesten Biotope der Erde dar. Die Entdeckung hydrothermalen Tiefseequellen lenkte die Aufmerksamkeit auf diese "Oasen" in der ansonsten kargen Tiefsee, die sich durch große Biomassen benthischer Organismen auszeichnen. Der hohe Anteil an reduzierten Substanzen in der ausströmenden Hydrothermal-Flüssigkeit bildet die Grundlage für chemosynthetische Energiegewinnung durch chemoautotrophe Mikroorganismen, die damit die Ernährungsbasis für die anderen mit diesem Biotop assoziierten Lebewesen darstellen. Diese Quellgebiete weisen zwar eine dichte Besiedlung auf, ihr Gebiet ist jedoch sehr klein und die Reichweite ihres Einflusses auf umliegende Areale noch unbekannt.

Die Tiefsee per se stellt sich jedoch, wenn man von den begrenzten heißen und kalten Tiefseequellgebieten absieht, als ein Ökosystem dar, das durch relative physikalische Konstanz ausgezeichnet ist und durch Sedimentation partikulärer Substanz aus den oberen Wasserschichten mit Nahrung versorgt wird. Aus Untersuchungen mit Sinkstofffallen kann abgeschätzt werden, daß ca. 0,8 - 3 % der Primärproduktion des Oberflächenwassers das Bathypelagial erreichen (Honjo et al. 1982; Lorenzen et al. 1983). Zur Zeit können die zur Sedimentation führenden Prozesse (Vertikaltransport durch Strömungen, Aggregatbildung, Fraß und Kotballenbildung durch Zooplankton) zwar beschrieben aber noch nicht ausreichend quantifiziert werden.

Die sedimentierende Substanz sammelt sich auf der Sedimentoberfläche und in dieser Grenzschicht, die sowohl die bodennahe Wasserschicht als auch die oberen Sedimenthorizonte umfaßt, wird der größte Teil der organischen Substanz biologisch abgebaut (Smith et al. 1987). Tiefseeböden sind mit wenigen Ausnahmen relativ ungestört durch physikalische Einwirkungen, und in diesem

System erhält die Bioturbation eine verhältnismäßig große Bedeutung für die Verteilung und den Abbau organischer Substanz im Sediment. Bioturbationsraten können selbst auf kleinem Raum stark variieren, was sowohl durch ein unregelmäßiges Relief des Meeresbodens wie auch durch das Auftreten besonders aktiver aber seltener Tiere hervorgerufen werden kann (z.B. Smith et al. 1986). Im Bereich des Tiefseebodens werden nach Schätzungen mehr als 90 % des sedimentierten organischen Kohlenstoffs durch Organismen aufgenommen und veratmet (Lorenzen et al. 1983; Bender und Heggie 1984; Smith et al. 1987), so daß nur ein geringer Prozentsatz zum Aufbau von Biomasse zur endgültigen Festlegung von biologisch schwer abbaubarer organischer Substanz im Sediment übrig bleibt. Dieser Vorgang ist noch weitgehend ungeklärt, obwohl es Hinweise auf einen verhältnismäßig raschen Abbau der organischen Substanz gibt (Deming 1985; Cole et al. 1987). Die Aktivität von Mikroorganismen spielt hierbei wahrscheinlich eine Schlüsselrolle.

Bis noch vor wenigen Jahren wurden die bakteriellen Umsatzraten in der Tiefsee als gering angesehen, da sich sowohl hoher Druck als auch niedrige Temperatur in diesem Biotop als limitierend auf ihre metabolischen Aktivitäten auswirken können (Jannasch und Wirsen 1973; Landau und Pope 1980). Aus dem Nahrungsmangel im Bathyal und Abyssal wurde gefolgert, daß ein hoher Anteil der Tiefseebakterien im Zustand latenten Lebens verharret. Organisches Material sollte demnach in der Tiefsee deutlich langsamer abgebaut werden.

Neuere Untersuchungen zeigten jedoch, daß barophile und psychrophile Bakterien existieren (Yayanos et al. 1979; Deming et al. 1981), deren Aktivität an die in ihrem Lebensraum vorherrschenden Umweltbedingungen angepaßt ist. Es wurden Wachstumsraten von endemischen Tiefseebakterien in der gleichen Größenordnung wie von anderen marinen Bakterien gefunden (Deming et al. 1981; Deming 1985). Diese Befunde deuten damit auf die Möglichkeit relativ schnellen Abbaus organischer Substanz durch Bakterien auch unter bathyalen Inkubationsbedingungen hin.

Aufgrund großer technischer Schwierigkeiten sind jedoch Messungen der Aktivität von natürlichen Bakterienpopulationen nur selten durchgeführt worden (Jannasch und WIRSEN 1980), und auch Daten über die Biomasse und Verteilung der Bakterien sind rar (Harvey et al. 1984; Baird und White 1985; Deming 1985)

Im Rahmen des vom BMFT geförderten Programmes BIOTRANS (Biologischer Vertikaltransport und Energiehaushalt in der bodennahen Wasserschicht der Tiefsee), das in Zusammenarbeit mit dem Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg seit 1985 läuft, werden von der Abteilung Marine Mikrobiologie des Instituts für Meereskunde in Kiel Untersuchungen zur Rolle der Bakterien im Ökosystem der Tiefsee vorgenommen. Folgende Schwerpunkte wurden dabei behandelt:

- 1) Abundanz und Verteilung von Bakterien in der Grenzschicht Wasser/Sediment
- 2) saisonale Veränderungen der Abundanz;
- 3) metabolische bakterielle Aktivität in verschiedenen Bereichen der Grenzschicht;
- 5) bakterieller Abbau von organischer Substanz unter Tiefseebedingungen;
- 6) Verwertungseffizienz der organischen Substanz.

Diese Arbeiten dienen schließlich der Aufklärung der Frage: Welche Rolle spielen Bakterien für den Energietransfer in der Wasser/Sediment-Grenzschicht der Tiefsee?

Die Untersuchungen wurden vorwiegend in einem relativ kleinen, intensiv bearbeiteten Gebiet im Nordost-Atlantik von ca. 4500 km² (55 km x 82 km) durchgeführt, das durch die Koordinaten 47° N - 47°30'N und 19° W - 20° W begrenzt wird. In diesem BIOTRANS-Gebiet befindet sich ein dreigipfelter Bergzug, der "Größe Dreizack", dessen höchste Erhebungen auf 3800 m ansteigen, während die nördlich und südlich davon gelegenen Tiefseebenen eine mittlere Tiefe von 4500 m aufweisen. Um räumliche und saisonale Veränderungen des Benthos registrieren zu können, wurde ein Transekt mit vier Standard-Stationen regelmäßig auf allen Ausfahrten beprobt (Abb. 1).

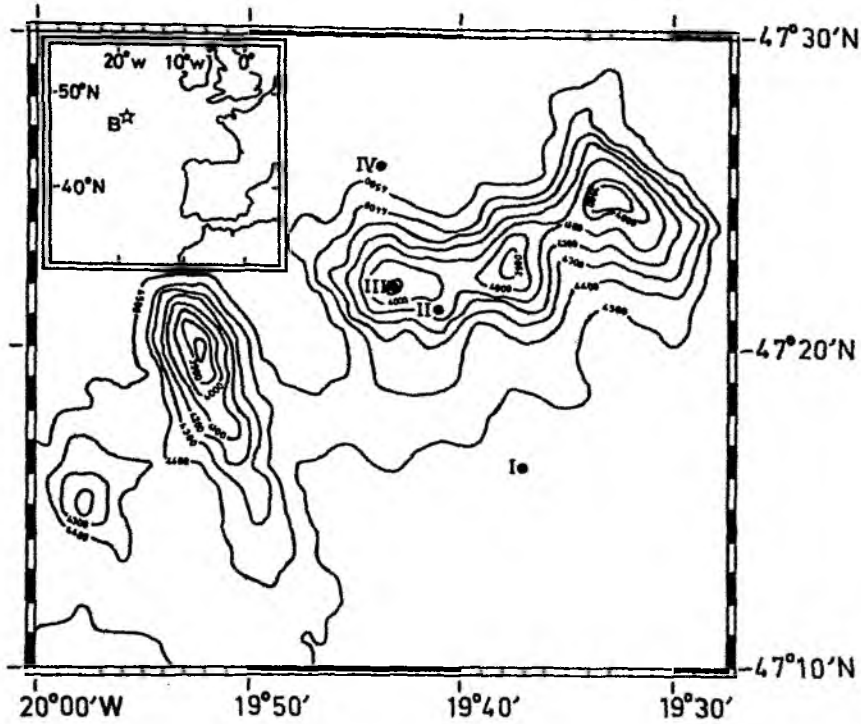


Abbildung 1: Karte des Arbeitsgebietes des BIOTRANS-Projektes. Die geographische Lage des Gebietes wird in der Übersichtskarte links oben angegeben; die Detailkarte zeigt die Bodentopographie des Untersuchungsgebietes mit den Standardstationen I bis IV.

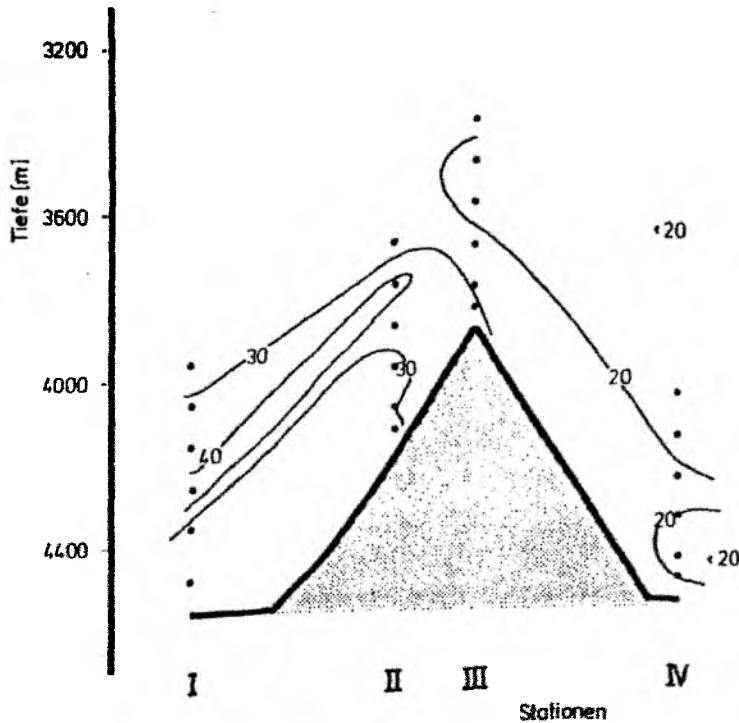


Abbildung 2: Verteilung von Bakterien (x10³ Zellen/ml) in der bodennahen Wasserschicht (500 m bis 50 m über dem Meeresboden) auf den 4 Standardstationen (s. Abb. 1) im Juli/August 1986.

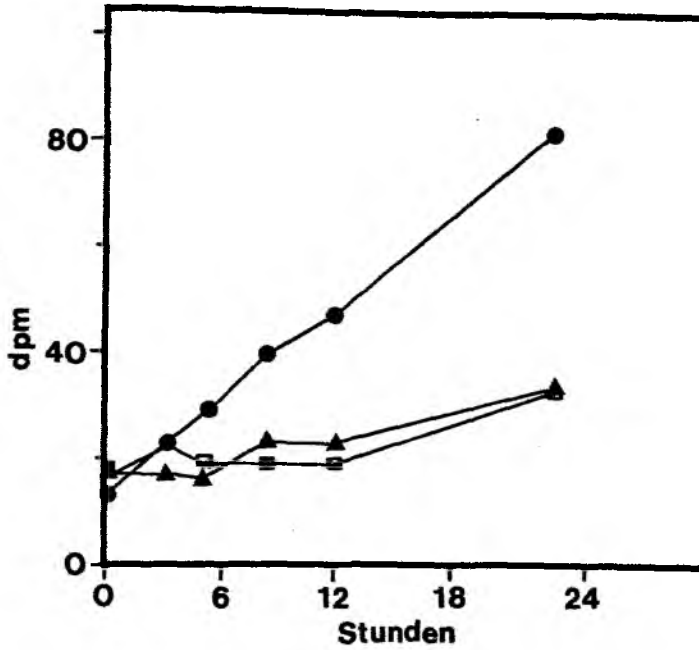
Zusätzlich zu der intensiven Bearbeitung dieses Gebietes wurden Vergleichsuntersuchungen im Roten Meer und vor Westafrika durchgeführt. Die tiefen Regionen des Roten Meeres mit ca. 1000 - 2200 m Wassertiefe zeichnen sich durch eine ungewöhnlich hohe Wassertemperatur von 21,5 °C aus, was grundlegend andere physiologische Bedingungen für die benthischen Organismen vorgibt. Vor Westafrika wurden das Sierra Leone-Becken (4250 m) und die Gambische Tiefseeebene beprobt (5000 m), deren Wassertiefen vergleichbar mit dem BIOTRANS-Gebiet sind, sich aber durch unterschiedliche Primärproduktion im Oberflächenwasser davon unterscheiden.

Verteilung der Bakterien in der Bodengrenzschicht

Die Anzahl der Bakterien wurde routinemäßig sowohl in der bodennahen Wasserschicht bis zu 500 m über dem Meeresboden als auch in den obersten Sedimenthorizonten bis zu 10 cm Tiefe erfaßt.

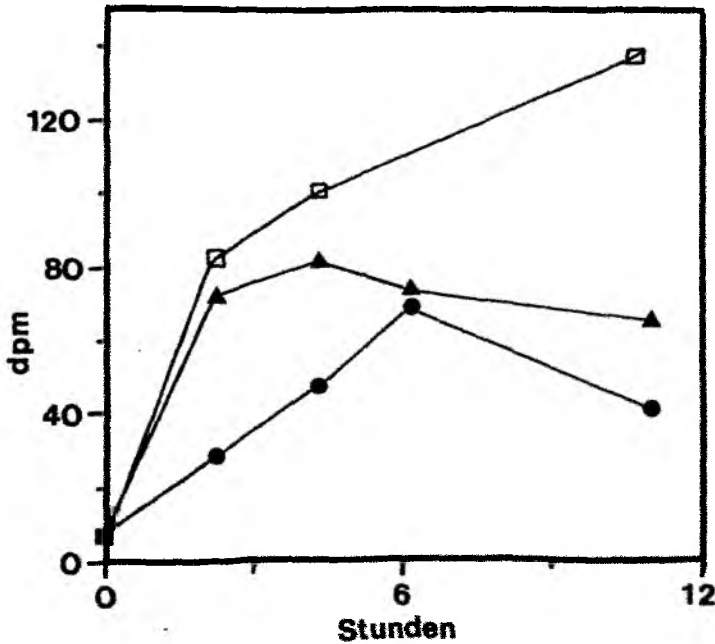
In der Wassersäule von 10 m - 500 m über dem Boden waren die Bakterienzahlen relativ homogen und veränderten sich kaum zu verschiedenen Jahreszeiten. Ein geringer Anstieg wurde allerdings 100 m - 200 m über dem Meeresboden auf der Südflanke des Großen Dreizacks jedesmal mit festgestellt (Abb. 2). Obwohl die zur Zeit vorliegenden Daten noch unzureichend sind, kann man diese Beobachtung als Hinweis auf Resuspensionsvorgänge in diesem Gebiet ansehen. Die Untersuchungen des NOAMP-Projektes (Nordost Atlantisches Monitoring Programm), die hier durchgeführt worden waren, zeigten das Auftreten von starken, bodennahen Strömungen an und die Möglichkeit, daß die Bodentopographie anticyclonale Wirbel ("Taylor column") hervorruft.

Im Sediment nahm die Anzahl der Bakterien im allgemeinen mit zunehmender Tiefe leicht ab. In einigen Fällen wurden die höchsten Zahlen allerdings in tieferen Horizonten festgestellt, was wahrscheinlich auf Bioturbation zurückzuführen ist. Wenn man die Sediment-Bakterienzahlen zu verschiedenen Jahreszeiten miteinander vergleicht, wird eine Zunahme im Sommer deutlich. Im Juli/August 1986 wurde Phytodetritus auf dem Meeresboden im BIOTRANS-Gebiet gefunden, und es ist anzunehmen, daß dieser



3

Abbildung 3: Aufnahme von H-Leucin durch Bakterien im Sedimentkontaktwasser aus 4940 m Wassertiefe in der Gambischen Tiefseebene bei folgenden Inkubationsbedingungen: ●—● 450 atm, 2°C; ▲—▲ 1 atm, 2°C; □—□ 1 atm, 28°C.



3

Abbildung 4: Aufnahme von H-Leucin durch Bakterien im Sedimentkontaktwasser aus 1602 m Wassertiefe im Roten Meer bei folgenden Inkubationsbedingungen: ●—● 160 atm, 21,5°C; ▲—▲ 1 atm, 21,5°C; □—□ 1 atm, 2°C.

Nahrungseintrag zu einer Vermehrung der benthischen Bakterien geführt hat.

Bakterielle Aktivität

Die bakterielle metabolische Aktivität wurde durch Aufnahme von Tritium-markierten Substanzen (Leucin, Glukose, Thymidin) und durch die Veratmung von ^{14}C -markiertem Algenhydrolysat verfolgt, wobei die Proben aus dem Sedimentkontaktwasser, der Sedimentoberfläche und tieferen Sedimentschichten entstammen. Die Inkubationen wurden unter simulierten in situ-Druck- und Temperaturverhältnissen durchgeführt, aber auch bei 1 atm, 2 °C und 15 °C, um die Reaktion der natürlichen Bakterienpopulationen auf Druck und Temperatur abschätzen zu können.

Die Aufnahme von ^3H -Leucin erfolgte schneller bei in situ-Druck und Temperatur als bei reduziertem Druck und höheren Temperaturen (Abb. 3). Ein ähnliches Verhalten wurde an verschiedenen Standorten und mit unterschiedlichen Substraten beobachtet. Es deutet auf das Vorkommen barophiler Bakterienpopulationen in Tiefsee-Sedimenten hin. Damit ist anzunehmen, daß diese Organismen in ihrem Metabolismus an ihre Umwelt angepaßt sind und Stoffumsätze im Bathyal effektiver als bei Oberflächenwasserbedingungen durchzuführen vermögen.

Dies trifft allerdings nur für die kalten Tiefseegebiete zu (BIOTRANS-Gebiet, Westafrika). In Proben aus dem tiefen Roten Meer wirkte sich der erhöhte Druck reduzierend auf die bakterielle Aktivität aus (Abb. 4). Außerdem war zu beobachten, daß im Gegensatz zu den Atlantik-Proben, die Aufnahme der radioaktiv markierten Substanzen nicht linear mit der Zeit zunahm, sondern schon nach kurzer Inkubationszeit wieder abnahm. Es ist zu vermuten, daß eine hohe Respirationsrate die Akkumulation von radioaktivem Material in den Bakterienzellen verhinderte. Untersuchungen von Thiel et al. (1987) an der Gesamtlebensgemeinschaft im Sediment geben ebenfalls Hinweise auf eine hohe Respirationsrate.

In diesem Zusammenhang sollten die speziellen hydrographischen Bedingungen des Roten Meeres berücksichtigt werden. Es handelt sich hierbei um ein relativ "junges" Meer, das durch seine weitgehende geographische Isolierung ausgezeichnet ist. Nur über die Meerenge von Bab-el-Mandeb im Süden erfolgt ein nennenswerter Austausch von Oberflächenwasser mit dem Indischen Ozean. Diese Bedingungen ermöglichen die Aufrechterhaltung der hohen Wassertemperaturen im Tiefenwasser. Die relativ geringe Wassertiefe dieses Meeres, seine hohe Temperatur und die Isolation von anderen Tiefseegebieten verhinderten vermutlich eine Ausbildung typisch barophiler und psychrophiler Bakterienpopulationen, und es scheint, daß nur mäßig barotolerante und wenig angepaßte Organismen das Sediment besiedeln.

Mikrobieller Kohlenstoffumsatz unter Tiefseebedingungen

Eine enge Verkopplung von Sedimentation und mikrobiellem Abbau des sedimentierten organischen Materials wurde in Flachwassergebieten beobachtet (Graf et al. 1982; Meyer-Reil 1984). Um der Frage nachzugehen, ob auch unter Tiefseebedingungen ein nennenswerter Abbau von sedimentiertem Detritus erfolgt, wurden folgende Untersuchungen angestellt. Sowohl natürlicher Phytodetritus, der von Meeresboden gesammelt worden war - als auch künstlich aus alternden Algenkulturen und Planktonfängen bereiteter und durch Gamma-Bestrahlung sterilisierter Detritus wurde unter in situ-Bedingungen mit Sedimentbakterien inkubiert, und der Abbau ihres organischen Kohlenstoffgehaltes verfolgt. Die Zunahme an bakterieller Biomasse, die durch mikroskopische Bestimmung ermittelt wurde, und die Abnahme organischen Kohlenstoffs konnten dann einander gegenübergestellt werden und die Effizienz der Nahrungsverwertung (erzeugte Biomasse/verbrauchte organische Substanz) berechnet werden.

Beide Detritusarten ermöglichten ein rasches bakterielles Wachstum zu Beginn der Inkubationen mit Wachstumsraten von ca. $0,5 - 0,6 \text{ Tag}^{-1}$ (Lochte und Turley 1988). Ähnlich hohe Wachstumsraten wurden von Deming et al. (1981) und Deming (1985) gefunden und sind vergleichbar mit denen von Bakterien aus dem Oberflächenwas-

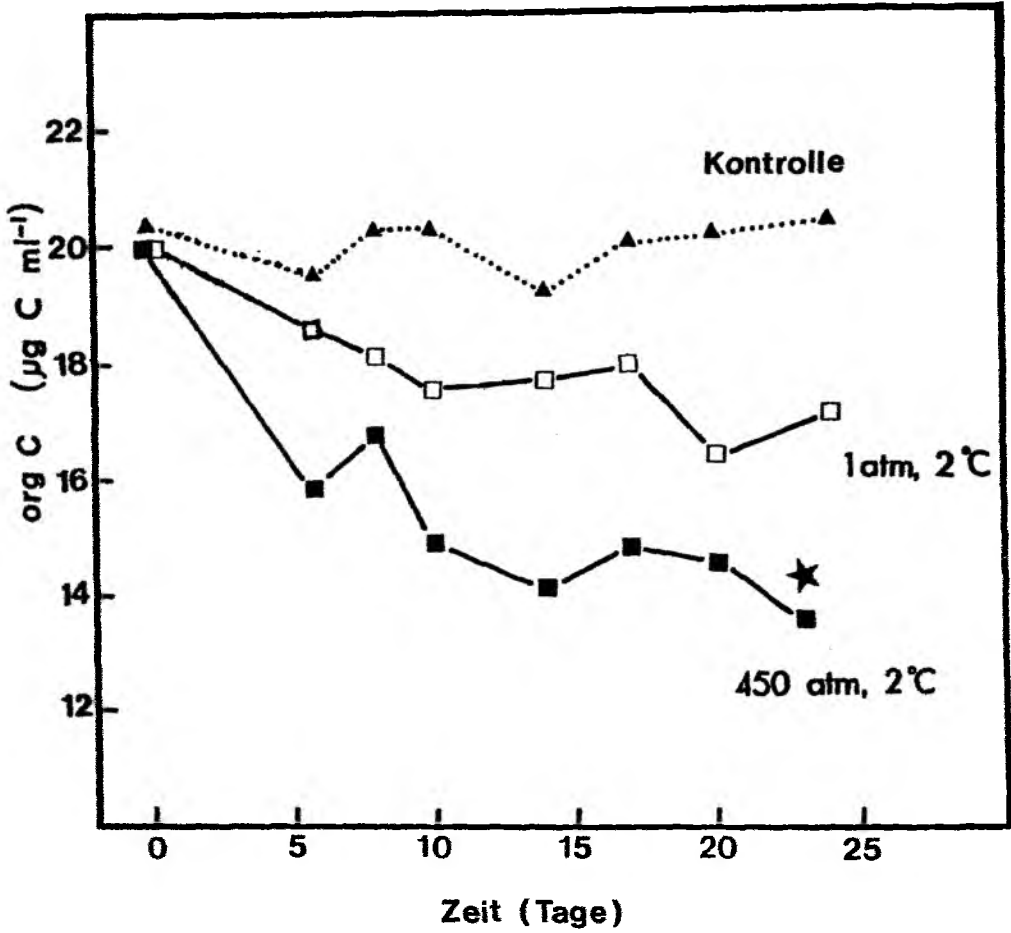


Abbildung 5: Abbau von organischem Kohlenstoff in künstlichem Detritus bei Inkubation mit Sedimentkontaktwasser unter den angegebenen Inkubationsbedingungen. Der Stern bezeichnet die Dekompressionskontrolle. (Nach TURLEY & LOCHTE in prep.)

ser. Gleichzeitig entwickelten sich barophile, bakterivore Flagellaten, die zum Genus Bodo (Protozoa, Bodonidae) zugerechnet werden konnten (Turley et al. 1988). Der Gehalt an organischem Kohlenstoff in künstlichem Phytodetritus (partikulär und gelöst) nahm während der Inkubation um ca. 1 - 2 % pro Tag ab (Abb. 5). In Parallelinkubationen bei 1 atm, 2 °C erfolgte jedoch der Abbau organischen Kohlenstoffes nur halb so schnell, obwohl die bakterielle Biomasseproduktion gleich groß war. Das bedeutet, daß die Effizienz, mit der aus dem verbrauchten organischen Kohlenstoff bakterielle Biomasse produziert wurde, in beiden Fällen unterschiedlich war und ein größerer Anteil unter Tiefseebedingungen veratmet wurde als bei Normaldruck.

Durch diese Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß unter Tiefseebedingungen Detritus durch Mikroorganismen abgebaut und mit einer, wenn auch geringen, Verwertungseffizienz in bakterielle Biomasse umgesetzt werden kann.

Eintrag von organischem Material

Durch die Sedimentation von partikulärer Substanz besteht eine Verbindung zwischen dem produktiven Oberflächenwasser und dem benthischen System. Daher kann auch das Tiefseebenthos nicht isoliert von den darüberliegenden Wasserschichten angesehen werden. Ein solcher Eintrag von organischem Material in Tiefseesedimente konnte durch das Auffinden von Phytodetritus auf dem Meeresboden in der Porcupine Seabight (Billett et al. 1983; Rice et al. 1986) und im BIOTRANS-Gebiet bestätigt werden. Das Phytodetritus-Material aus dem BIOTRANS-Gebiet enthielt eine große Anzahl intakt erscheinender Cyanobakterien, die aus dem Oberflächenwasser stammen und deren Anwesenheit nur durch rasche Sedimentation von Aggregaten erklärt werden kann (Lochte und Turley 1988). Die relativ hohen Gehalte an Chlorophyll a und partikulärem organischem Kohlenstoff deuten ebenfalls auf rasche Sedimentation hin (Thiel et al. in Vorber.) Es konnte abgeschätzt werden, daß mindestens 1 % der neuen Primärproduktion (Frühjahrsblüte) das Tiefsee-Benthos erreicht hatten. Auf welche Art ein solcher Transport in einem ozeanischen Gebiet stattfinden

kann, ist noch nicht geklärt. Es wurde jedoch ein Kaltwasserwirbel im Untersuchungsgebiet festgestellt, der in seinem Randbereich auch vertikale Strömungskomponenten aufweisen kann (Mittelstaedt 1987). In seinem Zentrum wurden hohe Anzahlen von Pteropoden gefunden, die mit ihrem Fangnetz größere Mengen an partikulärem Material konzentrieren, rasch sinkende Kotballen bilden und damit zur Aggregatbildung beitragen können (Beckmann et al. 1987; Lochte und Pfannkuche 1987).

Auch wenn der Prozentsatz sedimentierten Materials im Vergleich zur Oberflächenproduktion gering ist, so stellt dieses doch für das Tiefseebenthos den wichtigsten Nahrungseintrag dar. Durch bakteriellen Abbau und Verwertung durch höhere Organismen wird er zum Teil in benthische Biomasse umgesetzt. Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, daß quasi-saisonale Impulse durch solche Sedimentationsereignisse für den Tiefseeboden gegeben werden.

Literatur

- BAIRD, B.H. and D.C. WHITE (1985): Biomass and community structure of the abyssal microbiota determined from the ester-linked phospholipids recovered from Venezuela Basin and Puerto Rico Trench sediments. *Mar. Geol.* 68, 217 - 231.
- BECKMANN, W., A. AURAS and Ch. HEMLEBEN (1987): Cyclonic cold-core eddy in the eastern North Atlantic. III. Zooplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 39, 165 - 173.
- BENDER, M.L. and D.T. HEGGIE (1984): Fate of organic carbon reaching the deep sea floor: a status report. *Geochimia et Cosmochimia Acta* 48, 977 - 986.
- BILLETT, D.S.M., R.S. LAMPITT, A.L. RICE and R.F.C. MANTOURA (1983): Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. *Nature* 302, 520 - 522.
- COLE, J.J., S. HONJO and J. EREZ (1987): Benthic decomposition of organic matter at a deep-water site in the Panama Basin. *Nature* 327, 703 - 704.
- DEMING, J.W. (1985): Bacterial growth in deep-sea sediment trap and boxcore samples. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 25, 305 - 312.
- DEMING, J.W., P.S. TABOR and R.R. COLWELL (1981): Barophilic

- growth of bacteria from intestinal tracts of deep-sea invertebrates. *Microb. Ecol.* 7, 85 - 94.
- GRAF, G., W. BENGTSON, U. DIESNER, R. SCHULZ and H. THEEDE (1982): Benthic response to sedimentation of a spring phytoplankton bloom: Process and budget. *Mar. Biol.* 67, 201 - 208.
- HARVEY, H.R., M.D. RICHARDSON and J.S. PATTON (1984): Lipid composition and vertical distribution of bacteria in aerobic sediments of the Venezuela Basin. *Deep-Sea Res.* 31, 403 - 413.
- HONJO, S., S.J. MANGANINI and J.J. COLE (1982): Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean. *Deep-Sea Res.* 29, 609 - 625.
- JANNASCH, H.W. and C.O. WIRSEN (1973): Deep-sea microorganisms: in situ response to nutrient enrichment. *Science* 180, 641 - 643.
- Jannasch, H.W. and C.O. Wirsen (1982): Microbial activities in undecompressed and decompressed deep-sea water samples. *Appl. Environ. Microbiol.* 43, 1116 - 1124.
- LANDAU, J.V. and D.H. POPE (1980): Recent advances in the area of barotolerant protein synthesis in bacteria and implications concerning barotolerant and barophilic growth. In: M.R. Droop and H.W. Jannasch (eds.) *Advances in aquatic microbiology*. Vol. 2, pp. 49 - 76. Acad. Press, London.
- LORENZEN, C.L., N.A. WELSCHMEYER and A.E. COPPING (1983): Particulate organic carbon flux in the subarctic Pacific. *Deep-Sea Res.* 30, 639 - 643.
- MITTELSTAEDT, E. (1987): Cyclonic cold-core eddy in the eastern North Atlantic. I. Physical description. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 39, 145 - 152.
- RICE, A.L., D.S.M. BILLET, J. FRY, A.W.G. JOHN, R.S. LAMPITT, R.F.C. MANTOURA and R.J. MORRIS (1986): Seasonal deposition of phytodetritus to the deep-sea floor. *Proc. R. Soc. Edinburgh*, 88B, 265 - 279.
- SMITH, C.R., P.A. JUMARS and D.J. DEMASTER (1986): In situ studies of megafaunal mounds indicate rapid sediment turnover and community response at the deep-sea floor. *Nature* 323, 251 - 253.

- SMITH, K.L. jr., A.F. CARLUCCI, R.A. JAHNKE and D.B. CRAVEN (1987): Organic carbon mineralization in the Santa Catalina Basin: benthic boundary layer metabolism. *Deep-Sea Res.* 34, 185 - 211.
- THIEL, H., O. PFANNKUCHE, R. THEEG and G. SCHRIEVER (1987): Benthic metabolism and standing stock in the central and northern deep Red Sea. *P.S.Z.N.I.: Marine Ecology* 8, 1 - 20.
- YAYANOS, A.A., A.S. DIETZ and R. van BOXTEL (1979): Isolation of a deep-sea barophilic bacterium and some of its growth characteristics. *Science* 205, 808 - 810.

2.5 Zur Denitrifikation in der Ostsee

Ingrid Brettar und Paul Kähler

Unter Sauerstoffmangel benutzt eine Gruppe von Bakterien beim Abbau von organischer Materie Nitrat und Nitrit als Oxidationsmittel. Dabei entstehen gasförmige Stickstoffverbindungen, im wesentlichen elementarer Stickstoff (N_2) und in Spuren dessen Vorläufer Distickstoffoxid (N_2O). Beide sind für Pflanzen nicht verfügbar, dem System wird durch diesen Vorgang der Denitrifikation also wachstumsfördernder Stickstoff entzogen. Da im größten Teil der Ostsee das Planktonwachstum Stickstoff-limitiert ist (Larsson et al. 1985), wirkt sie einer Eutrophierung entgegen.

Eutrophierung fördert den Aufbau von Biomasse durch Pflanzen, bei deren anschließendem Abbau die Sauerstoffzehrung und damit die Ausdehnung Sauerstoff-verarmerter Bereiche im Tiefenwasser der Ostsee (Fonselius 1969). Auch in Flachwassergebieten wird vermehrt Sauerstoffarmut tieferer Wasserschichten zur Zeit der Sommerstagnation beobachtet (Weigelt 1987). Hier liegt der Gedanke an einen Mechanismus der negativen Rückkopplung nahe: Eutrophierung begrenzt sich möglicherweise selbst durch Förderung der Stickstoffeliminierung über die Denitrifizierung (Röner 1985; Larsson et al. 1985).

Anoxis ist aber nur eine Voraussetzung für die Denitrifikation, kritisch kann jetzt die Versorgung mit Nitrat werden: Beim Abbau organischer Materie wird Stickstoff auf der Oxidationsstufe des Ammoniums mineralisiert, Nitrat entsteht daraus erst durch die Tätigkeit der nitrifizierenden Bakterien, die es unter Energiegewinn oxidieren; für diesen Prozeß wird Sauerstoff benötigt. Denitrifikation braucht also beides: Das aerob gebildete Nitrat und anaerobe Verhältnisse. Als drittes kommt ein Bedarf an organischen Verbindungen bzw. Reduktionsmitteln hinzu, die vom Nitrat oxidiert werden können.

Entsprechend ist die Denitrifikation auf besondere Lebensräume

beschränkt, sie ist dort möglich, wo oxische Bereiche in Kontakt mit anoxischen stehen und genügend organische Stoffe vorhanden sind. Diese Gegebenheiten sind an der Oberfläche von Sedimenten und in der Kontaktzone oxischer und anoxischer Wasserkörper gegeben. Auch suboxische Bereiche, wo Nitrifizierung noch möglich ist, kommen in Frage (Rönner und Sörensson 1985).

In der Ostsee ist die Denitrifikation bisher erst wenig untersucht. Um ihr Ausmaß abzuschätzen, können zwei grundsätzlich verschiedene Wege beschrritten werden: die Bilanzierung von Komponenten des Stickstoffkreislaufes basierend auf stöchiometrischen Modellen der Nährstofffreisetzung beim Abbau organischer Materie und der Berechnung von Nitratdefiziten und andererseits die experimentelle Ermittlung von Denitrifikationsraten. Schaffer und Rönner (1984) gingen den ersten Weg; in Verbindung mit einem Modell des Stofftransports in der Wassersäule errechnen sie für den Wasserkörper unter der Salzgehaltssprungschicht der mittleren Ostsee eine Denitrifikationsrate von $1,8 \text{ mmol N pro m}^2$ und Tag. Da im betreffenden Wasser die Sauerstoffgehalte für den Ablauf der Denitrifikation zu hoch sind, schreiben sie 80 - 90 % der errechneten Rate den darunterliegenden Sedimenten zu. In einer Bilanzierung der Ein- und Austräge von Stickstoff in die Ostsee unter Einbeziehung der errechneten Denitrifizierung ermittelt Rönner (1985) ein zusätzliches Bilanzdefizit, das er der Denitrifikation von Sedimenten oberhalb der Halokline bei Raten von ca. $0,95 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ zuschreibt.

Bei den experimentellen Ansätzen ist die wohl am häufigsten angewandte Methode der Acetylen-Block (Sörensen 1978). Acetylen unterdrückt schon in geringen Konzentrationen die Umwandlung von N_2O in N_2 , den letzten Schritt der Denitrifikation. Unter seiner Einwirkung akkumuliert also denitrifizierter Stickstoff als N_2O , dessen Konzentration gaschromatographisch mit EC-Detection bestimmt werden kann. Entsprechende Änderungen in der N_2 -Konzentration sind vor dem Hintergrund des Stickstoffgehaltes der Luft nicht bestimmbar.

Unsere eigenen Untersuchungen wurden 1987/88 an Sedimenten der

Kieler Bucht (Kähler und Balzer 1989) und 1985 - 87 in der Wassersäule an Stationen in der mittleren Ostsee (Brettar 1989) unter Einsatz der Acetylen-Block-Methode durchgeführt.

Untersuchungen in Sedimenten der Kieler Bucht

Für die Sedimente der Ostsee liegen eine Reihe von Untersuchungen aus dänischen Küstengewässern vor, die nach diesem Verfahren durchgeführt wurden (Sørensen 1978; Andersen et al. 1985; Koike und Sørensen 1988). Hier wurden Raten im Bereich von 0 - 8,5 mmol m⁻² d⁻¹ gemessen, die Aktivität war auf die obersten Sedimentzentimeter beschränkt und die Spitzenwerte traten bei einer Nitratversorgung aus der Wassersäule mit Nitratkonzentrationen von mehreren 100 µmol l⁻¹ auf. In der Kieler Bucht liegen die höchsten beobachteten Nitratwerte im Wasser mit um 15 µmol l⁻¹ wie in den meisten Küstengebieten viel niedriger.

Raten der Denitrifikation in Oberflächensedimenten der Kieler Bucht wurden als Akkumulationsraten von N₂O nach Einspritzen von Acetylen-gesättigtem Wasser in ungestört entnommene Sedimentkerne (Kastengreifer, Taucher) in halbstündigen Abständen bei einer maximalen Inkubationszeit von anderthalb Stunden gemessen. Es konnten Jahresgänge für Sedimente verschiedenen Typs - von Sanden im Flachwasser um 10 m bis zu Schlickten bei 28 m Wassertiefe aufgenommen werden. Für jeden Sedimenttyp wurden Proben von mehreren Standorten untersucht. Es ergab sich, daß für ähnliche Sedimente die Denitrifikationsraten nach Höhe, Tiefenverteilung, Variabilität und Entwicklung im Zeitablauf ähnlich waren. Deshalb konnte die Gesamtmenge des im Jahr in der Kieler Bucht denitrifizierten Stickstoffs berechnet werden, indem die ermittelten Raten mit der Fläche der entsprechenden Sedimente multipliziert wurden.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Im Jahresgang liegt für alle Sedimenttypen das Maximum der Denitrifikation im späten Frühjahr und sinkt gegen Ende des Sommers gegen null.

Sande haben die höchste (0,53), schlickige Sande eine mittlere (0,25) und Schlicke die niedrigste (0,08) Rate (Angaben für 1987 in $\text{mmol m}^{-2} \text{d}^{-1}$, über das Jahr gemittelt). In Sanden ist Denitrifikation bis in Tiefen um 10 cm möglich, in Schlicken beschränkt sie sich im wesentlichen auf den obersten Zentimeter.

In der Kieler Bucht (Fläche: 2571 km^2 (Babenerd und Gerlach 1987) wurde 1987 im Sediment auf der Grundlage der ermittelten Daten eine Denitrifikation von ca. 3450 t N errechnet; das entspricht etwa einem Fünftel des Stickstoffeintrags in dieses Gebiet.

Es besteht eine enge Kopplung an die Verfügbarkeit von Nitrat, Quelle des Nitrats ist die Nitrifikation im Sediment selbst. Die Umschlagzeiten für Nitrat sind sehr kurz (<12 h).

Eine enge Kopplung von Nitrifikation und Denitrifikation und die Begrenzung der Denitrifikation durch das Nitratangebot wurde in Sedimenten auch von anderen Autoren beobachtet (Henriksen und Kemp 1988). Bei direkter Nitratzufuhr reagieren sie in der Regel mit deutlich erhöhter Denitrifikation (z.B. um 40- bis 1000-fach, Kaspar 1982). Abgesehen von der Möglichkeit der Zufuhr von Nitrat aus der Wassersäule, wie sie in stark stickstoffbelasteten Küstengebieten vorkommt (Nishio et al. 1983, oben zitierte dänische Arbeiten) ist eine Erhöhung des Nitratangebotes über eine verstärkte Nitrifikation im Sediment möglich. Billen (1978) hat für sandige Sedimente der Nordsee beschrieben, daß hier steigende Zufuhr von organischer Substanz die Ammoniumfreisetzung erhöhte. Das führte zunächst zu einer Steigerung sowohl der Nitrifikation als auch in der Folge zu höherer Denitrifikation. Eine weitere Erhöhung der Zufuhr organischer Substanz senkte dann aber bei entsprechend anwachsender Sauerstoffzehrung die Nitrifikation und damit auch die Denitrifikation wieder.

Da in der Kieler Bucht Sande die Hauptstandorte der Denitrifikation sind, soll für sie der Zusammenhang von Ammoniumlieferung und Ammoniumgehalt mit der Denitrifikation aufgezeigt werden. Die Sauerstoffzehrung der Sedimente ist Ausdruck des heterotrophen Abbaus organischer Substanz durch die Benthoslebensgemeinschaft

und somit auch ein indirektes Maß für die Höhe der Ammoniumproduktion. Abb. 1 zeigt, daß die Denitrifikation von Sanden mit steigender Sauerstoffzehrung sinkt, entsprechend ist auch die Beziehung zu den resultierenden Ammoniumgehalten negativ. Offenbar ist der Bereich einer Förderung durch den oben skizzierten Mechanismus hier schon überschritten.

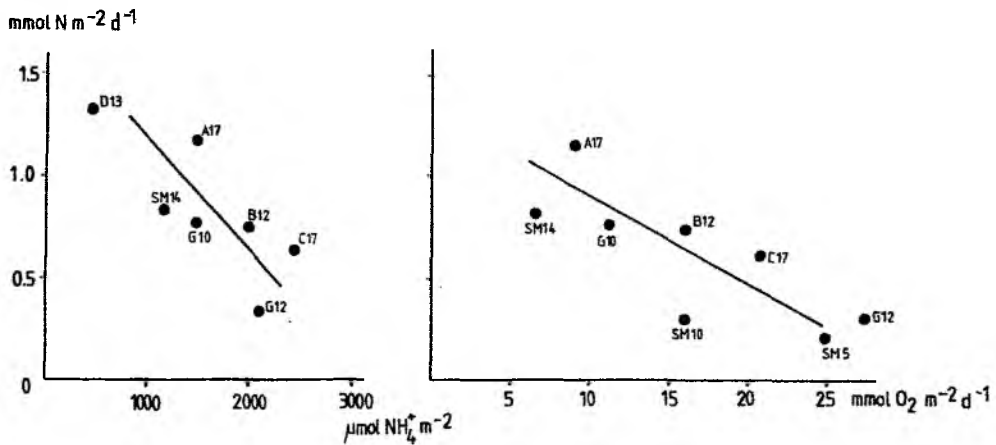


Abb. 1: Beziehung zwischen Denitrifikation und Ammoniumvorrat der oberen 10 cm (links) und der Sauerstoffzehrung (rechts) sandiger Sedimente im letzten Drittel des Monats Mai (G = Gabelsflach, B = Boknis, SM = Schleimünde, A,C,D = zentrale Kieler Bucht; Zahlen = Wassertiefe in m).

Es fehlt auch jeder Hinweis, daß möglicherweise stärker Stickstoff- und organisch belastete Sedimente (beim Klärwerk Bülk, vor Schleimünde, in der Schwentinemündung) höhere Denitrifikationsraten hatten als entsprechende Sedimente weiter entfernt von Verschmutzungsquellen. Im Gegenteil, die höchsten Raten wurden in küstenfernen Gebieten gemessen.

Die Bedingungen für eine nennenswerte Denitrifikation in der Wassersäule der Kieler Bucht sind nicht gegeben: Zu Zeiten, wo

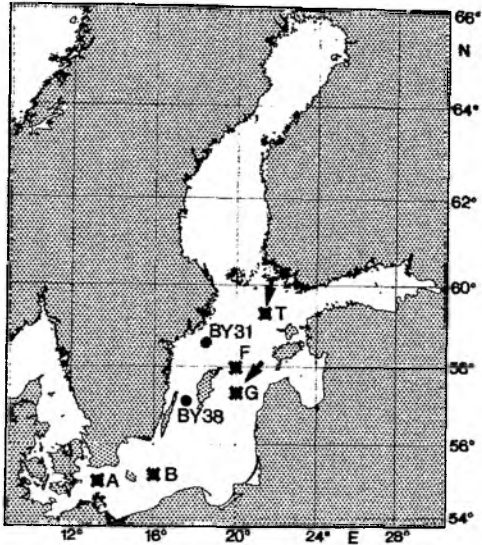
sauerstoffarmes Tiefenwasser mit sauerstoffreicherem Oberflächenwasser in Kontakt steht (Sommer), ist dieses wegen der Aufnahme durch Planktonalgen an Nitrat verarmt. Anders dagegen sind die Verhältnisse in der zentralen Ostsee: Hier gibt es in größerer Tiefe eine Kontaktzone zwischen nitratreichem und sauerstofffreiem Wasser.

Denitrifikation in der Wassersäule der zentralen Ostsee

Aufgrund der hydrographischen Bedingungen kommt es in der zentralen Ostsee zur Ausbildung von O_2 -armem und O_2 -freiem Tiefenwasser. Eine wesentliche Ursache hierfür ist die Halokline, eine stark ausgebildete Salzsprungschicht im Bereich von 50 - 70 m Tiefe. Diese hemmt die O_2 -Diffusion und die vertikale Durchmischung. Im Bereich des Gotlandtiefs ist zusätzlich der Tiefenwasseraustausch behindert, was zu mehrjährigen Stagnationsperioden und Anreicherung von Schwefelwasserstoff im Tiefenwasser führt.

Im Mai-Juni wurden von Rönner und Sörensson (1985) erstmalig Untersuchungen zur Denitrifikation in der Wassersäule im westlichen Teil der zentralen Ostsee durchgeführt (s. Stationen BY 31, 38 in Abb. 2). Sie konnten nitratlimitierte Denitrifikation in der Wassersäule unterhalb der Halokline nachweisen.

Im Juli 1987 wurden einige Stationen im östlichen Teil der zentralen Ostsee bearbeitet (s. Abb. 2). Denitrifikation in der Wassersäule konnte allerdings nur im Gotlandtief, Farötief und einem Tief südwestlich von Finnland (= Station T) nachgewiesen werden. Die Ergebnisse, die an diesen Stationen gewonnen wurden, deuten auf eine Begrenzung der Denitrifikation durch den Elektrodendonator hin, der normalerweise der verwertbare organische Kohlenstoff ist. So erreichte bei Station T der Sauerstoffgehalt schon in 100 m Tiefe so geringe Werte, daß Denitrifikation hätte ablaufen können, aber erst in der bodennahen Wasserschicht konnte diese nachgewiesen werden (s. Abb. 3 a, b). Zugabe von C-Quellen (Acetat, Glukose) zu Wasserproben aus dieser O_2 -armen Schicht (0.15 ml O_2 /l) bewirkte erst nach einer lag-Phase von 4 Tagen Denitrifikation. Dies zeigt an, daß nicht genügend verwertbarer



G = Gotlandtief
 T = Teilitief
 F = Farötief
 B = Bornholmbecken
 A = Arkonatief
 BY 38, BY 31 = Stationen von
 Rönner und Sörensson (1980)

Abb. 1:
 Probenahmestationen in der zentralen Ostsee,
 sowie die von Rönner und Sörensson (Mai/Juni 1980) bearbeiteten
 Stationen.

Gotlandtief 30.7. 1987

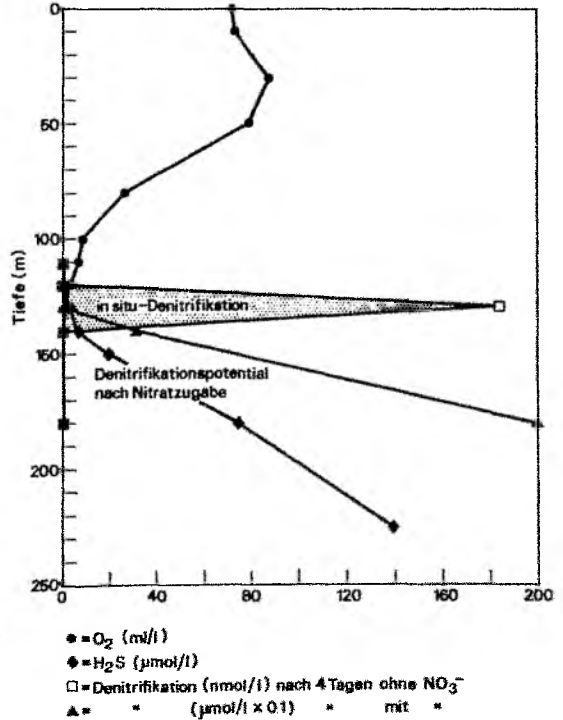
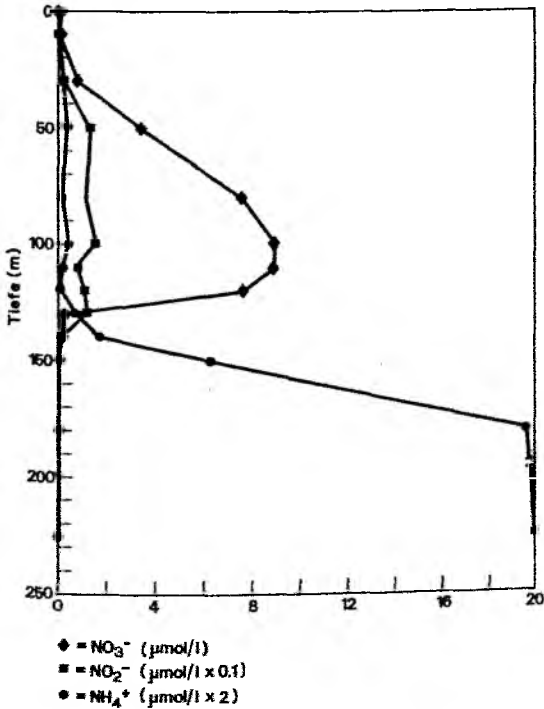


Abb. 2a: Konzentrationen der N-Komponenten: Ammonium, Nitrat und Nitrit in der Wassersäule des Gotlandtiefs.

Abb. 2b: Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffkonzentrationen im Gotlandtief, sowie die pro Tag denitrifizierte Stickstoffmenge ($\text{N} \times \text{l}^{-1} \times \text{d}^{-1}$).

organischer Kohlenstoff für die Denitrifikation in der Wassersäule vorhanden war, im Gegensatz zum sedimentnahen Wasser. Die lag-Phase bis zum Einsetzen der Denitrifikation gibt auch einen Hinweis darauf, daß dieser Zustand der C-Verarmung schon so lange dauerte, daß sich eine entsprechend adaptierte Bakterienbiozönose herausgebildet hatte, und die Denitrifikanten erst nach Zugabe der C-Quellen heranwachsen mußten. Eine ähnliche Situation von C-Limitierung in der Wassersäule wurde im Gotlandtief 1986 und 1987 angetroffen. Nur Wasserproben aus der oxisch-anoxischen Grenzschicht, in denen Schwefelwasserstoff und Nitrat zusammen vorkamen, zeigten in situ-Denitrifikation (s. Abb. 3 a, b). In Wasserproben von oberhalb der Grenzschicht konnte auch bei 12-tägiger Inkubation keine Denitrifikation nachgewiesen werden, obwohl der Sauerstoffgehalt bei der Probennahme nur geringfügig über dem Wert lag, bei dem mit Einsetzen der Denitrifikation zu rechnen ist. Es ist anzunehmen, daß hier nicht genügend organischer Kohlenstoff vorhanden war, um sowohl die Reduktion des Sauerstoffgehaltes als auch eine Denitrifikation zu bewirken.

Wurde zu Wasserproben von unterhalb der oxisch-anoxischen Grenzschicht Nitrat zugegeben, so zeigte sich mit ansteigendem H_2S -Gehalt der Wasserprobe ein steigendes Denitrifikationspotential. Versuche unter Zugabe von Thiosulfat und Sulfid als Elektronendonator zeigten, daß diese reduzierten Schwefelverbindungen sehr schnell verwertbare Elektronendonatoren für die Denitrifikation an der oxisch-anoxischen Grenzschicht darstellten. Auch ein Wachstum der vorliegenden Bakterienbiozönose unter diesen Bedingungen konnte verzeichnet werden. Ein Hinweis auf eine chemolithoautotrophe Bakterienpopulation könnte die stark erhöhte CO_2 -Dunkelfixierung sein, die K. Gocke im Bereich der oxisch-anoxischen Grenzschicht nachweisen konnte (s. Kap. 2.2).

Das Nitrat für die Denitrifikation in der Wassersäule kann durch turbulente Diffusion aus dem O_2 -haltigen Teil der Wassersäule angeliefert werden, wie es z.B. im Gotlandtief der Fall war. Bei Wasserschichten mit geringem Sauerstoffgehalt (zwischen 0,2 und 0,1 ml O_2/l) können Nitrifikation und Denitrifikation gleichzeitig ablaufen, so daß das Nitrat am selben Ort gebildet und

verbraucht wird (z.B. Station T).

Die dargestellten Untersuchungen zeigen, daß die Denitrifikation in der Wassersäule der zentralen Ostsee differenziert gesehen werden muß. Während Rönner und Sörensson (1985) im Frühsommer im westlichen Teil der zentralen Ostsee sehr hohe Denitrifikationsraten unter N-Limitierung antrafen, deuten unsere Untersuchungen im Spätsommer auf eine C-Limitierung der Denitrifikation hin. Da eine gute Kohlenstoffversorgung nur durch das Absinken von organischem Material aus der euphotischen Schicht, seltener durch regionale Besonderheiten wie Sedimentresuspension und Upwelling, gewährleistet werden kann, ist anzunehmen, daß eine C-Limitierung hier eher den Normalfall in der Wassersäule repräsentiert. Ein Hinweis darauf könnte sich aus der Diskrepanz zwischen den beiden Berechnungsansätzen von Shaffer und Rönner (1984) für die Gesamtdenitrifikation in der zentralen Ostsee ergeben. Die nur aus den Frühjahrmessungen hochgerechneten Werte ($2,8 \mu\text{g N l}^{-1}\text{d}^{-1}$) ergaben mehr als die fünffache Denitrifikationsrate verglichen mit denen, die nach der Nitratkonservationsmethode ($0,5 \mu\text{g N l}^{-1}\text{d}^{-1}$) aus Daten eines längeren Zeitraumes (1972 - 1980) errechnet wurden. Für diese Diskrepanz würde eine aufgrund von C-Limitierung stark verminderte Denitrifikation während eines großen Teils des Jahres einen guten Erklärungsansatz liefern.

Ausblick

Eine Prognose für die Entwicklung der Stickstoffdynamik in der Ostsee mit Blick auf die Denitrifikation ist bei den wenigen vorliegenden Erhebungen nach wie vor schwierig. Unsere Untersuchungen haben wichtige Einzelheiten erbracht, die bei einem solchen Vorhaben berücksichtigt werden müssen. Die Vorstellung, steigende Stickstoffzufuhr würde alle Teilprozesse des Stickstoffkreislaufes einschließlich der Denitrifikation fördern (Rönner 1985), muß in wesentlichen Punkten korrigiert werden. Für küstennahe Sedimente konnte ein entgegengesetzter Trend gezeigt werden, auch sind hier die Raten wesentlich geringer als nach dem o.g. Modell errechnet. In der Wassersäule sind die Limitierung durch den Elektronendonator und die bisher nicht berücksichtigte

Reaktion mit H_2S zu beachten.

Zunehmender Sauerstoffschwund bringt eine Verringerung der Nitrifikation mit sich - anoxische Tiefenwasserbereiche fallen ganz für den gekoppelten Prozeß der Nitrifikation/Denitrifikation aus. Daß auch in Flachwasserbereichen der Stickstoffkreislauf nicht mehr vollständig nach dem oxischen Typ abläuft, zeigen die oft hohen Anteile an Ammonium im Winterwasser der Kieler Bucht (bis 50 % des gelösten organischen Stickstoffs, v. Bodungen 1986).

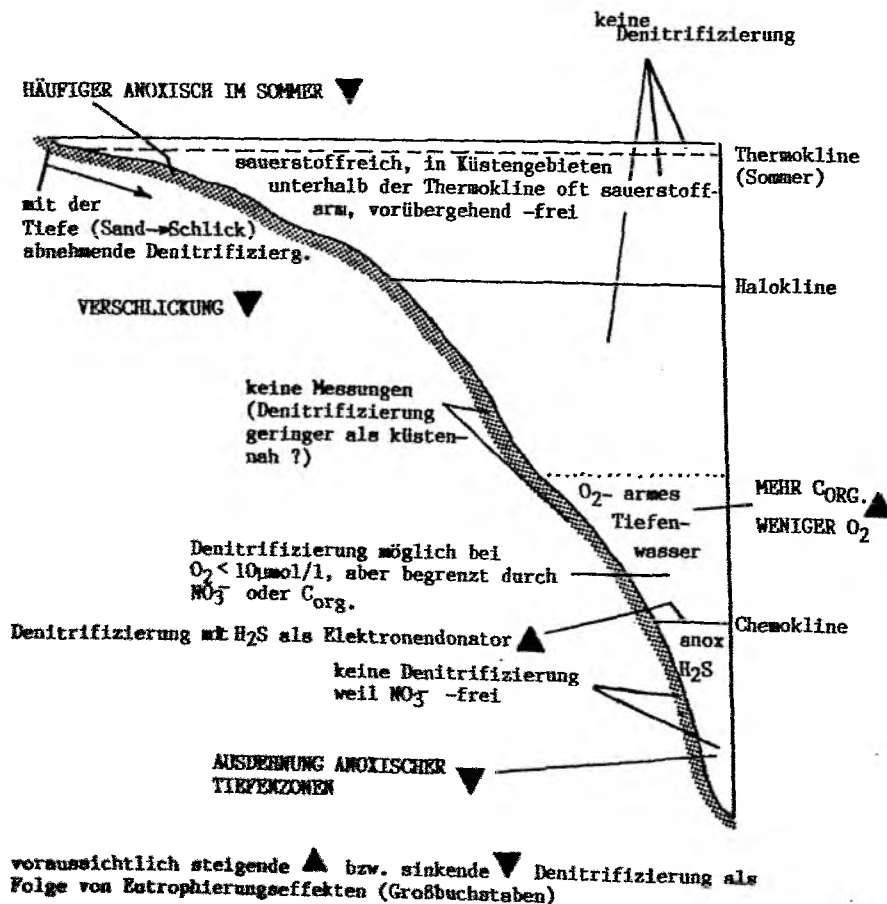


Abb. 4: Vertikale Gliederung der Denitrifikation in der Ostsee und mögliche Auswirkungen der Eutrophierung.

Die abschließende Graphik verdeutlicht einige Zusammenhänge von Eutrophierung und Denitrifikation.

Literatur

- Andersen, T.K., M.H. Jensen and J. Sørensen (1984): Diurnal variation of nitrogen cycling in coastal, marine sediments. I. Denitification. *Mar. Biol.* **83**, 171 - 176.
- Babenerd, B. and S.A. Gerlach (1987): Bathymetry and sediments of Kieler Bucht. In: Rumohr, J., E. Walger, B. Zeitzschel (eds.) *Seawater-Sediment Interactions in Coastal Waters*. Berlin, pp. 16 - 31.
- Billen, G. (1978): A budget of nitrogen recycling in North Sea sediments off the Belgian coast. *Est. Coast. Mar. Sci.* **7**, 127 - 146.
- Bodungen v., B. (1986): Annual cycles of nutrients in a shallow inshore area. Kiel Bight - variability and trends. *Ophelia* **26**, 91 - 107.
- Fonselius, S. (1969): Hydrography of the Baltic deep basins III. Fisheries Board of Sweden Ser. Hydrograph. Rep. **23**, 1 - 97.
- Henriksen, K. and W.M. Kemp (1988): Nitrification in estuarine and coastal marine sediments. In: Blackburn T.H., J. Sørensen (eds.) *Nitrogen cycling in coastal marine environments*. Chichester, pp. 207 - 250.
- Kähler, P. und W. Balzer (1989): Denitrification in Kiel Bight sediments: Variation with sediment type and season. *Mar. Biol.* **74**, 133 - 139.
- Kaspar, H.F. (1982): Denitrification in a marine sediment: Measurement of capacity and estimate of in situ rate. *Appl. Environ. Microbiol.* **43**, 522 - 527.
- Koike, I. and J. Sørensen (1988): Nitrate reduction and denitrification in marine sediments. In: Blackburn, T.H., J. Sørensen (eds.) *Nitrogen cycling in coastal marine environments*. Chichester, pp. 251 - 273.
- Larsson, U., R. Elmgren and F. Wulff (1985): Eutrophication and the Baltic Sea: Causes and consequences. *Ambio* **14**, 9 - 14.

- Nishio, T., I. Koike and A. Hattori (1983): Estimates of denitrification and nitrification in coastal and estuarine sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 45, 444 - 450.
- Rönner, U. (1985): Nitrogen transformations in the Baltic Proper: Denitrification. *Ambio* 14, 134 - 138.
- Rönner, U. and F. Sörensson (1985): Denitrification rates in a marine sediment as measured by the acetylene inhibition technique. *Appl. Environ. Microbiol.* 36, 139 - 143.
- Shaffer, G. and U. Rönner (1984): Denitrification in the Baltic Proper deep water. *Deep Sea Res.* 31, 197 - 220.
- Sörensen, J. (1978): Denitrification rates in a marine sediment as measured by the acetylene inhibition technique. *Appl. Environ. Microbiol.* 36, 139 - 143.
- Weigelt, M. (1987): Auswirkungen von Sauerstoffmangel auf die Bodenfauna der Kieler Bucht. *Forschungsbericht Umweltbundesamt*, 299 pp.

3. Bakterien im Nahrungsnetz

Mikroorganismen spielen eine wichtige Rolle in den pelagischen und benthischen Nahrungsnetzen. Sie können gelöste organische Stoffe in sehr geringen Konzentrationen aufnehmen, die von den Primärproduzenten, also vor allem dem Phytoplankton, z.B. durch Exsudation und Lyse abgegeben werden (Iturriaga und Hoppe 1977; Wolter 1982; Bauerfeind 1985). Dazu kommen noch solche Stoffe, die von Tieren stammen, u.a. Kotpillen (fecal pellets), oder mit Flüssen in die Küstenmeere gelangen. Die Bakterien vermögen die gelösten Verbindungen rasch aufzunehmen und wandeln sie zu einem beträchtlichen Teil in bakterielle Biomasse um. Diese dient dann anderen Organismen - vor allem Protozoen - als Nahrung und findet so Aufnahme in das Nahrungsnetz. Auch über Endosymbiosen zwischen chemoautotrophen Bakterien und Meerestieren werden Nährstoffe in das Nahrungsnetz eingebracht (Schmaljohann und Flügel 1987). Dieser Weg war bis vor wenigen Jahren noch unbekannt.

3.1. Bakterien als Nahrung von Flagellaten und Ciliaten im Pelagial und Benthos der Ostsee

Helena Galvao, Veronika Gast, Hermann Sichert

Als Destruenten bauen heterotrophe Bakterien organisches Material ab und stellen somit z.B. dem Phytoplankton wichtige anorganische Nährstoffe zur Verfügung. Diese Remineralisation des organischen Materials erfolgt sowohl innerhalb der Wassersäule als auch in und auf den Sedimenten. Neben partikulärem organischen Material werden von Bakterien vor allem gelöste organische Verbindungen verwertet und diese teils zur Deckung des Energiebedarfs der Zelle verbraucht, teils zum Aufbau bakterieller Biomasse herangezogen. Die produzierte Bakterienbiomasse kann von den Primärkonsumenten aufgenommen werden, so daß auf diesem Weg gelöstes organisches Material in das Nahrungsnetz eingeschleust wird.

Im marinen Pelagial spielen Mikrozooplanktonorganismen (<200 µm) eine bedeutende Rolle als Bakterienkonsumenten. Hierzu zählen kleine Metazoen sowie in besonderem Maße heterotrophe Protozoen wie Ciliaten und Flagellaten. Mikrozooplankter filtrieren Partikel im Nanoplanktonbereich (2 - 20 µm) besonders effektiv (Carpriulo and Carpenter 1980), während für das größere Metazooplankton Bakteriennahrung offenbar nur eine geringe Bedeutung hat (Marshall 1973).

Im marinen Sediment sind unter der Makrofauna Polychaeten und Mollusken als Bakterienkonsumenten zu finden; unter der Meiofauna Nematoden und Harpacticiden (Montagna 1984) sowie unter der Mikrofauna Protozoen. In fast jeder der genannten Faunengruppen sind, bezüglich ihrer Nahrungsaufnahme, sogenannte Schlinger, Filtrierer und Pipettierer vorhanden. Meio- und Mikrofauna sind dabei fast ausschließlich auf den interstitiellen Porenraum angewiesen. Die Makrofauna dagegen kann durch ihre bioturbate Tätigkeit die Struktur und Zusammensetzung der Sedimente aktiv beeinflussen.

Zahlreiche Arbeiten haben gezeigt, daß sich Protozoen mit Bakterien als Nahrung kultivieren lassen (Fenchel 1968, Kracht 1982). Bei Laborversuchen zu Untersuchungen des Abbaus von Algen- und Detritusmaterial traten Protozoen ebenfalls als Bakterienkonsumenten auf (Linley and Newell 1981). Dennoch ist bislang recht wenig über Interaktionen von Bakterien und ihren Konsumenten in situ bekannt, wobei die Rolle der Protozoen aufgrund ihres hohen Stoffumsatzes besonders interessant erscheint. Um über diese Zusammenhänge näheren Aufschluß zu erhalten, wurden in Wasserkörpern und Sedimenten der Ostsee Untersuchungen zur Abundanz, Verbreitung und Biomasse der Flagellaten und Ciliaten auf der einen Seite sowie Zahl und Biomasse der Bakterien auf der anderen Seite unternommen. Zudem ließ sich die Filtrationsrate der Mikrozooplankter in situ ermitteln und durch Laborversuche ergänzen.

Untersuchungen der Ciliaten im Pelagial

Die Untersuchungen des Mikrozooplanktons wurden in einem monatlichen Zeitraster von Juni 1981 - Oktober 1982 in der stark eutrophierten Schlei unternommen. Zusätzlich wurde Datenmaterial aus einem relativ wenig belasteten Brackwassergebiet der mittleren Ostsee im August 1982 gesammelt (s. Gast 1983).

Mit zunehmender Eutrophierung von Schleimünde in Richtung Schleswig nahm, einhergehend mit steigender Gesamtbakterienzahl und Gesamtbakterienbiomasse, die Zahl und Biomasse des Mikrozooplanktons der Schlei zu. Das Winterminimum des Mikrozooplanktons fiel mit den geringsten Gesamtbakterienzahlen zusammen. Im Spätsommer bzw. im Herbst, wenn das Phytoplankton große Populationsdichten erreichte und zugleich relativ hohe Bakterienzahlen vorlagen, hatte das Mikrozooplankton seine Hauptentwicklungszeit. Auch im Frühjahr zeigte sich ein, allerdings geringerer Anstieg der Mikrozooplanktonbiomasse. Die Bakterienzahlen waren in dieser Zeit jedoch niedriger als im Herbst. Im küstenfernen Gebiet der mittleren Ostsee lagen Zahl und Biomasse der Bakterien und Mikrozooplankter erheblich unter denen der stark eutrophierten Schlei. Beiden Gewässern war gemeinsam, daß sowohl die Zahl als auch die Biomasse des Mikrozooplanktons im wesentlichen durch die

kleinen Protozoen der 3 - 30 μm -Fraktion (Flagellaten und Ciliaten) bestimmt wurde. Die Verhältnisse von Mikrozooplanktonbiomasse zu Bakterienbiomasse waren in der Schlei deutlich von den Gegebenheiten in der Ostsee verschieden. In der Schlei war die Biomasse des Mikrozooplanktons gewöhnlich höher als die Bakterienbiomasse. In der Ostsee überstieg dagegen die bakterielle Biomasse die des Mikrozooplanktons an 5 von 6 Stationen.

Da Ciliaten ein breites Toleranzspektrum gegenüber der Änderung von physikalisch-chemischen Umweltparametern besitzen, ist das vorhandene Nahrungsangebot für ihre Populationsdynamik ausschlaggebend. Fütterungsversuche des Ciliaten Uronema marinum mit dem marinen Bakterium Vibrio spec. haben gezeigt, daß die Konzentration der Bakteriennahrung einen bedeutenden Einfluß auf die Entwicklung der Ciliaten besitzt (Abb. 1). Erst wenn eine Grenzkonzentration von etwa 10^6 Bakterien/ml - entsprechend 0,115 μg Bakterienkohlenstoff/ml - überschritten war, konnte es zu einer Vermehrung der Ciliaten kommen.

Vergleicht man diese Versuchsergebnisse mit den Gegebenheiten in situ, so wurde zwar diese Grenzkonzentration bezüglich der Bakterienkonzentration sowohl in der Schlei als auch in der Ostsee überschritten. Es konnten jedoch mehr als 0,100 μg Bakterienkohlenstoff/ml lediglich in der mittleren und inneren Schlei mit maximal 0,436 μg C/ml sowie im Fehmarn-Belt nachgewiesen werden. Eine ausreichend hohe Bakterienbiomasse zur Aufrechterhaltung bzw. zur Entwicklung einer planktischen Ciliatenpopulation ist demzufolge nur in stark eutrophierten Küstengewässern oder in Mikrobiotopen mit einer hohen bakteriellen Aktivität zu erwarten. Die im Sommer in der mittleren und nordöstlichen Ostsee auftretenden "Cyanobakterien-Blüten" liefern solche Biotope.

Aus den Ciliatenfunden in der Schlei und ihrer Ernährungsweise geht hervor, daß die meisten Formen ein mehr oder weniger erweitertes Nahrungsspektrum besitzen und neben Bakterien auch Flagellaten und kleine Algen konsumieren können. Nur wenige ernähren sich ausschließlich von Bakterien oder sind überhaupt nicht auf diese angewiesen. Für die Entwicklung der Ciliaten mit bakteriell-

Fütterungsexperiment - Abundanzen Uronema (Räuber) / Vibrio (Beute) vs Zeit

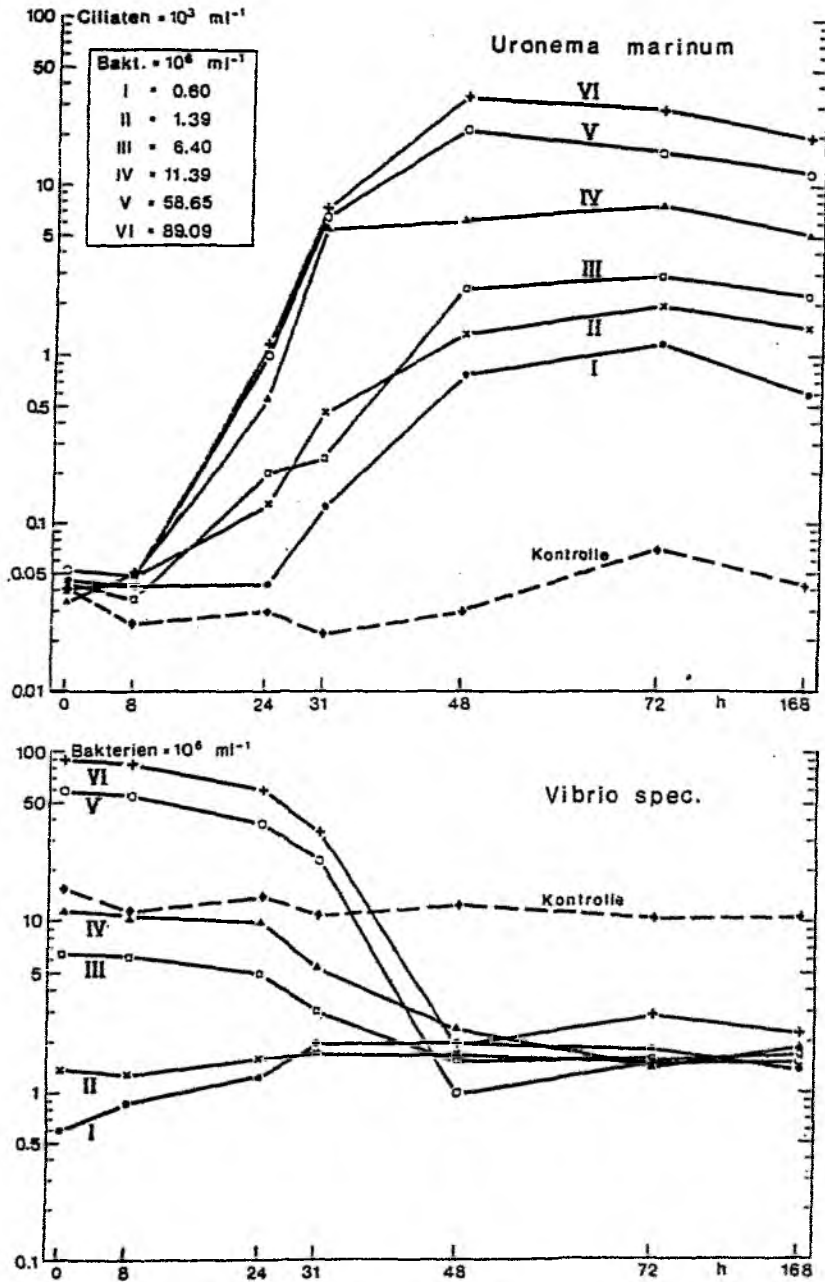


Abb. 1: Einfluß der Bakterienkonzentration (Vibrio spec.) auf die Entwicklung des Ciliaten Uronema marinum. Entwicklung der Ciliatenzahlen (oben); Entwicklung der Bakterienzahlen (unten). Versuchstemperatur 20 °C. Die Kontrollen ohne Bakterien (oben) bzw. ohne Ciliaten (unten) sind gestrichelt eingezeichnet.

ler Zusatznahrung ist also die Summe der verfügbaren Futterbiomassen ausschlaggebend. Eine Vermehrung solcher Organismen wäre demnach auch bei einer geringen Bakterienbiomasse denkbar, sofern andere Nahrungsquellen in ausreichendem Maße vorhanden sind.

Mit Hilfe radioaktiv markierter Kulturbakterien konnte eine Filtrationsrate "natürlicher" Mikrozooplanktonpopulationen ermittelt werden. Diese betragen in der Schlei, im März 1982, 5,3 - 57,6 % des Wasserkörpers pro Tag. Vom Mikrozooplankton der nordöstlich von Bornholm gelegenen Ostseestation wurden im August 1982 70,1 % des Ostseewasser pro Tag filtriert.

Somit zeigte es sich, daß Mikrozooplanktonpopulationen auf der einen Seite durchaus in der Lage sind, Bakterienpopulationen in den Untersuchungsgebieten zu regulieren. Die Bakterien auf der anderen Seite stellen eine wichtige Nahrungskomponente für Protozoen dar. Die Protozoen können aufgrund ihres hohen Reproduktionspotentials sehr schnell auf günstige Ernährungsbedingungen reagieren und somit einen umgehenden Eintrag der Bakterienbiomasse in das Nahrungsnetz bewirken.

Untersuchungen der heterotrophen Flagellaten im Pelagial

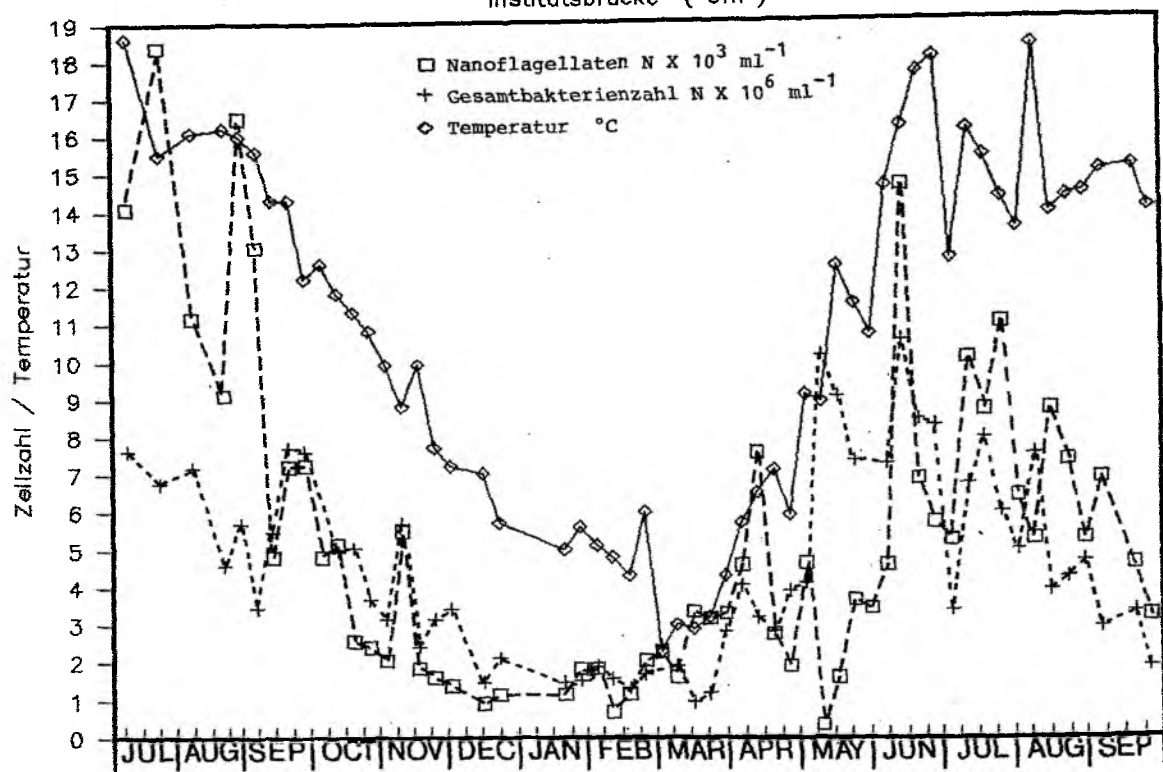
Über heterotrophe Nanoplanktonorganismen und ihre Rolle im sogenannten "microbial loop" (Azam et al. 1983) innerhalb der Ostsee ist relativ wenig bekannt. Ergebnisse des ersten Jahres eines Monitoring-Programms bezüglich des heterotrophen Nanoplanktons wurden in der Kieler Bucht und weiteren Gebieten der Ostsee (Fehmarn Belt und Gotland-Tief) erhalten. Sie unterstreichen die Bedeutung der heterotrophen Flagellaten innerhalb der Gesamtheit der Mikroorganismen. In einer im Juli 1987 in der Kieler Förde begonnenen, intensiven Studie konnte eine deutliche Saisonalität der nicht pigmentierten Flagellaten im Oberflächenwasser nachgewiesen werden (Abb. 2). Es traten Sommer-Maxima im Juni und im Juli mit $1,4 - 1,8 \times 10^4$ Zellen/ml auf; im Winter dagegen Minima im Dezember und Januar (ca. 1×10^3 N/ml). Zeitweise war eine Kovariation zwischen heterotrophem Nanoplankton und Bakterioplankton gegeben, speziell im Herbst, wenn Bakterienspitzen im

Zuge von Blüten kleiner Phytoplankter auftraten. Hierbei stieg die Abundanz der heterotrophen Flagellaten gleichzeitig mit der der Bakterien (s. Abb. 2).

Die Dynamik von Bakterien und Flagellaten war im Frühjahr komplexer. Eine kleine "Frühjahrsblüte" von pigmentfreien Flagellaten - in der Hauptmasse mehrere Arten von Choanoflagellaten - trat von Mitte Februar bis Anfang März auf, zusammen mit dem saisonalen Temperaturminimum von 3 °C. Gleichzeitig waren die Phytoplanktonabundanz (Diatomeen und Phytoflagellaten) von $<10^3$ µg N/ml sowie die Chlorophyll a Konzentrationen von $1-2 \times 10^3$ µg/ml sehr gering. Die Zahl der heterotrophen Flagellaten fiel steil auf weniger als $0,5 \times 10^3$ N/ml am 11. Mai, während die Bakterienzahl auf $1,1 \times 10^7$ N/ml anwuchs. Größere Flagellatenkonzentrationen konnten aber zu dieser Zeit in generell hoch produktiven Wasserkörpern erwartet werden. Möglicherweise trat ein schädigender Einfluß auf die Nanoflagellaten durch eine Art "red tide" auf, verursacht vom 3.- 25. Mai durch ein Massenvorkommen des Silicoflagellaten Distephanus speculum.

Ferner wurden Fütterungsexperimente in situ in der Kieler Bucht durchgeführt. Dabei fanden Diffusionskammern Verwendung, die mit Nuclopore-Membranen verschlossen waren, um den Flüssigkeitsaustausch mit dem Umgebungswasser zu ermöglichen. In diesen Kammern wurde eine aktive Bakterienaufnahme durch Nanoflagellaten nachgewiesen. Ende Oktober 1987 konnte eine maximale Aufnahme rate von 100 - 200 Bakterien je Flagellat und Stunde beobachtet werden. Nach einer Woche in situ Inkubation enthielten die Kammern mit Flagellaten als Konsumenten eine um die Hälfte geringere Bakterienbiomasse als die Kontrollkammern ohne Flagellaten. Außerdem lag das mittlere Zellvolumen der Bakterien in den Kammern mit Konsumenten signifikant unter dem in den Kontrollkammern ($0,037$ µm³ zu $0,078$ µm³). Dies könnte ein Hinweis auf eine Selektion größerer Bakterien als Beute durch Nanoflagellaten sein. Mit Hilfe weiterer Fütterungsexperimente und die bei einer vollständigen Analyse der Verhältnisse im Wasser wird die Einwirkung des heterotrophen Nanoplanktons auf Bakterien, im Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme, besser zu verstehen sein.

Pico- und Nanoplankton Abundanz Institutsbrücke (0m)



Wochen Juli 1987 – September 1988

Abb. 2: Konzentration der Dichten der Bakterien und unpigmentierten Nanoflagellaten sowie der Temperatur im Oberflächenwasser (0 m) der Kieler Bucht. Dargestellt ist ein Jahresgang mit etwa wöchentlichen Untersuchungsintervallen.

Untersuchungen der benthischen Ciliatenpopulation

Zur Erfassung der Populationsdichte der Ciliaten und Bakterien im Sediment wurden im Zeitraum von Februar 1986 bis September 1988 monatliche Probennahmen in der Region Gabelsflach (Kieler Bucht) vorgenommen. Als Begleitparameter dienten Temperatur und der Gehalt an organischem Material im dort vorherrschenden Sandsediment (Sich 1989).

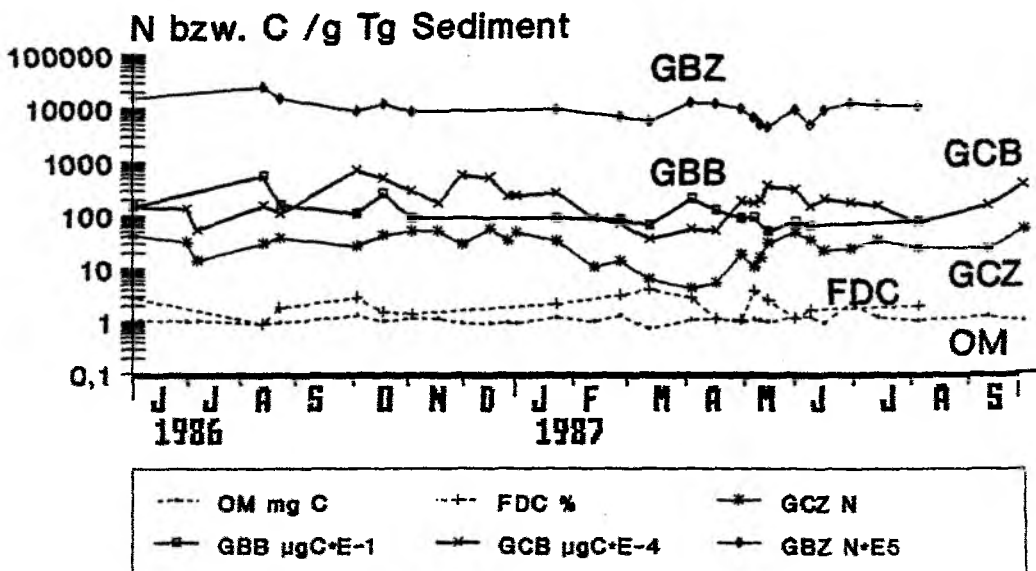
Der Gehalt an organischem Material (OM) zeigte an der Untersu-

chungsstation keine signifikanten jahreszeitlichen Schwankungen. Er lag im Mittel bei 1,05 - 0,06 mg C/g Trockengewicht Sediment (n = 43). Das Gebiet ist also relativ arm an organischem Kohlenstoff. Hier wird, im Gegensatz zu anderen Bereichen der Kieler Bucht, kein sedimentiertes Material in den Boden eingearbeitet. Da aber Sedimentationsereignisse bei Gabelsfisch stattgefunden (Brey 1988) deutet das darauf hin, daß dieses Material an der Oberfläche stofflich umgesetzt oder verdriftet wurde. Die Sedimenttemperatur reichte im Jahresgang von -1 bis +15 °C, wobei ihre Minima mit den geringsten Ciliatenabundanz (GCZ) und - Biomassen (GCB) zusammenfielen. Es ergibt sich für 4 Monate im Jahr (Januar - April) bei einem Temperaturbereich von -1 bis +5 °C eine Individuendichte (N) von 12 - 4,1 Ciliaten/g mit einer Biomasse von 11,1 - 4,4 x 10⁻³ µg C/g (n = 17). Für 8 Monate im Jahr (Mai - Dezember; T: +5 bis +15 °C) lagen die Werte um das Doppelte höher mit einem Mittelwert von 26 - 3,4 N/g bzw. 21,6 - 5,9 x 10⁻³ µg C/g (n = 29). Eine deutliche Vermehrung der Ciliaten setzte bereits bei einer Temperatur von +1 °C ein. Ein exponentieller Anstieg war im April 1987 zu erkennen und fiel in den zeitlichen Rahmen der Sedimentation der Frühjahrsblüte des Phytoplanktons (Abb. 3). Sowohl Gesamtbakterienzahl (GBZ) und bakterielle Biomasse (GBB) - als auch Gesamtzahl (GCZ) und Biomasse der Ciliaten (GCB) zeigten einen nahezu gleichsinnigen Verlauf im Jahresgang. Ein Anstieg der Ciliaten folgte dem der Bakterien mit einer Verzögerung von etwa 4 - 6 Wochen. Bemerkenswert war, daß Maxima in der Anzahl sich teilender Bakterienzellen (FDC) vor denen für Gesamtbakterien lagen und mit deren Minima zusammenfielen. Der durchschnittliche Prozentanteil sich teilender Bakterienzellen (FDC) betrug 2,08 - 0,44 % an der Gesamtzahl (n = 20). Die Menge der nicht angehefteten, frei im Porenwasser flotierenden Bakterien schwankte zwischen 1 und 19 Prozent (n = 5).

Aus der graphischen Darstellung dieser Ergebnisse in Abb. 3 ist zu entnehmen, daß allein im Frühjahr 1987 eine negative Korrelation zwischen Bakterien im Sediment einerseits und Ciliaten andererseits festzustellen ist. Nur im zeitigen Frühjahr, wenn die Ciliatenpopulation möglicherweise durch Hunger synchronisiert

ist sowie die Ciliatenkonsumenten unter den herrschenden Bedingungen noch nicht optimal aktiv sind, kann ein unmaskierter Einfluß der Sedimentciliaten auf Bakterien beobachtet werden. Im übrigen verlaufen die Kurven der Ciliaten- und Bakterienzahlen nahezu gleichsinnig, wenn auch ihre Spitzen zeitversetzt erscheinen, wobei die der Bakterien vor denen der Protozoen liegen.

Abundanz- und Biomasseänderung Sedimentbakterien und Sedimentciliaten vs Zeit



Mittelwerte, Gabelsflach 10 m

Abb. 3: Zeitliche Veränderung der Bakterienzahl (GBZ), der Bakterienbiomasse (GBB), der Ciliatenbiomasse (GCB), der Ciliatenzahl (GCZ), der Anzahl sich teilender Bakterienzellen (FDC) sowie des organischen Materials (OM) im Sediment (Lesrichtung von oben nach unten). Alle Angaben sind auf einen Sedimenthorizont von 0-5 cm im Gebiet Gabelsflach bei 10 m Wassertiefe bezogen. Bemerkenswert ist der gegensinnige Verlauf der Bakterien- und Ciliatenkurven im Frühjahr (März-April) 1987.

Durch Fütterungsexperimente von Sedimentciliaten ($1300 \mu\text{m}^3$ Biovolumen) mit durch den Fluoreszenzfarbstoff DTAF gefärbten Bakterien (Sherr and Sherr 1987) konnte deren Aufnahme in die Nah-

rungsvakuolen unmittelbar nachgewiesen werden. Ingestiert wurden aber lediglich Bakterien, die sich "frei" im Porenwasser befanden. An Sedimentkörnern haftende Bakterien wurden nicht aufgenommen. Ferner schienen von den Ciliaten bevorzugt relativ lange Stäbchen von 3 - 5 μm Länge gegenüber kleineren Kokken ingestiert zu sein. Die untersuchten Ciliaten der 1300 μm^3 -Fraktion stellen am Untersuchungsort zu jeder Jahreszeit mit ca. 78 - 85 % den Hauptanteil der benthischen Ciliatenzahl. Diese Fraktion wird auch in der Literatur als hauptsächlicher Bakterienkonsument beschrieben (Fenchel 1968). In Nahrungsvakuolen der 360 000 μm^3 -Ciliatenfraktion gelang es ebenfalls, aufgenommene Bakterien nachzuweisen. Diese zeigten in transmissions-elektronenmikroskopischen Präparaten z.T. deutliche Verdauungsspuren. Bakterien werden aber hier wohl eher mittelbar, zusammen mit anderen Nahrungsobjekten, von diesen omnivoren Ciliaten aufgenommen.

Zusammenfassend läßt sich für die Beziehungen zwischen Bakterien als Nahrung und Ciliaten bzw. Flagellaten als Primärkonsumenten folgendes sagen: Im Sediment stellen die Porenwasserbakterien eine wichtige Nahrungsquelle für die Ciliaten dar. Diese Nahrung steht wahrscheinlich jederzeit unlimitiert zur Verfügung, da die Zahl der freien Porenwasserbakterien um eine Größenordnung über der Gesamtbakterienzahl im Pelagial liegt. Auffällig ist, daß die bakterivoren Ciliaten trotz dieses reichhaltigen Nahrungsangebots nicht stärker im Sediment vertreten sind. Möglicherweise liefern hierfür der ständige Wegfraß durch Meio- und Makrofauna sowie Sedimentumlagerungen mit dabei auftretenden Scheerkräften bzw. Sedimentverdriftungen eine Erklärung.

Die Bakterienpopulationen im Pelagial können, soweit sie eine Grenzkonzentration übersteigen, in erheblichem Maße von Protozoen (Flagellaten und Ciliaten) beeinflusst werden. In wenig eutrophierten Gebieten der Ostsee dürften vor allem heterotrophe Flagellaten regulierend auf die Bakterienflora einwirken. In stärker belasteten Küstengewässern wie der Schlei und in Mikrobiotopen mit hoher bakterieller Aktivität, z.B. in Algenagglomeraten, treten zusätzlich Ciliaten als bedeutende Bakterienkonsumenten hinzu.

Literatur

- Brey, T. (1988): Der Einfluß physikalischer und biologischer Faktoren auf Struktur und Dynamik der sublitoralen *Macoma*-Gemeinschaft der Kieler Bucht. Diss. Univ. Kiel 252 pp.
- Capriulo, G.M. and Carpenter, E.J. (1980): Grazing by 35 - 202 μ m microzooplankton in Long Island sound. *Mar. Bio.* 56, 319 - 326.
- Fenchel, T. (1968): The ecology of marine microbenthos. II. The food of marine benthic ciliates. *Ophelia* 5, 73 - 121.
- KRACHT, M. (1982): Über den Einfluß einiger abiotischer Faktoren auf Nahrungsaufnahme und Wachstum von *Colpoda cucullus* O. F. Müller (Holotrichia, Ciliata). Diss. Univ Hamburg.
- Linley, E.A. and Newell, R.C. (1981): Microheterotrophs communities associated with the degradation of kelb debris. *Kieler Meeresforsch. Sonderh.* 5, 345 - 355.
- Marshall, S.M. (1973): Respiration and feeding in copepods. *Ad. Mar. Biol.* 11, 57 - 120.
- Montagna, P.A. (1984): In situ measurement of meiobenthic grazing rates on sediment bacteria and edaphic diatoms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 18, 119 - 130.
- Sherr, B., Sherr, E.B. and Fallon, R.D. (1987): Use of monodispersed, fluorescently labeled bacteria to estimate in situ protozoan bacterivory. *Appl. Environ. Microbiol.* 53,(5), 958 - 965.

3.2 Endosymbiosen zwischen methylo-trophen bzw. schwefeloxidierenden Bakterien und wirbellosen Tieren im Skagerrak

Rolf Schmaljohann

Bei systematischen Untersuchungen der Pogonophoren-Besiedlung des Skagerraks wurde festgestellt, daß eine bis dahin unbekannte Pogonophoren-Art, Siboglinum poseidoni, nur an zwei lokal eng begrenzten Arealen zwischen 230 und 340 m Tiefe gefunden werden konnte (Flügel 1983). Wie sich später herausstellte, lebt diese Pogonophoren-Art in Symbiose mit methylo-trophen Bakterien (Schmaljohann und Flügel 1987) und ist daher auf einen kontinuierlichen Methan-Nachschub im oberflächennahen Sediment und eine gleichzeitige gute Sauerstoff-Versorgung durch das sedimentnahe Wasser angewiesen. Diese Bedingungen, die mit einer nahezu konstanten Wassertemperatur von 5 - 7 °C einhergehen müssen, sind offenbar nur an wenigen Stellen im Skagerrak gegeben. Auch eine Muschelart, Thyasira sarsi (Lucinidae), die bereits in Fjorden bei Bergen gefunden wurde und in Symbiose mit S-oxidierenden Bakterien lebt (Dando et al. 1986), erreicht an den von S. poseidoni besiedelten Stellen im Gegensatz zur Umgebung hohe Populationsdichten.

Das offensichtlich gekoppelte Auftreten zweier Symbiosen mit unterschiedlicher Energiequelle an einem Standort stellt ein interessantes Untersuchungsobjekt dar, ebenso die Möglichkeit, die Verhältnisse bei einer Art wie T. sarsi von zwei ganz verschiedenen Standorten miteinander zu vergleichen.

Erste Ergebnisse über die Symbiose von methylo-trophen Bakterien und Siboglinum poseidoni wurden bereits an anderer Stelle mitgeteilt (Schmaljohann und Flügel 1987, Schmaljohann 1987). Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen große Mengen endosymbiotischer Bakterien mit der typischen Feinstruktur von Typ I-Methanoxidierern in den Bakteriozyten des Trophosoms. Methylo-trophe Bakterien mit entsprechenden Merkmalen konnten auch aus dem Sediment isoliert werden, während eine direkte Isolierung der Symbionten aus

dem Wirtsgewebe noch nicht gelang. Inkubationsversuche mit ^{14}C - bzw. ^3H -markiertem Methan zeigten, daß die Pogonophoren in der Lage sind, Methan zu oxidieren und in höhermolekulare Verbindungen zu assimilieren.

Ein direkter Nachweis methylotropher Kapazitäten in einem Gewebe ist möglich über Enzymtests. Hierfür bietet sich vor allem die Methanol-Dehydrogenase (MDH) an, welche in methylotrphen Bakterien die Oxidation vom Methanol zum Formaldehyd katalysiert. Der Enzymnachweis wurde mit einem spektrophotometrischen Test nach Anthony und Zatman (1965) durchgeführt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die ermittelten Enzymaktivitäten.

Tabelle 1: Methanol-Dehydrogenase-Aktivitäten von symbiotischen Bakterien in S. poseidoni bzw. T. sarsi und in Kulturen freilebender Bakterien. Aktivitäten in $\text{nmol} \times \text{min}^{-1} \times \text{mg}^{-1}$ Protein.

<u>S. poseidoni</u> , Vorderteile (ohne Symbionten)	1,5 - 4,1
<u>S. poseidoni</u> , Hinterteile (mit Symbionten)	4,3 - 45,9
<u>Thyasira sarsi</u> , Mantel, Fuß, Gonaden (ohne Symbionten)	0
<u>Thyasira sarsi</u> , Kiemen (mit Symbionten)	0
<u>Methylococcus</u> sp. (isoliert aus Sediment der Kieler Bucht)	161 - 215
<u>Methylomonas methanica</u> (aus Stammsammlung, ATCC)	118 - 129

Im Hinterteil von S. poseidoni ist eine deutlich größere Aktivität vorhanden als im Vorderteil, was auf die Konzentration der Bakterien im Trophosom im hinteren Körperabschnitt zurückzuführen ist. Die Aktivität der S. poseidoni-Homogenisate ist etwas geringer als die von Reinkulturen methylotrpher Bakterien. Bei einem Vergleich muß jedoch berücksichtigt werden, daß das für die Aktivitätsbestimmungen verwendete Homogenisat von S. poseidoni zu einem großen Teil auch aus eukaryotischen Zellorganellen besteht.

Die methylo trope Aktivität der symbiotischen Bakterien selbst hat also sicher die gleiche Größenordnung wie die von freilebenden Methanoxidierern. Andere symbiotische Assoziationen zwischen marinen Invertebraten und methylo trophen Bakterien weisen ähnlich hohe MDH-Aktivitäten auf (Fisher et al. 1987) bzw. sogar bis zu 10 mal höhere (Cavanaugh et al. 1987).

Die Analyse der stabilen C-Isotopen-Verhältnisse hat sich in den letzten Jahren als eine große Hilfe bei der Untersuchung von symbiotischen Assoziationen erwiesen. Die Methode erlaubt es, Rückschlüsse auf die Ernährungsweise eines Organismus zu ziehen, da das Verhältnis von ^{13}C zu ^{12}C in einem Gewebe die Nahrungsquelle eines Tieres widerspiegelt. Gerade methanoxidierende Organismen sind besonders günstige Objekte für diese Methode, da biogen erzeugtes Methan einen besonders hohen Anteil an dem leichteren ^{12}C aufweist, ebenso wie alle Organismen, die sich davon ernähren. Tabelle 2 gibt einige in diesem Zusammenhang interessierende Isotopenverhältnisse wieder. Der Grad der Fraktionierung wird hier wie üblich als $\delta^{13}\text{C}$ ausgedrückt, das die Abweichung gegenüber einem international verwendeten Carbonat-Standard wiedergibt. Hierbei bedeuten hohe negative Werte einen hohen Anteil an ^{12}C .

Das am Fundort von S. poseidoni zur Verfügung stehende Methan hat einen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -80,3 ‰. Dieser zeigt an, daß es sich dabei um biogen erzeugtes Methan handelt, da bei thermogener Entstehung wesentlich niedrigere $\delta^{13}\text{C}$ -Werte vorkommen (-30 bis -60 ‰).

S. poseidoni weist im Vergleich mit anderen sediment-bewohnenden Tieren einen extrem negativen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von -74 ‰ auf. Der hohe Anteil an ^{12}C deutet darauf hin, daß die Haupt-C-Quelle dieser darmlosen Würmer das am Fundort vorhandene biogene Methan sein muß. Wenn das $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis des symbiontenfreien Vorderteils von S. poseidoni mit dem des symbiontenhaltigen Hinterteils verglichen wird, läßt sich auch eine Aussage darüber machen, ob Assimilate von den Symbionten an den Wirt abgegeben werden. Würden sich die methanotrophen Bakterien nur zufällig oder gar als Parasiten in den Körperhöhlen der Pogonophoren aufhalten, so

müßte die Ernährung der darmlosen Würmer auf andere Weise, z.B. durch Aufnahme gelöster organischer Verbindungen aus dem Porenwasser erfolgen. Dann müßten sich auch unterschiedliche $\delta^{13}\text{C}$ -Werte für Vorderteil und Hinterteil ergeben, wobei der vordere Abschnitt in seinem Isotopenverhältnis der organischen Substanz im Sediment ($\delta^{13}\text{C} = -25,3 \text{ ‰}$) nahekommen müßte. Da dies nicht der Fall ist, kann man davon ausgehen, daß das Vorderteil von den Assimilaten der Symbionten im Hinterteil mit versorgt wird.

Ein Vergleich mit anderen Symbiosen, an denen methylo trope Bakterien beteiligt sind (Tab. 2), zeigt, daß S. poseidoni einen fast identischen $\delta^{13}\text{C}$ -Wert wie die Mytilide aus dem Seegebiet westlich Floridas (Paull et al. 1985) hat. Diese beiden Organismen sind diejenigen mit der höchsten bisher bekannten ^{12}C -Anreicherung im biologischen Bereich.

Ein im gleichen Lebensraum wie S. poseidoni im Skagerrak gefundener Annelide (Leanira sp., Fam. Sigalionidae), der keine Symbionten besitzt und partikuläre Nahrung aufnimmt, weist eine nur geringfügige Anreicherung mit ^{12}C auf ($\delta^{13}\text{C} = -19,0 \text{ ‰}$), wie sie auch für Phytoplankton und alle in ihrer Ernährung davon abhängigen Organismen typisch ist.

Der organische Kohlenstoff im Sediment des Fundorts von S. poseidoni ist etwas mehr mit ^{12}C angereichert als das Gewebe des Anneliden ($\delta^{13}\text{C} = -25,3 \text{ ‰}$). Das läßt auf eine gewisse Aktivität von chemoautotrophen oder methanoxidierenden Bakterien schließen, zeigt jedoch auch, daß die in diesem Meeresgebiet sehr hohe Sedimentation für den Hauptteil der organischen Substanz im Sediment verantwortlich ist.

Mindestens zwei Pogonophoren-Arten mit S-oxidierenden Symbionten, Siboglinum fjordicum und S. ekmani, können regelmäßig in der Nachbarschaft der S. poseidoni - Fundstelle im Skagerrak gefunden werden, wenn auch in anderen Tiefenzonen. Diese Arten, deren Verbreitung im Skagerrak wesentlich gleichmäßiger ist als die von S. poseidoni, sind hinsichtlich ihrer Symbiose schon recht gut

Tabelle 2: Stabile C-Isotopen-Verhältnisse von Organismen mit und ohne symbiotische Bakterien und deren Substraten.

Quellen: 1. eigene Untersuchungen, in Zusammenarbeit mit Dr. E. Faber, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover; 2. Paull et al. (1985); 3. Childress et al. (1986); 4. Spiro et al. (1986).

Organismus	Herkunft	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Quelle
Siboglinum poseidoni, Hinterenden	Skagerrak	-74,4	1
Siboglinum poseidoni, Vorderenden	Skagerrak	-73,6	1
Methan, 0 - 10 cm Sedimenttiefe	Skagerrak	-80,3	1
organischer Kohlenstoff, Sediment	Skagerrak	-25,3	1
Leanira sp. (Annelid., ohne Symb.)	Skagerrak	-19,0	1
Mytilide m. methylotr. Symbionten	westl. Florida	-74	2
Mytilide m. methylotr. Symbionten	südl. Louisiana	-52 bis -57	3
Thyasira sarsi, Kiemen	Skagerrak	-39,5	1
Thyasira sarsi, restl. Körper	Skagerrak	-37,4	1
Thyasira sarsi, Kiemen	Fjord bei Bergen	-31,0	4
Thyasira sarsi, restl. Körper	Fjord bei Bergen	-28,2	4
Siboglinum-Arten m. symbiotischen S-Oxidierern	Nordatlantik	-35 bis -45	4

untersucht worden (Spiro et al. 1986; Dando et al. 1986).

In diesem Zusammenhang soll daher auf die Muschel Thyasira sarsi eingegangen werden, deren Vorkommen im Skagerrak eng mit dem von S. poseidoni assoziiert ist. Von dieser Art liegen bereits ausführliche Informationen hinsichtlich der stabilen C-Isotopen, Enzymausstattung und Ultrastruktur der Symbionten vor (Spiro et al. 1986; Southward 1986), jedoch von einem ganz unterschiedlichen Standort, einem Fjord in der Nähe von Bergen mit 60 m Wassertiefe. Chemisch unterscheidet sich das Sediment am Fundort im Skagerrak vor allem durch einen deutlich höheren (riechbaren) H_2S -Gehalt, eine schwarze Färbung des Schlicks bereits dicht unter der Sedimentoberfläche, und einen ca. 10 x höheren Methan-gehalt (Skagerrak 460 - 4600 nmol/dm³, Fjord bei Bergen 60 - 410 nmol/dm³).

Angeregt durch den Befund, daß die Ultrastruktur der symbiotischen Bakterien von T. sarsi aus dem Skagerrak einige Unterschiede zu denen aus Norwegen aufwies, wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, um zu überprüfen, ob hier möglicherweise auch andere Energiequellen als Sulfid genutzt werden. Enzymtests an T. sarsi aus dem Skagerrak ergaben, daß hier keine Methanol-Dehydrogenase nachgewiesen werden konnte (Tab. 1). Dies trifft ebenso auf in Norwegen untersuchte Exemplare zu (Dando, pers. Mitteilung).

Die Analyse der stabilen C-Isotopen-Verhältnisse hingegen zeigte deutliche Unterschiede zwischen beiden Fundstellen. Mit einem $\delta^{13}C$ -Wert von -39,5 ‰ im Kiemengewebe sind die Skagerrak-Individuen weit mehr mit ^{12}C angereichert als die norwegischen ($\delta^{13}C = -31,0$ ‰) und auch mehr als alle anderen bisher bekannten Muscheln mit S-oxidierenden Symbionten. Das Isotopen-Verhältnis liegt vielmehr im Bereich der kleinen Pogonophoren-Arten aus dem Nordatlantik (Siboglinum spp., Tab. 2), die keine partikuläre Nahrung aufnehmen können. Da eine methylo trope Aktivität bei T. sarsi jedoch nicht nachgewiesen ist, bieten sich zwei Erklärungsmöglichkeiten für die besonders hohe ^{12}C -Anreicherung an: 1. Die Ernährung über die S-oxidierenden Symbionten spielt für diese

Tiere im Vergleich zur Verdauung partikulärer Nahrung in ihrem reduzierten Darmsystem eine größere Rolle als bei ihren Verwandten, oder 2. das Bicarbonat, welches als Ausgangsmaterial für die chemoautotrophe CO₂-Fixierung dient, ist bereits besonders stark mit ¹²C angereichert.

Der Fundort von S. poseidoni und T. sarsi im Skagerrak stellt eine in vielerlei Hinsicht bemerkenswerte Erscheinung dar. Zunächst ist es verwunderlich, wieso in einer sonst verhältnismäßig einheitlichen Umgebung plötzlich inselartige kleine Areale mit einer dichten Population von symbiotischen Assoziationen vorkommen. Auch das Auftreten von zwei Symbiosetypen mit verschiedenen C-Quellen an einem Standort ist eine Besonderheit, und die extreme ¹²C-Anreicherung sowohl bei S. poseidoni als auch bei T. sarsi stellt ein bemerkenswertes Phänomen dar.

Es ist denkbar, daß es sich bei diesen Gebieten im Skagerrak um sogenannte "cold seeps" handelt, wie sie in ähnlicher Art auch an einigen Stellen im Kattegat (Whiticar, pers. Mitt.) und in der Nordsee (Hovland and Judd 1988) zu finden sind. Um diese Frage zu klären, ob es sich im Skagerrak auch um eine solche Austrittsstelle reduzierter Porenwässer handelt, müssen noch eingehende chemische und geologische Untersuchungen erfolgen, die für die nahe Zukunft geplant sind. Außerdem sollen die mikrobiologischen Arbeiten über Symbiosen zwischen methylo trophen Bakterien und marinen Wirbellosen auch auf die anderen bekannten Methan-Austrittsstellen im Kattegat und in der Nordsee ausgedehnt werden, zumal dort wegen der geringeren Wassertiefe wesentlich einfachere Arbeitsmöglichkeiten gegeben sind.

Literatur

- Anthony, C. and L.J. Zatman (1965): The microbial oxidation of methanol. The alcohol dehydrogenase of Pseudomonas sp. M 27. Biochem. J. 96, 808 - 812.

- Cavanaugh, C.M., P.R. Levering, J.S. Maki, R. Mitchell and M. Lidström (1987): Symbiosis of methylotrophic bacteria and deep-sea mussels. *Nature* 325, 346 - 348.
- Childress, J.J., C.R. Fisher, J.M. Brooks, M.C. Kennicutt II, R. Bidigare and A.E. Anderson (1986): A methanotrophic marine molluscan (*Bivalvia*, *Mytilidae*) symbiosis: mussels fueled by gas. *Science* 233, 1306 - 1308.
- Dando, P.R. and A.J. Southward (1986): Chemoautotrophy in bivalve molluscs of the genus *Thyasira*. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 66, 915 - 929.
- Fisher, C.R., J.J. Childress, R.S. Oremland and R.R. Bidigare (1987): The importance of methane and thiosulphate in the metabolism of the bacterial symbionts of two deep-sea mussels. *Mar. Biol.* 96, 59 - 71.
- Flügel, H.J. and I. Langhof (1983): A new hermaphroditic Pogonophore from the Skagerrak. *Sarsia* 68, 131 - 138.
- Hovland, M. and A.G. Judd (1988): Seabed pockmarks and seepages. Graham and Trotman Ltd., London 297 S.
- Paull, C.K., A.J.T. Jull, L.J. Toolin and T. Linick (1985): Stable isotope evidence for chemosynthesis in an abyssal seep community. *Nature* 317, 709 - 711.
- Southward, E. (1986): Gill symbionts in thyasirids and other bivalve molluscs. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 66, 889 - 914.
- Spiro, B., P.B. Greenwood, A.J. Southward and P.R. Dando (1986): $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in marine invertebrates from reducing sediments: confirmation of nutritional importance of chemoautotrophic endosymbiotic bacteria. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 28, 233 - 240.

4. Mikrobiologische Arbeiten zum praktischen Meeresschutz

Mikroorganismen kommt für die Verschmutzung und Selbstreinigung des Meeres große Bedeutung zu. Entsprechend wurde schon bald nach Einrichtung der Abt. Marine Mikrobiologie mit Arbeiten zur mikrobiellen Belastung von Küstengewässern durch Abwässer und Abfälle begonnen. Sie waren zunächst vor allem der Überlebensdauer von Abwasserbakterien unter verschiedenen Standortbedingungen gewidmet (Rheinheimer 1968, 1970, 1977; Hoppe 1972; Hoppe et al. 1975; Simman und Rheinheimer 1975; Bauerfeind et al. 1981) Bald kamen Untersuchungen über die Verbreitung von Bakterien und Pilzen hinzu, die auf den Abbau von Schmutzstoffen im marinen Bereich spezialisiert sind. (Iturriaga und Rheinheimer 1972; Saltzmann 1982). Später wurde dann das Schwergewicht auf die mikrobiellen Abbauprozesse unter naturnahen Bedingungen sowie die Entwicklung mikrobiologischer Verfahren für den Meeresschutz gelegt (Schneider 1972; Saltzmann 1982; Kim 1985).

4.1. Mikrobiologisches Monitoring in der Ostsee

Karl Otto Kirstein

Im Jahre 1985 wurde die Abteilung Marine Mikrobiologie des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel von der HELSINKI COMMISSION damit beauftragt, die Grundlagen für ein mikrobiologisches Monitoring der Ostsee zu erarbeiten. Das bedeutete einerseits die Entwicklung neuer Methoden und andererseits eine Optimierung altbewährter Untersuchungsverfahren im Hinblick auf einen vorgesehenen routinemäßigen Einsatz auf Forschungsschiffen in der Ostsee. Ziel der z.Zt. noch andauernden Erprobungsphase des mikrobiologischen Monitoring ist es, der HELSINKI COMMISSION möglichst einfache und kostengünstige mikrobiologische Untersuchungsmethoden an die Hand zu geben. Diese Methoden sollen so konzipiert sein, daß sie von allen Ostseeanrainerstaaten durchgeführt werden können und vergleichbare Resultate über die Gesamtbakterienzahl, die bakterielle Biomasse sowie die Zellzahlen der Saprophyten und coliformen Bakterien liefern.

Aufgrund internationaler Übereinkommen wurden für die Beprobung durch die Bundesrepublik folgende Stationen festgelegt: Boknis-Eck, Vejsnäs-Rinne, Kieler Bucht Mitte bzw. Fehmarn-Belt, Gedser-Rev und Mecklenburger Bucht. Die Beprobungen begannen im Oktober 1985, sind jedoch bis jetzt nicht in einheitlicher Frequenz vorgenommen worden. Die Stationen Boknis-Eck und Fehmarn-Belt wurden von Oktober 1985 bis Dezember 1986 monatlich beprobt und danach zunächst zweimonatlich. Ab Mai 1986 wurde die Station Kieler Bucht Mitte in das Monitoringprogramm mit aufgenommen. Die beiden Stationen Gedser-Rev und Mecklenburger Bucht wurden seit April 1986 zweimal pro Jahr beprobt und zwar jeweils im April und im September. Bei diesen Stationen handelt es sich um internationale Stationen, die wechselseitig von Dänemark, der DDR und der Bundesrepublik (IfM Kiel) aufgesucht werden. Die Probennahmetiefen betragen bei allen Stationen 2 m, 10 m und 20 m. Eine Ausnahme bildet lediglich die Station Kieler Bucht Mitte mit

einer maximalen Probennahmetiefe von 15 m. Die Probennahme erfolgt mit modifizierten Wasserschöpfern nach ZoBell mit einem Fassungsvermögen von 2 Litern.

Zusätzlich zu den genannten Routinefahrten wurden 1988 drei ausgedehntere Reisen unternommen. Die erste führte in der ersten Juniwoche in das Kattegat südlich der Insel Anholt und hatte die Untersuchung der Blüte von Chrysochromulina polylepis zum Ziel. Die zweite Fahrt wurde im Juli durchgeführt. Hierbei ging es um eine Erprobung der internationalen Zusammenarbeit mit Kollegen aus Dänemark, Schweden und Finnland. Das Untersuchungsgebiet erstreckte sich vom Skagerrak über die westliche und zentrale Ostsee bis in den Eingang des Golfs von Helsinki. Im November dieses Jahres wurde das Seegebiet um Bornholm und die Danziger Bucht in Zusammenarbeit mit der Abteilung Marine Planktologie eingehend untersucht.

Methoden

Folgende Parameter werden seit Beginn der Untersuchungen (Okt. 1985) routinemäßig bestimmt:

1. Saprophytenzahl
2. Anzahl der gesamt- und fäkalcoliformen Bakterien
3. Gesamtbakterienzahl und mittleres Zellvolumen
4. Turnoverzeit von Glukose
5. Bakterielle Biomasseproduktion

Zu 1: Die Bestimmung der Saprophytenzahl erfolgt nach dem Koch'schen Plattenverfahren mit einem Nähragar (ZB) bestehend aus 5 g Pepton, 1 g Hefeextrakt und 15 g Agar Agar (ZoBell-Medium 2216 E). Dieses Gemisch wird mit gealtertem Seewasser und demineralisiertem Wasser auf eine Salinität von $S = 8 ‰$ eingestellt. Der pH-Wert soll nach dem Lösen des Agars 7,2 betragen (eventuell einstellen mit 1N NaOH bzw. HCl). Beimpft wird nach dem Platten-gußverfahren, bei dem der Agar maximal eine Temperatur von 45 °C haben darf. Die Bebrütung erfolgt über 14 Tage bei 20 °C.

Zu 2: Zur Bestimmung der gesamt- und faecalcoliformen Bakterien

werden je nach voraussichtlicher Belastung des zu untersuchenden Wassers 50 bzw. 100 ml Probe durch ein Sartorius Membranfilter mit einer Porenweite von 0,45 μm filtriert. Diese Filter werden auf Endo-Nährkartonscheiben der gleichen Marke bei 37 und 45 °C 48 Stunden bebrütet. Die Differenzierung erfolgt nach Kolonien, die bei 37 °C (gesamtclostriforme Bakterien) und bei 44 °C (faecal-clostriforme Bakterien) gewachsen sind.

Zu 3: Zur Ermittlung der Gesamtbakterienzahl werden 1 - 3 ml einer mit partikelfreiem Formaldehyd fixierten Wasserprobe (Endkonzentration = 0,8 - 1,2 %) durch ein mit Sudan-Schwarz gefärbtes Polycarbonatfilter (25 mm ϕ und 0,2 μm Porengröße) filtriert. Die auf dem Filter befindlichen Bakterien werden 1 Minute lang mit einer wässrigen Acridinorangelösung (Verdünnung 1:10⁴) gefärbt und anschließend unter einem Epifluoreszenzmikroskop gezählt (Zimmermann 1977). Es werden 20 Quadrate in einem G12-Raster gezählt. Die Bestimmung von Länge und Breite erfolgt durch Vergleich von 50 Einzelzellen je Probe mit den auf dem New Porton Grid befindlichen Kreisen bekannten Durchmessers. Aus der gemessenen Länge und Breite wird das Biovolumen und im weiteren Verlauf die bakterielle Biomasse errechnet.

Zu 4: Die Messung der heterotrophen Aktivität erfolgt nach der Methode von Williams und Askew (1968) und Hobbie und Crawford (1969). Hierzu wird Probenwasser mit ¹⁴C-markierter Glukose versetzt und in situ inkubiert. Nach dem Abstoppen der Aktivität mit Formalin wird die Probe filtriert und die Filter zur Bestimmung der Nettoaufnahme im Szintillationszähler gemessen (Gocke 1976).

Zu 5: Die Bestimmung der bakteriellen Biomasseproduktion erfolgt nach der Methode von Fuhrman und Azam (1982). Hierzu wird das Probenwasser mit (methyl-³H)-Thymidin in situ inkubiert. Die Inkubation wird durch Zugabe von Formol gestoppt, wobei sich die Inkubationszeit nach der Probentemperatur richtet, in der Regel jedoch 30 min dauert. Durch Filtration der Probe und Messen der Filter im Szintillationszähler wird die pro Zeiteinheit inkorporierte Menge Thymidin ermittelt. Hieraus errechnet sich die

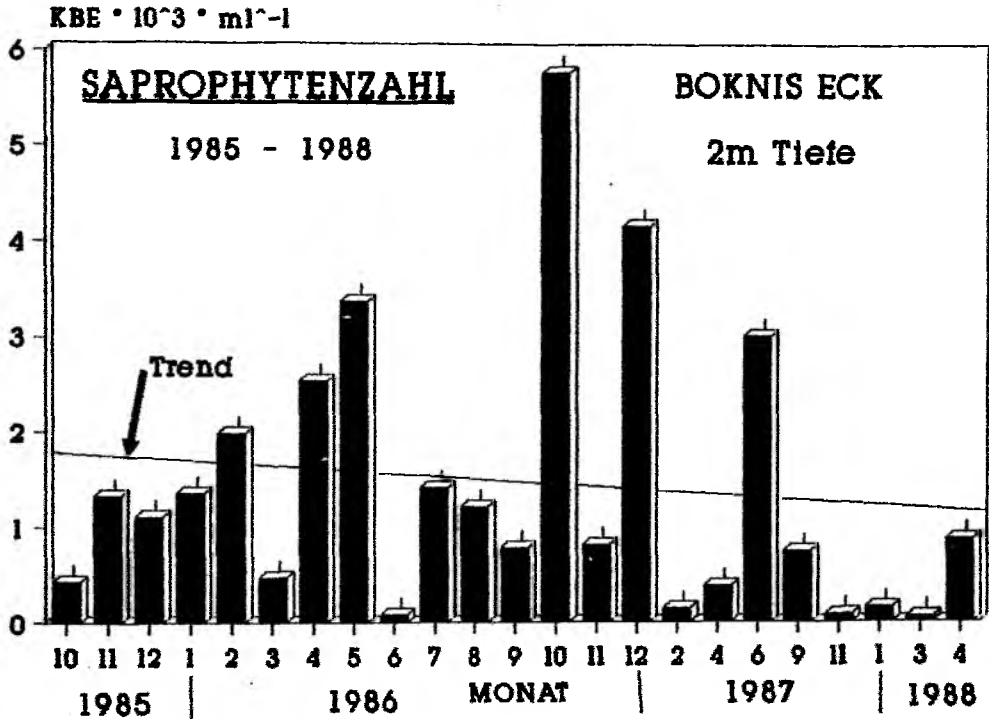


Abb. 1: Saprophytenzahlen der Station BOKNIS-ECK, bestimmt nach dem KOCHSCHEN Plattenverfahren. KBE = koloniebildene Einheiten

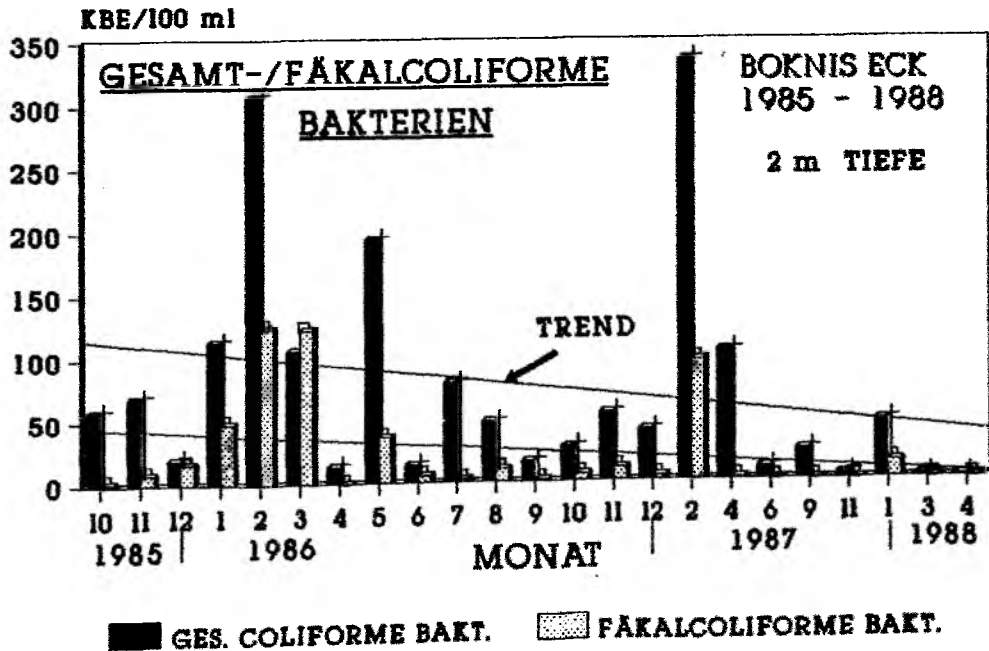


Abb. 2: Gesamt- und fäkalcoliforme Bakterien der Station Boknis-ECK, bestimmt mit ENDO-Agar KBE = koloniebildende Einheiten.

Biomasseproduktion.

Ergebnisse

Für die Darstellung der Saprophytenzahlen wurde die küstennahe Station Boknis-Eck am Ausgang der Eckernförder Bucht gewählt. Abb. 1 zeigt die auf ZB-Agar gemessenen Koloniezahlen von Oktober 1985 bis zum April 1988. Da lediglich 1986 monatliche Untersuchungen durchgeführt werden konnten, lassen sich allenfalls für dieses Jahr saisonale Schwankungen in der Zellzahl aufzeigen. Eine Trendberechnung, in Form der eingezeichneten Linie, deutet bis zum April 1988 eine leichte Abnahme der Saprophytenzahl an. Gleiches gilt auch für die an dieser Station gemessene Belastung des Wassers mit coliformen und fäkalcoliformen Bakterien (Abb. 2). Da die Einzelergebnisse stark von den jeweiligen hydrographischen Bedingungen (Windstärke, Windrichtung und Strömung) beeinflusst werden, müssen für eine aussagekräftige Trendrechnung wesentlich mehr Daten über einen längeren Zeitraum gewonnen werden.

Abb. 3 zeigt den Zusammenhang zwischen der Saprophytenzahl, der Umsatzgeschwindigkeit von Glukose und der Umgebungstemperatur. Auch hier wurde als Beispiel die Station Boknis-Eck gewählt. Für die Turnoverzeit und die Saprophytenzahl wurden die Regressionsgeraden errechnet. Die meisten Meßwerte liegen, bedingt durch das hier vorherrschende Klima, im dem Bereich um +5 °C bis +15 °C. Trotzdem zeigt die Regression, daß sich bei ansteigender Temperatur die Turnoverzeit von Glukose meßbar verringert, was gleichbedeutend mit einem Anstieg der Umsatzgeschwindigkeit ist. Aus der Abbildung geht ebenfalls hervor, daß bei zunehmender Wassertemperatur ein Anstieg der Saprophytenzahl zu beobachten ist und zwar in dem Maße, wie sich die Turnoverzeit verringert. Die Ursache hierfür ist mit Sicherheit nicht allein die Temperatur. Höhere Temperaturen werden verständlicherweise zu Zeiten erhöhter Lichteinstrahlung gemessen (Frühjahr, Sommer), d.h. zu Zeiten, in denen auch eine verstärkte Primärproduktion stattfindet. Damit sind zwei natürliche Voraussetzungen für ein vermehrtes Bakterienwachstum erfüllt: höhere Temperaturen und ein ausreichendes

Angebot an Kohlenstoffquellen, die in der wärmeren Jahreszeit überwiegend aus der Primärproduktion stammen. Dies ist nicht außergewöhnlich, es zeigt aber, daß planktische Saprophyten einen unverhältnismäßig großen Anteil an Stoffwechsellumsetzungen haben, obwohl ihr Anteil an der Gesamtbakterienzahl weniger als 1 Promille beträgt, wie aus Abb. 4 hervorgeht. Diese Abbildung zeigt eine vergleichende Gegenüberstellung von Saprophyten- und Gesamtbakterienzahlen. Die Daten wurden im Juli 1988 auf der multinationalen Fahrt vom Skagerrak bis zum Eingang des Finnischen Meerbusens erarbeitet. Es handelt sich dabei um eine Schnittfahrt, die als ein Teil des Gesamtprogramms zur Aufgabe hatte, die Bakterienflora der durchmischten Oberflächennzone zu untersuchen. Die Untersuchungsstrecke wurde dabei so gewählt, daß der im Skagerrak vorherrschende Einfluß der Nordsee zunehmend durch den Einfluß terrestrischen Oberflächenwassers abgelöst wird. Die Untersuchungstiefe betrug 3 Meter und die Abstände zwischen den Probennahmen 20 Seemeilen.

Man erkennt zunächst, daß die nach dem Koch'schen Plattenverfahren ermittelten Saprophytenzahlen um mindestens 3 Größenordnungen niedriger liegen als die Gesamtbakterienzahlen. Diese Unterschiede können von Station zu Station z.T. erheblich schwanken, so daß auf den ersten Blick ein direkter Zusammenhang von Gesamtbakterien- und Saprophytenzahl nicht zu erkennen ist. Die starken Schwankungen zwischen den einzelnen Stationen, die besonders im Bereich der zentralen Ostsee auftreten, lassen sich nur durch das um diese Zeit massenhafte Auftreten von Nodularia spumigena erklären. Diese Blaualgen, die mit einer Vielzahl von Bakterien vergesellschaftet sind, bilden im Wasserkörper häufig unregelmäßige Aggregate und sorgen damit auch für eine ungleichmäßige Verteilung der Bakterienbiomasse. Ungeachtet der teilweise erheblichen Schwankungen zwischen den einzelnen Stationen kann man feststellen, daß im Oberflächenwasser vom Skagerrak über die Beltsee bis in den Golf von Helsinki sowohl die Gesamtbakterien- als auch die Saprophytenzahlen ansteigen. Dieser Anstieg ist, ähnlich wie in Abb. 3 dargestellt, auch hier mit einer Verringerung der Turnoverzeiten für Glukose verbunden.

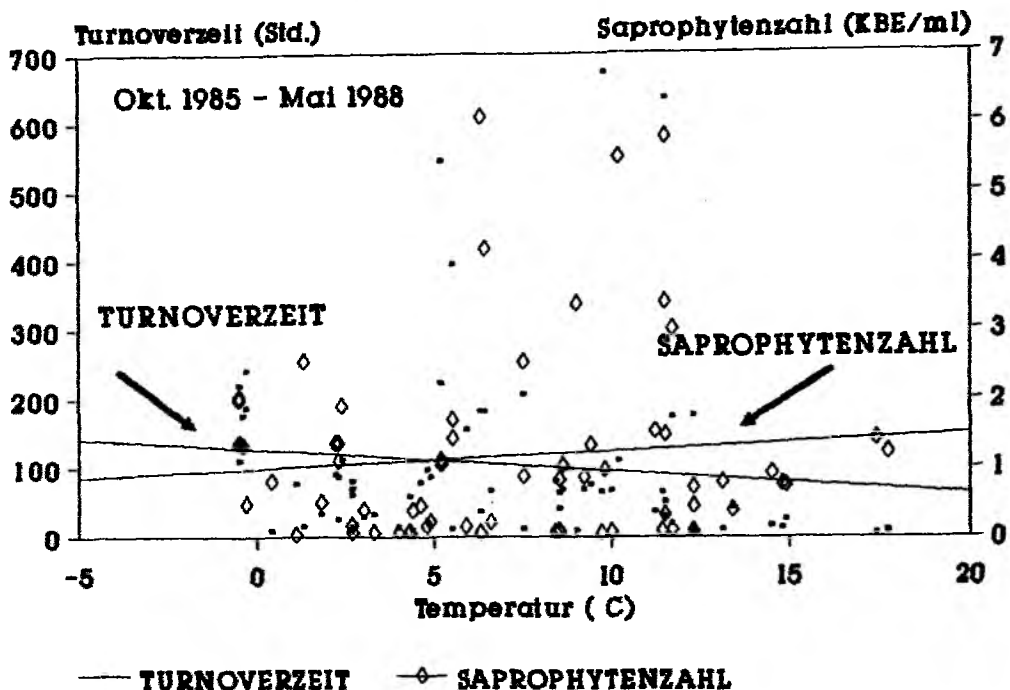
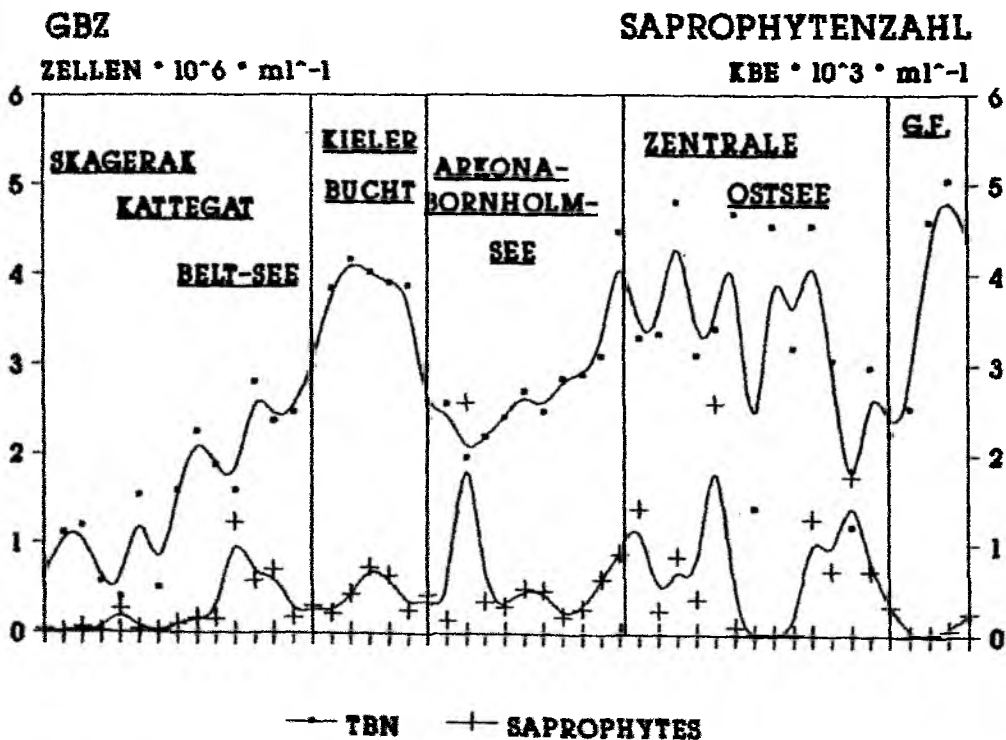


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Saprophytenzahl, Turnoverzeit von Glukose und Proben-temperatur. STATION BOKNIS-ECK, Okt. 1985 - Mai 1988 Durchgezogene Linien = errechnete Trends



G.F. = Golf von Finnland (Eingang)

Abb. 4: Gesamtbakterien- und Saprophytenzahl, gemessen auf einer Schnitffahrt vom Skagerak zum Eingang des Golfs von Finnland im Juli 1988. Untersuchungstiefe = 3 m.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die planktischen Saprophyten trotz ihres geringen Anteils an der bakteriellen Biomasse von weniger als 1 Promille meßbare Stoffwechselleistungen vollbringen, die mit ihrer Zellzahl, der Umgebungstemperatur und dem jeweiligen Substratangebot korreliert sind. Diese Organismen sind daher für ein mikrobiologisches Monitoring gut geeignet. Sie können als Indikator für eine Belastung des Wassers mit organischem Material aus der Primärproduktion oder aus anthropogenen Einträgen (Abwasser) angesehen werden. Der Nachweis der Saprophyten ist sowohl methodisch als auch apparativ wenig aufwendig. Daher ist er kostengünstig und könnte von allen Ostseeanrainerstaaten problemlos durchgeführt werden.

Ausblick

Im Rahmen des mikrobiologischen Monitoring ist für die Zukunft eine verstärkte internationale Zusammenarbeit geplant. Der erste Schritt dazu wurde im Sommer 1988 mit der multinationalen Fahrt auf der FS "Poseidon" getan. Im Herbst des gleichen Jahres wurden Gespräche mit Vertretern der polnischen Regierung und Wissenschaftlern der Universität Rostock geführt. Dabei ging es in erster Linie um eine Vereinheitlichung der im Monitoring angewendeten Untersuchungsverfahren. Besondere Probleme bereiten hier zur Zeit noch die Bestimmung der bakteriellen Biomasse sowie die Messung der Bakterienproduktion. Für die Zukunft geplant sind ein verstärkter Informationsaustausch zwischen allen am mikrobiologischen Monitoring beteiligten Wissenschaftlern sowie mehrere gemeinsame Forschungsfahrten auf Schiffen verschiedener Nationalität.

Literatur

Fuhrman, J.A., Azam, F. (1982): Thymidine incorporation as a measure of heterotrophic bacterioplankton production in marine surface waters: Evaluation and field results. Mar. Biol. 66, 109 - 120.

Hobbie, J.E., Crawford, C.C. (1969): Bacterial uptake of organic substrate: new methods of study and application to eutrophication. *Verh. intern. Verein. theor. angew. Limnol.* 17, 725 - 730.

Williams, P.J., Askew, C. (1968): A method of measuring the mineralization by microorganisms of organic compounds in sea water. *Deep Sea Res.* 15, 365 - 375.

4.2. Mikrobieller Abbau von organischen Schadstoffen

Heike Gericke und Johanna Wesnigk

Im Rahmen eines vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhabens werden Untersuchungen über Umfang und Dauer des biologischen Abbaus von Schad- bzw. Fremdstoffen unter natürlichen Umweltbedingungen durchgeführt. Die Arbeiten erfolgen unter besonderer Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte:

- die Chemikalien sind so ausgewählt, daß sie als Vertreter verschiedener Substanzklassen gelten können
- den Wasserproben werden Fremdstoffe in möglichst geringen Konzentrationen zugesetzt, um die natürlichen Umweltbedingungen bei starker Verdünnung solcher Verbindungen in Gewässern nachzuvollziehen
- vorrangig ist die Arbeit mit natürlichen Bakterienmischpopulationen; daneben werden aber auch Versuche mit Reinkulturen durchgeführt
- die Untersuchungen erfolgen in Süß-, Brack- und Salzwasserbiotopen.

Einige Beispiele für die zu untersuchenden Substanzen sind:

- 2-Nitrophenol und 4-Nitrophenol: Chemikalien, die bei der Produktion von Arzneimitteln, Farbstoffen, Pestiziden, Photochemikalien und Sprengstoffen auftreten
- 2,4,6-Trichlorphenol : Verwendung als Fungizid u. Bakterizid
- 4-Naphthalin-1,5-disulfonsäure : Zwischenprodukt z.B. in der Arzneimittel- und Farbstoffchemie
- Diethylenglycol : u.a. Gefrierschutz und Lösungsmittel
- Thioharnstoff : Verwendung z.B. in der Kunststoff-, Photo- u. Arzneimittelchemie
- Ethylendiamintetraacetat und Tetrapropylbenzolsulfonat : schwer abbaubare Waschmittelzusätze

In der Folge soll anhand einer Modellschubstanz, des 4-Nitrophenols (4-Np), gezeigt werden, nach welchem Arbeitsschema die mikrobielle Abbaubarkeit eines Fremdstoffes im Elbeästuar und in der

westlichen Ostsee untersucht wird. Daneben sollen exemplarisch einige Ergebnisse gezeigt werden. Die Umsetzung von 4-Np, einer weitverbreiteten Industriechemikalie, ist bereits in Böden, Gewässern und Abwässern untersucht worden (Spain et al. 1980 und 1983, Rubin und Alexander 1983, Jones und Alexander 1986, Aelion et al. 1987, Wiggins et al. 1987, Swindoll et al. 1988). Dabei fanden sich durchweg lange Abbauzeiten. Kenntnisse über die biologische Abbaubarkeit des 4-Np in einem stark belasteten Fluß wie der Elbe sowie im Brackwasserbiotop Ostsee liegen bisher jedoch noch nicht vor. Bei der Arbeit mit dieser Substanz mußte daher mit grundlegenden Experimenten begonnen werden. Die Untersuchungen gliedern sich in drei Abschnitte.

1.) Zunächst erfolgt die Prüfung der generellen Angreifbarkeit des Stoffes durch Mikroorganismen mit Hilfe photometrischer Untersuchungen (Zusatz des Fremdstoffes zu natürlichen Mischpopulationen und Registrierung der Abnahme bzw. des Verschwindens des charakteristischen UV-Peaks dieser Substanz). Photometrische Messungen können immer nur Hinweise auf einen möglichen Abbau geben. Im Falle des 4-Np belegt das Verschwinden des Peaks, daß die Substanz zumindest von den Zellen aufgenommen worden ist und unter aeroben Bedingungen in der Regel zu physiologischen Verbindungen wie Succinat und Acetat umgesetzt wird. Ein relativ unspezifischer Entgiftungsmechanismus zu huminstoffähnlichen Verbindungen kann nicht ausgeschlossen werden. (Zeyer et al. 1986).

2.) die Kenntnis der möglichen Abbau- bzw. Umsetzungswege eines Fremdstoffes macht deutlich, daß parallel zu den photometrischen Messungen die Reaktionen der Bakterienpopulation auf die Zugabe des 4-Np eingehend zu untersuchen ist. So kann z.B. ein Anstieg der Gesamtbakterienzahl oder der bakteriellen Biomasse nach Verschwinden des UV-Peaks Wachstum anzeigen und als Beleg für einen tatsächlich stattgefundenen Abbau gelten. Auch eine deutliche Veränderung in der Zusammensetzung einer Population, verbunden mit der Zunahme einer ganz bestimmten Gruppe von Bakterien, ist ein wichtiges Indiz.

3.) Abschließend kann das Ausmaß des bakteriellen Umsatzes von 4-

Np bei verschiedenen Konzentrationsstufen quantifiziert werden, indem die Veratmung des radioaktiv markierten Fremdstoffes zu CO₂ bzw. die Inkorporation der Substanz in die Zellen gemessen wird.

Bei den photometrischen Untersuchungen wurde den Wasserproben (jeweils in drei Parallelen) das 4-Np stets in einer Endkonzentration von 250 µg/l zugesetzt und in der Folge die Abnahme des Fremdstoffes gemessen. Zusätzlich erfolgte eine Überprüfung der Verringerung der Nitrophenolkonzentration in formolfixierenden Ansätzen. In diesen Kontrollen war in keinem Fall eine Abnahme der 4-Np-Menge zu verzeichnen. Dadurch wird belegt, daß hier weder ein abiotischer Abbau noch eine Adsorption des Fremdstoffes an Detrituspartikel, Gefäßwandungen etc. eine meßbare Rolle spielt.

Die Tabelle 1 gibt den Zeitraum bis zum vollständigen Verschwinden des 4-Np-Peaks in Wasserproben von verschiedenen Stationen an sowie den dort zur Entnahmezeit herrschenden Salzgehalt. Die Ergebnisse gelten für Proben, die bei voll laufendem Ebbstrom genommen und bei 20 °C inkubiert wurden.

Der Zeitraum bis zum Verschwinden des 4-Np bei den drei Süßwasserstationen war mit drei bis vier Tagen relativ kurz und sehr einheitlich. Offenbar kamen hier von vornherein in den natürlichen Mischpopulationen Bakterien vor, die in der Lage sind, diesen Fremdstoff aufzunehmen und umzusetzen. Bei Cuxhaven verlängerte sich der Zeitraum des Abbaues auf sieben Tage und dehnte sich bei der Station Elbe I weiter auf 18-19 Tage aus. Westlich von Helgoland war schließlich auch nach 80-tägiger Versuchsdauer kein Verschwinden des 4-Np aus dem Probenwasser festzustellen. Hier kamen vermutlich keine Bakterien mehr vor, die in der Lage sind, sich an die Nutzung des Fremdstoffes als C- oder N-Quelle zu adaptieren.

Es liegt nahe, die Ergebnisse für die fünf anderen Stationen zunächst in Verbindung mit dem im Elbeästuar zur See hin steigenden Salzgehalt zu sehen. So könnten Nitrophenolabbauer aus der Süßwasserregion der Elbe durch Strömung und Gezeiten in den

marinen Bereich transportiert und dort durch die höhere Salinität

Tabelle 1: Beziehung zwischen Abbaupzeit von 4-Np und Salzgehalt im Elbeästuar.

Station	Zeitraum bis zum Verschwinden des UV-Peaks (in Tagen)*	Salzgehalt
Hamburg-Teufelsbrück	3-4	1 ‰
Glückstadt	4	1 ‰
Brunsbüttel	3	1 ‰
Cuxhaven	7	18 ‰
bei Feuerschiff Elbe I	18-19	31 ‰
westl. v. Helgoland	-	32 ‰

*Versuchsdauer maximal 80 Tage

in ihren Stoffwechseleigenschaften beeinträchtigt werden. Tatsächlich wurde in einem Experiment gezeigt, daß eine Bakterienpopulation von der Station Hamburg-Teufelsbrück das 4-Np in Wasser mit höherem Salzgehalt langsamer abbaute als am natürlichen Standort. In Süßwasser setzten diese Organismen die Substanz innerhalb von vier Tagen um. In Brackwasser (Salinität 16 ‰) dehnte sich der Zeitraum auf durchschnittlich neun Tage, in Salzwasser (Salinität 32 ‰) auf etwa 20 Tage aus.

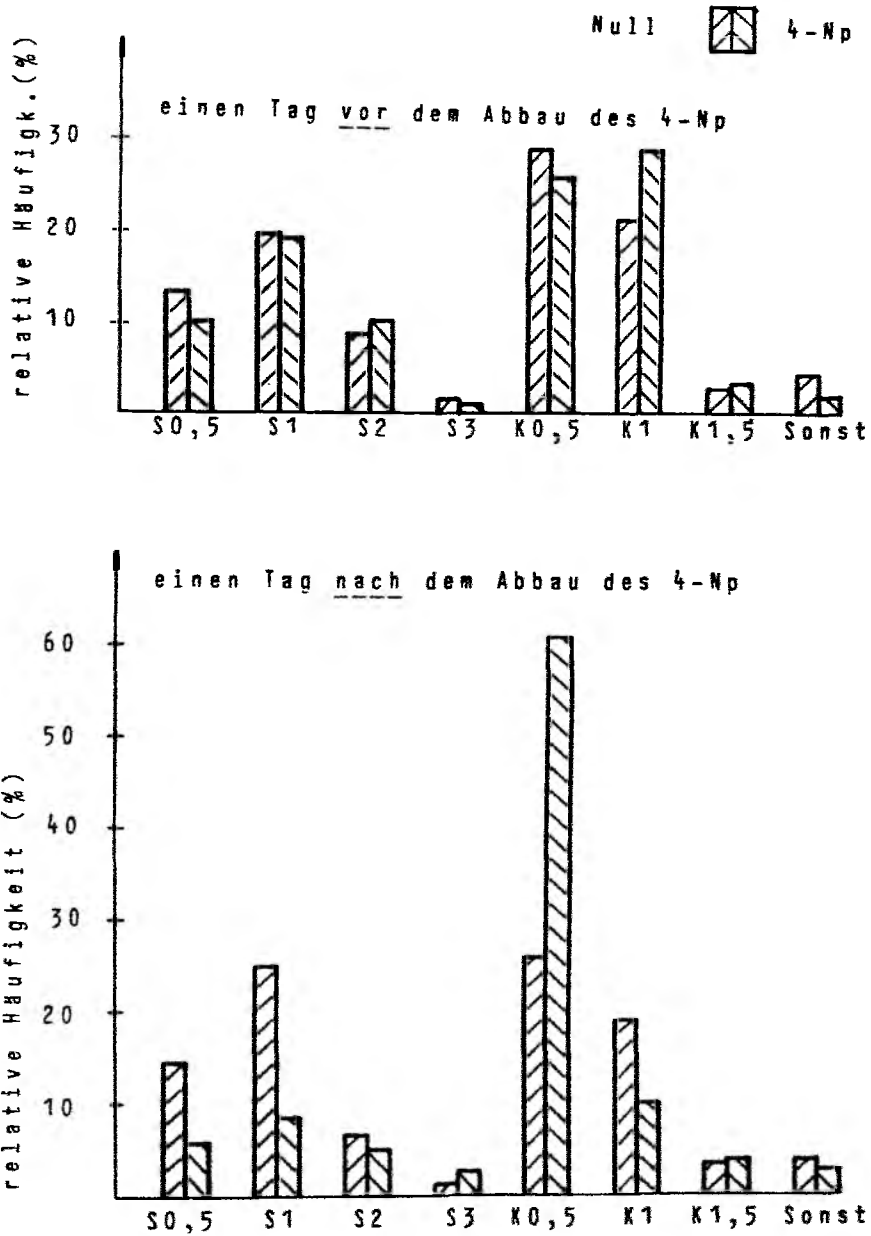


Abb. 1: Längenklassenverteilung der Bakterien bei der Station Elbe I

Der steigende Salzgehalt war aber sicherlich nicht der einzige Grund für die Verlängerung der Abbauperiode des 4-Np. Ein komplexes Gebiet wie das Elbeästuar ist durch die häufige Änderung zahlreicher Umweltparameter charakterisiert, die sich auch auf die Affinität der Bakterien für einen Fremdstoff auswirken dürften. So konnte experimentell z.B. nachvollzogen werden, daß sich bei einem Absinken der Wassertemperatur von 20 °C auf 10 °C der Umsetzungszeitraum von durchschnittlich 3,5 auf 6,5 Tage ausdehnte.

Die wichtigste Begründung für die verschieden langen Abbauperioden ergab sich aber aus dem Vorkommen unterschiedlicher Populationen bei den einzelnen Probenahmeorten. Daher reagierten z.B. die Bakterien von der Station Elbe I ganz anders auf den Fremdstoff als die Organismen bei Hamburg-Teufelsbrück. In beiden Fällen ergaben sich aber biologische Antworten, die belegen, daß ein Abbau tatsächlich stattgefunden haben muß.

Als Reaktion auf das Verschwinden des 4-Np nach 18 - 19 Tagen aus Wasserproben von der küstenferneren Station Elbe I verdoppelte sich die Gesamtbakterienzahl von etwa $4,5 \times 10^6$ auf 9×10^6 Zellen pro ml. Dieser Anstieg trat in den vergleichbaren Ansätzen ohne Schadstoffzusatz (sog. Nullwerte) nicht auf. Eine deutliche Zunahme der bakteriellen Biomasse erfolgte aber nicht, denn das mittlere Zellvolumen zeigte eine leicht abnehmende Tendenz.

Eine Erklärung für diese Reaktion liefert die in Abb. 1 dargestellte Längenklassenverteilung einen Tag vor bzw. einen Tag nach dem Verschwinden des 4-Np. Angegeben ist die relative Häufigkeit, mit der Stäbchen (S), Kokken (K) bzw. sonstige morphologische Bakterientypen (Sonst.) in den Nullwerten und in den mit Schadstoff versetzten Ansätzen auftraten. Kurz vor dem Abbau des Fremdstoffes war die Verteilung der einzelnen Zelltypen in beiden Ansatzreihen sehr ähnlich. Einen Tag nach dem Verschwinden des 4-Np verdoppelte sich der Prozentsatz, mit dem die sehr kleinen Kokken mit einem Durchmesser von bis zu $0,5 \mu\text{m}$ (K 0,5) auftraten. Kokken von $1 \mu\text{m}$ Größe (K 1,0) gingen dagegen deutlich zurück. In den Nullwerten war diese Tendenz jedoch nicht zu verzeichnen. Die

Werte glichen hier eher denen, die schon zwei Tage zuvor ermittelt worden waren.

In den 4-Np versetzten Ansätzen hatten sich offenbar die 1 μm großen Kokken geteilt, wobei ein erheblicher Prozentsatz sehr kleiner Zellen mit einem Durchmesser von nur 0,5 μm entstanden war. Diese Reaktion könnte in Zusammenhang mit dem relativ langen Zeitraum bis zum Verschwinden des 4-Np dahingehend interpretiert werden, daß die Bakterien hier zunächst die leicht zu assimilierenden Substanzen umsetzten. Nachdem die Nährstoffkonzentration im Wasser abgesunken war, adaptierten sie sich - vermutlich durch Enzyminduktion - an das 4-Np und bauten dieses ab. Daraus resultierte jedoch keine Zunahme der bakteriellen Biomasse sondern die Bildung einer Vielzahl kleinster Zellen mit geringem Volumen. Bei ihnen könnte es sich um typische marine, oligotrophe Bakterien handeln, die nach weitgehender Ausnutzung der verfügbaren Nährstoffe als sog. Hungerformen lange im Wasser überdauern können.

Der deutliche Anstieg der Gesamtbakterienzahl nach dem Verschwinden des 4-Np, hervorgerufen durch die starke Zunahme der sehr kleinen Kokken, dürfte ein wichtiger Beleg für den Abbau der Substanz im Wasser der Station Elbe I sein.

In den Mischpopulationen der Station Hamburg-Teufelsbrück spielte die Gruppe der kokkalen Bakterien beim Umsatz des Fremdstoffes offenbar keine Rolle. Vielmehr traten hier nach dem Verschwinden der Substanz deutlich vermehrt Stäbchen mit einer Länge von 2-3 μm auf. Mehrere dieser Organismen konnten isoliert werden. Bei ihnen handelt es sich überwiegend um Vertreter der Gattung Pseudomonas (Diplomarbeit G. Meuter). Die Stämme sind in der Lage, das 4-Np auch in höheren Konzentrationen (-1 mg/l) umzusetzen.

Bei den Versuchen mit radioaktiv markiertem 4-Nitrophenol konnte das Ausmaß des bakteriellen Abbaus des Fremdstoffes quantifiziert werden. Gearbeitet wurde bisher mit Mischpopulationen von der Station Hamburg-Teufelsbrück sowie verschiedenen Stationen in der Kieler Bucht. Als Überleitung zu den photometrischen Messungen

erfolgte zunächst eine Zudosierung von 250 µg/l und Inkubation bei 20 °C. In der Elbe konnte das 4-Np innerhalb von vier Tagen zu 82 % zu CO₂ mineralisiert werden. Circa 10 % wurden in die Zellen inkorporiert. 8 % verblieben im Wasser, wobei ein Teil dieser Restsubstanz sicherlich aus unvollständigen Umsetzungsprodukten des 4-Np bestand. In den Ostseeproben wurde dagegen ein geringerer Umsatz zu 65 - 70 % CO₂ gefunden.

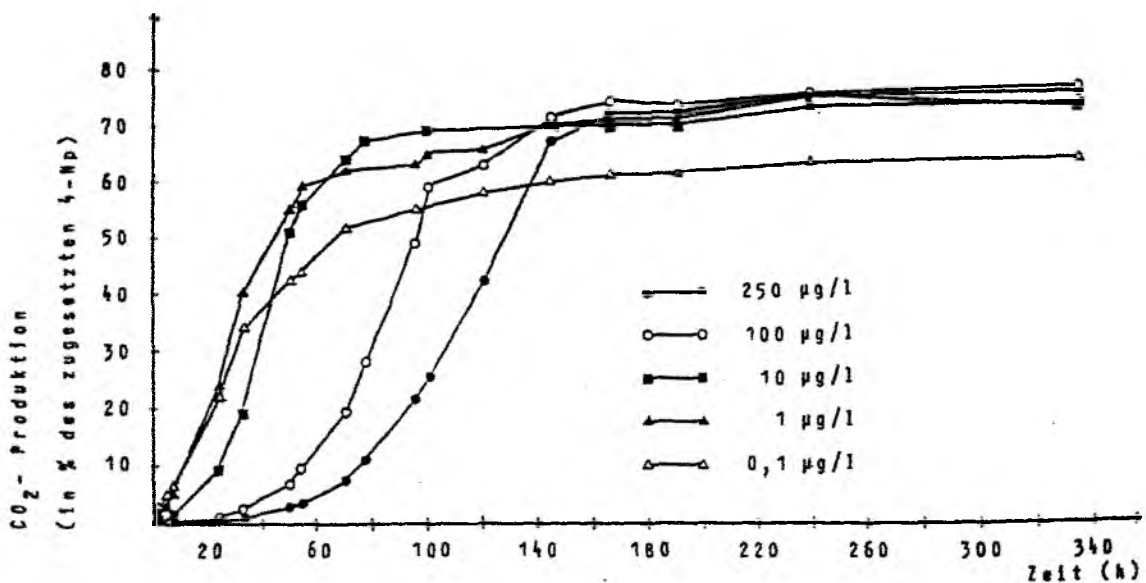


Abb.2: Veratmung von 4-Nitrophenol bei versch. Konzentrationen

Ein besonders wichtiger Gesichtspunkt bei der Arbeit mit Fremdstoffen ist die Frage, ob eine Abhängigkeit der Abbaubarkeit von der eingesetzten Substanzkonzentration besteht. Die meisten Chemikalien kommen durch den starken Verdünnungseffekt in den Gewässern in sehr geringen Mengen vor. Sie erweisen sich dann häufig als schwer angreifbar oder erfordern eine längere Adaptationsphase der Mikroorganismen (Spain et al. 1980, 1983; Hoover et al. 1986; Aelion et al. 1987).

In einem Versuch bei in situ Temperatur von 10 °C wurde dem Elbewasser das markierte 4-Np in fünf Konzentrationen zwischen 0,1 und 250 µg/l zugesetzt und anschließend der Prozentsatz der Veratmung zu CO₂ erfaßt. Die Ergebnisse zeigt Abb. 2. Es konnte keine Schwellenkonzentration gefunden werden, unter der ein Abbau des 4-Np nicht mehr festzustellen war oder nur sehr verlangsamt stattfand. Gerade bei den geringen zugesetzten Substanzmengen von 0,1 bis 10 µg/l setzte die Remineralisierung sofort und sehr intensiv ein. Sie erreichte bei der niedrigsten Konzentration von 0,1 µg/l allerdings bereits bei etwa 60 %igem Umsatz zu CO₂ ein Plateau, während 1 µg bzw. 10 µg 4-Np pro l zu etwa 75 % veratmet wurden. Bei größeren zugesetzten Fremdstoffmengen ging dem Abbau eine etwa 30-stündige Adaptationsphase voraus. Dann wurden auch hier mehr als 70 % der Substanz remineralisiert. Die Steigung der Kurven ist aber geringer als bei den niedrigen Konzentrationen.

Die Ergebnisse belegen, daß das 4-Np in geringen zugesetzten Mengen bis ca. 10 µg/l ohne vorherige Adaptation von Populationen aus der Elbe bei Hamburg sehr rasch umgesetzt werden konnte. Also gab es von vornherein Bakterien, die das 4-Np abbauen konnten. Eine Induktion von Abbauszymen mußte nicht erst erfolgen. Offenbar war aber die Anzahl der Nitrophenolabbauer zu gering, um die Substanz auch in den höheren Konzentrationen von Anfang an intensiv umzusetzen. Diese Bakterien mußten sich zunächst in einer Adaptationsphase von ca. 30 Stunden vermehren. Im Gegensatz zu den niedrigen Konzentrationen ist bei den größeren Stoffmengen auch im weiteren Verlauf des Abbaus kein linearer Anstieg der Abbaugeschwindigkeit mehr zu beobachten. Dies belegt, daß hier eine allmähliche Sättigung des Schlüsselenzyms für den Umsatz des 4-Np stattgefunden haben muß. Das heißt auch in dieser Phase mußten sich die Bakterien noch ständig vermehren, um schließlich den Fremdstoff ebenfalls bei diesen Konzentrationen zu 75 % zu veratmen.

Zusammenfassend läßt sich für die Abbaubarkeit des 4-Np in den untersuchten Gewässern folgende Prognose geben. Im Bereich zwischen Hamburg und Elbe I wird der Fremdstoff abgebaut, wobei sich der Zeitraum bis zum Verschwinden des 4-Np bei den weiter

seewärts gelegenen Stationen verlängert. Bei Hamburg ist er mit drei bis vier Tagen sehr kurz und steigt bis zur Station Elbe I auf etwa 19 Tage an. In der Nordsee, bei Helgoland, wird der Fremdstoff nicht mehr mikrobiell umgesetzt. Küstenferne Stationen der Ostsee zeigten ebenfalls keinen Abbau von 4-Np. In der Kieler Förde trat immer eine Adaptationsphase von 10 - 16 Tagen Dauer auf, die im Gegensatz zu den in der Elbe gefundenen Ergebnissen bei höheren Konzentrationen kürzer war als bei niedrigeren. Vermutlich ist hier nur eine sehr kleine Abbaupopulation vorhanden, deren Induktion und Wachstum durch die höheren Konzentrationen an 4-Np schneller gefördert wird. Der Abbauphasezeitraum für 4-Np ist in besonderem Maße abhängig von der Zusammensetzung und der Reaktion der Bakterienpopulationen sowie vom Salzgehalt und von der Temperatur.

In weiterführenden Untersuchungen soll die Abbaubarkeit von 4-Nitrophenol zu CO_2 bei Brack- und Salzwasserstationen quantitativ erfaßt werden und eine eingehende Charakterisierung der nitrophenolabbauenden Bakterienstämme erfolgen.

Zur Überprüfung des Abbaus weiterer Fremdstoffe in der Elbe finden Versuche mit Diethylenglycol (DEG) und Ethylendiamintetraacetat (EDTA) statt. Für Substanzen, die nicht in Form ihrer radioaktiv markierten Isotope erhältlich sind, müssen andere Nachweismöglichkeiten gefunden werden. Zur Zeit wird an einer Methode zur Analytik anionischer Tenside gearbeitet, um die Abbaubarkeit von Waschmittelzusätzen überprüfen zu können, die sich in anderen Biotopen als schwer umsetzbar erwiesen haben.

Die biologische Antwort auf den Zusatz von Fremdstoffen soll z.B. mit Hilfe der Autoradiographie verfolgt werden. Auch wird mit dem Flowsystem bereits eine Kulturmethode eingesetzt, die besonders geeignet ist, um Populationsänderungen und Wachstumsvorgänge nach Zugabe eines Schad- bzw. Fremdstoffes zu analysieren. Außerdem ist der Einfluß von Grazing durch Protozoen auf die Länge der Adaptationsphase zu untersuchen, und es soll die Rolle von anderen Nährstoffen sowie von Sediment im Abbaugeschehen ermittelt werden.

Literatur

- Aelion, C.M., C.M. Swindoll and F.K. Pfaender (1987): Adaptation to and Biodegradation of Xenobiotic Compounds by Microbial Communities from a Pristine Aquifer. *Appl. Environ. Microbiol.* 53 (9), 2212 - 2217.
- Hoover, G.D., G.E. Borgonovi, S.H. Jones and M. Alexander (1985): Anomalies in Mineralization of Low Concentrations of Organic Compounds in Lake Water and Sewage. *Appl. Environ. Microbiol.* 51 (2), 226 - 232.
- Jones, S.H. and M. Alexander (1986): Kinetics of Mineralization of Phenols in Lake Water. *Appl. Environ. Microbiol.* 51 (5), 891 - 897.
- Rubin, H.E. and M. Alexander (1983): Effects of Nutrients on the Rates of Mineralization of Trace Concentrations of Phenol and p-Nitrophenol. *Environ. Sci. Technol.* 17, 104 - 107.
- Spain, J.C., P.H. Pritchard and A.W. Bourquin (1980): Effects of Adaptation on Biodegradation Rates in Sediment/Water Cores from Estuarine and Freshwater Environments. *Appl. Environ. Microbiol.* 40 (4), 726 - 734.
- Spain, J.C. and P.A. van Veld (1983): Adaptation of Natural Microbial Communities to Degradation of Xenobiotic Compounds: Effects of Concentration, Exposure Time, Inoculum and Chemical Structure. *Appl. Environ. Microbiol.* 45 (2), 428 - 435.
- Swindoll, C.M., C.M. Aelion and F.K. Pfaender (1988): Influence of Inorganic and Organic Nutrients on Aerobic Biodegradation and on the Adaptation Response of Subsurface Microbial Communities. *Appl. Environ. Microbiol.* 54 (1), 212 - 217.
- Zeyer, J. (1988): Abbau aromatischer Nitroverbindungen. *Wasser. Abwasser, gwf* 129, H. 1.
- Zeyer, J., H.P. Kocher, and K.N. Timmis (1986): Influence of para-Substituents on the Oxidative Metabolism of o-Nitrophenol by *Pseudomonas putida* B 2. *Appl. Environ. Microbiol.* 52 (2), 334 - 339.

4.3. Prüfung von Leuchtbakterien mit geringen Salzansprüchen auf ihre Eignung für den Leuchtbakterientest

Claus-Jürgen Schulz

Das Phänomen der bakteriellen Lumineszenz ist verhältnismäßig lange bekannt und wurde schon von antiken Philosophen wie z.B. Aristoteles erwähnt. Aber erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, nachdem Robert Koch die methodischen Voraussetzungen für mikrobiologische Arbeiten geschaffen hatte, wurden die Bakterien, die Licht auszusenden vermögen, und ihre Verbreitung eingehend untersucht (s. z.B. Fischer 1894). Leuchtbakterien wurden aus sehr unterschiedlichen Biotopen isoliert. Die Mehrzahl der bislang bekannten Arten ist mariner Herkunft, und viele von ihnen können mit Meerestieren vergesellschaftet leben (Rheinheimer 1985).

Die biochemischen und molekulargenetischen Grundlagen der bakteriellen Lumineszenz werden derzeit intensiv erforscht (Übersicht bei Lümmen 1988; Meighen 1988). Das Prinzip der lichtliefernden Reaktion scheint darin zu bestehen, daß die im bakteriellen Stoffwechsel gewonnenen Reduktionsäquivalente nicht auf das Cytochromsystem der Atmungskette sondern auf reduziertes Flavin-Mononucleotid (FMN) übertragen werden. Das reduzierte FMN dient als Wasserstoffdonator für die weiteren Umsetzungen, in deren Verlauf Licht erzeugt wird. Das Reaktionsschema ist in Abb. 1 dargestellt.

Der Leuchtbakterientest

Zu den wichtigsten praktischen Anwendungen der bakteriellen Lumineszenz gehört der von Bulich (1979) entwickelte Microtox-Test zur Wasser- und Abwasserüberwachung. Bei diesem Test werden Leuchtbakterien, die als standardisierte Präparate auf dem Markt erhältlich sind, mit dem Testgut versetzt. Mit einem speziellen Meßgerät wird die schadstoffbedingte Lumineszenzhemmung erfaßt, die während einer dreißigminütigen Kontaktzeit eintritt. Aus der

Ausgangs- und der Restlumineszenz lassen sich unter Berücksichtigung entsprechender Kontrollen die prozentuale Hemmung der

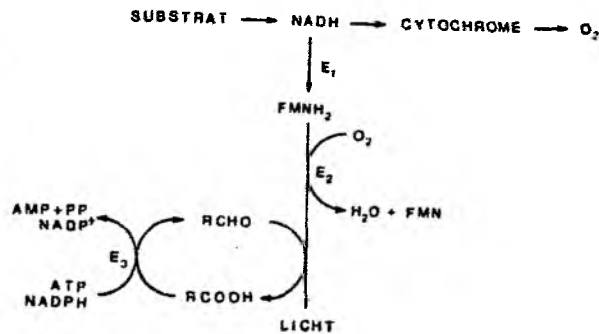


Abb. 1: Die bakterielle Luziferase-Reaktion und ihre Beziehungen zum zellulären Elektronentransportsystem. Dieses liefert die Reduktionsäquivalente in Form von FMNH₂. Die Oxidation des FMNH₂ und die damit verbundene Reduktion des Aldehyds (RCHO) führen zur Lichtemission. Dabei entstehen Säure (RCOOH) und FMN. Für den Reaktionsablauf sind vor allem drei Enzyme von Bedeutung, nämlich die Flavin-Reductase (E₁), die Luziferase (E₂) und die Myristinsäure-Reductase (E₃). Nach Hastings 1986 (veränd.).

Lumineszenz sowie die EC_n-Werte errechnen. Unter dem EC_n-Wert versteht man diejenige Konzentration einer Verbindung, welche einen Parameter - in diesem Fall die Lumineszenz - um n % hemmt. Dazu werden in Form einer Verdünnungsreihe mehrere Konzentrationen der Verbindung getestet und zwar zwei Parallelen je Verdünnungsstufe. - Bei dem derzeitigen Testorganismus handelt es sich um ein marines Leuchtbakterium der Art Photobacterium phosphoreum.

Dieser Test wird vor allem auf zwei Arten von Testgut angewandt und zwar auf

1. (Roh-) Abwasser-Proben. In diesem Fall werden aus den Meßwerten die prozentualen Hemmungen der einzelnen Verdünnungsstufen errechnet. Angegeben wird diejenige Verdünnungsstufe (sog. "G-Wert"), bei der erstmals eine Hemmung <20 % eintritt;
2. definierte chemische Verbindungen. In diesem Fall werden die

EC-Werte angegeben (besonders EC_{10} , EC_{20} , EC_{50}).

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, anstelle fertiger Lyophilisate selbstkultivierte Bakterien zu verwenden. Für die Anzucht der Bakterien kommen zwei Verfahren in Betracht: die Oberflächenkultur und die Submerskultur.

Bei der Oberflächenkultur wird eine Petrischale, die ein geeignetes Nährmedium enthält, mittels einer ausgeglühten Impföse mit Zellmaterial beimpft und anschließend inkubiert. Nach entsprechender Bebrütung wird Zellmaterial von der Platte entnommen, in Nährmedium verdünnt und unter Verwendung eines entsprechenden Standards auf eine geeignete Zellkonzentration eingestellt. - Bei der Submerskultur erfolgt die Anzucht der Bakterien in einem Kolben, welcher flüssiges Nährmedium enthält. Die Einstellung der Zellkonzentration erfolgt in der eben beschriebenen Weise.

Bei der Testdurchführung mit Lyophilisaten handelt es sich um ein inzwischen etabliertes Verfahren, für das in zahlreichen Versuchsreihen eine befriedigende Reproduzierbarkeit nachgewiesen wurde. Demgegenüber liegen für die Versuchsdurchführung mit selbstgezüchteten Bakterien vergleichsweise wenige Erfahrungen vor. Ein Problem besteht noch darin, daß bei der Verwendung von Oberflächenkulturen die Reproduzierbarkeit der Meßwerte unbefriedigend sein kann. Dies mag damit zusammenhängen, daß das Zellmaterial, welches mit der Impföse von der Agaroberfläche zur Herstellung der Vorratssuspension entnommen wird, sehr heterogen ist in Bezug auf Alter, physiologischen Zustand der Bakterien etc. Auch scheint dem Medium, in welchem die der Platte entnommenen Bakterien suspendiert werden, eine wichtige Bedeutung zuzukommen (Kalnowski pers. Mitt.). Als Beispiel für eine mögliche breite Streuung der Meßwerte sind nachfolgend die Ergebnisse angeführt, die beim Testen einer Wasserprobe aus einer Kläranlage erzielt wurden (Tab. 1). Neben einer großen Streuung der Meßwerte zeigt sich hier ein weiteres, gelegentlich beobachtetes Phänomen: anstelle einer Hemmung kann auch eine Förderung der bakteriellen Lumineszenz auftreten.

Die Daten zeigen, daß Lichtintensitäten der drei Parallelen z.B.

bei der Verdünnungsstufe G 4 um den Faktor 7 streuen. Bei der Verdünnungsstufe G 2 streuten die Werte immerhin noch um den Faktor 3.

Verwendung von Leuchtbakterien mit niedrigeren Salzoptima

Bei dem derzeit verwendeten Teststamm P. phosphoreum, handelt es sich um ein marines, halophiles Bakterium, dessen Salinitätsoptimum 30 ‰ NaCl beträgt. Der Test wird bei 20 ‰ NaCl durchgeführt, also unter suboptimalen Bedingungen. Diese Festlegung wurde vor allem deshalb getroffen, weil der Test osmotische Schädigungen von toxischen nicht zu unterscheiden vermag.

Tabelle 1: Beeinflussung der bakteriellen Lumineszenz durch Abwasserproben

Teststamm: P. phosphoreum, Oberflächenkultur, Alter: 3 Tage
Herkunft d. Testgutes: Klärwerk Bülk/Kiel, nach erfolgter mechanischer
Vorklärung. Probenahme: 30. 3. 1988
pH des Testgutes: 7,0
Einstellung der Zell-
konzentration: mit NaCl-Lösung (20 g l^{-1})

	Verdünnung 1:1 (G 2)	1:2 (G 4)
Lumin. förd. (%):		
Parallele Nr. 1	281,7	350,0
2	92,0	49,8
3	94,0	182,8

Würde der Test bei 30 ‰ NaCl durchgeführt werden, so könnten höhere Testgutkonzentrationen ($>20 \text{ g l}^{-1}$) allein wegen der damit verbundenen Erhöhung des osmotischen Wertes Intoxikationen vortäuschen. Dieser Effekt wird bei den verwendeten suboptimalen Salinitätsverhältnissen teilweise vermieden; erst bei Testgutsalinitäten $>30 \text{ g l}^{-1}$ tritt eine osmotisch bedingte Lumineszenzmin-derung auf. Allerdings führt die suboptimale Aufsalzung dazu, daß

geringe Testgutkonzentrationen stets einen fördernden Einfluß auf die Lumineszenz ausüben und mäßige Intoxikationen (im Extremfall Hemmungen von bis zu 15 %) verdecken können. Da die erforderliche Testgutaufsalzung außerdem für die Durchführung des Tests unpraktisch ist, sollte der Einsatz von Leuchtbakterienstämmen mit möglichst niedrigen Salinitätsoptima in Erwägung gezogen werden. Im Idealfall kann auf die Salzaufstockung ganz verzichtet werden.

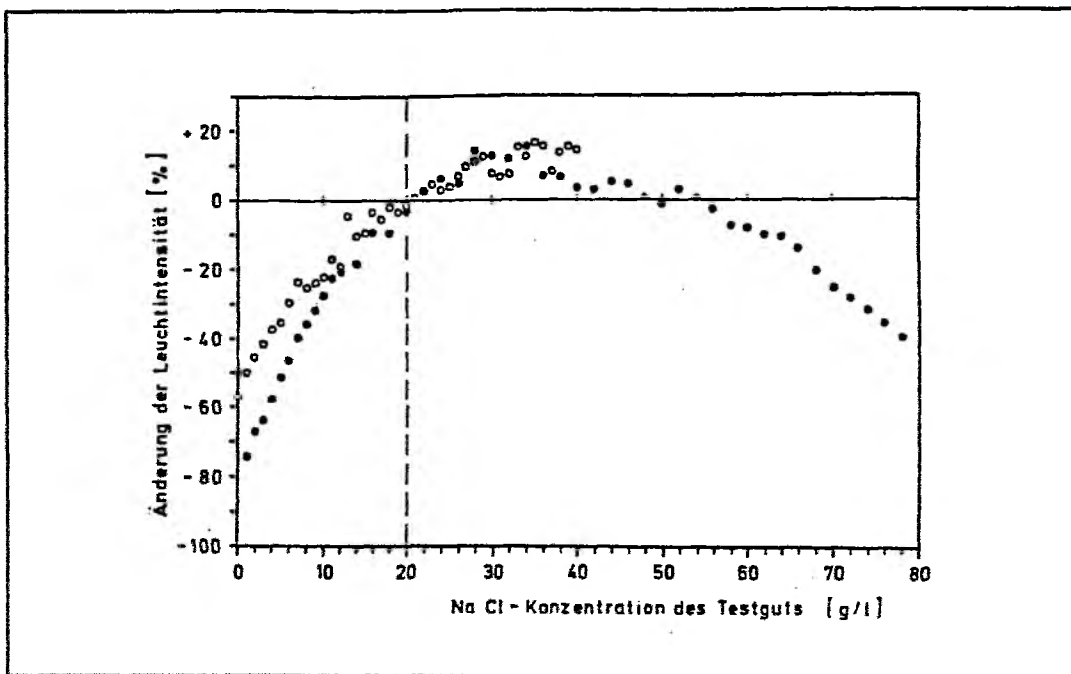


Abb. 2: Photobacterium phosphoreum: Änderung der Leuchtintensität in Abhängigkeit von der NaCl-Konzentration des Testgutes (Messungen erfolgten ohne Salzaufstockung). ●, ○ = Bakterien verschiedener Chargen; Versuchstemperatur 15 °C; Kontaktzeit 15 min. Aus Krebs 1983.

Im Rahmen eines vom Umweltbundesamt Berlin geförderten Projektes konnten mehrere Alternativstämme mit niedrigen Salinitätsoptima bereitgestellt werden. Es handelt sich dabei um folgende Arten:

1. Vibrio cholerae. Der verwendete Bakterienstamm wurde früher als V. albensis beschrieben und ist nicht humanpathogen. Sein Salinitätsoptimum liegt bei 5 ‰ NaCl.
2. Xenorhabdus luminescens. Es handelt sich hierbei um ein mit Nematoden vergesellschaftetes, entomopathogenes Bakterium. Das

Salzoptimum liegt zwischen 6 und 15 ‰ NaCl und weist in diesem Bereich ein Plateau auf.

Die beiden genannten Salinitätsoptima gelten für das Wachstum. Ihre Gültigkeit für die Lumineszenz muß noch geprüft werden.

3. Stamm 75 (Photobacterium phosphoreum). Dieser Stamm wurde aus der westlichen Ostsee isoliert. Er wird aufgrund taxonomischer Analysen vorläufig als P. phosphoreum eingestuft. Seine Salinitätsoptima für Wachstum und Lumineszenz liegen zwischen 11 und 17 ‰ NaCl.

Die drei genannten Stämme sind derzeit noch nicht als standardisierte Testlyophilisate erhältlich, so daß alle Untersuchungen mit selbstkultivierten Bakterien durchgeführt werden mußten. Zur ersten Abschätzung der Empfindlichkeit der Stämme diente eine Testreihe mit 3,5-Dichlor-Phenol (3,5-DCP) als Testgut, deren Ergebnisse in Tabelle 2 zusammengestellt sind. Alle Testgutverdünnungen wurden aus derselben Stammlösung hergestellt.

Tabelle 2: EC-Werte verschiedener Leuchtbakterienstämme bei 3,5-DCP als Testgut (angegeben: Mittelwerte aus n Versuchsreihen)

Stamm:	Testsal. ‰ NaCl	EC ₂₀ mg l ⁻¹	EC ₅₀ mg l ⁻¹	n	% Hemmung bei		n
					6,0	7,5 mg l ⁻¹	
V. cholerae	5	6,5	7,9	4	11,7	41,5	4
X. luminesc.	5	7,3	10,7	4	15,5	22,6	4
Stamm 75	13	3,3	7,5	6	41,4	47,4	5
Beckm. Stamm	20	2,1	3,1	4	87,8	>90	4

Die Ergebnisse zeigen, daß die Empfindlichkeit der einzelnen Stämme größenordnungsmäßig vergleichbar ist; dies gilt besonders für die EC-Werte. Die besonders niedrigen Werte des Beckman-Stammes (2,1 bzw. 3,3 mg l⁻¹) dürften wenigstens teilweise auf der für diesen Stamm optimalen Konservierung beruhen. Auch ist zu

berücksichtigen, daß beim Beckman-Stamm Lyophilisate verwendet wurden, bei den anderen Stämmen hingegen Submerskulturen, deren Kulturbedingungen in dem zur Verfügung stehenden Zeitraum noch nicht in jeder Hinsicht optimiert werden konnten. Insofern liegen die Schwankungen der EC-Werte in einem durchaus akzeptablen Rahmen. Die EC_{20} -Werte betragen zwischen 3,3 (Stamm 75) und $10,7 \text{ mg l}^{-1}$ (X. luminescens). - Bei einer Testgut Konzentration von 6 mg l^{-1} betrug die Hemmung der Lichtemission zwischen 11,7 (V. cholerae) und 41,4 % (Stamm 75), bei $7,5 \text{ mg 3,5-DCP l}^{-1}$ zwischen 22,6 (X. luminescens) und 47,4 % (Stamm 75).

Die Ergebnisse zeigen, daß grundsätzlich alle drei untersuchten Alternativstämme für einen Einsatz beim Leuchtbakterientest in Frage kommen. Die Verwendung von V. cholerae ist allerdings aus physiologischen Gründen problematisch, auch wenn für Humanpathogenität des Teststammes keine Anhaltspunkte vorliegen.

Bei der getesteten Verbindung 3,5-DCP reagierte der Stamm 75 zwar deutlich empfindlicher als der Stamm X. luminescens, aber er benötigte eine vergleichsweise höhere Salinität. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob die Testempfindlichkeit von Stamm 75 gegenüber X. luminescens generell größer ist. Auch müssen die Salzgehaltsansprüche für Wachstum und Luminescens bei dem Xenorhabdus-Stamm nach einer Optimierung der Kulturbedingungen noch einmal überprüft werden. Sollte sich dann bei weiteren Testserien bestätigen, daß der Stamm 75 grundsätzlich eine höhere Sensitivität gegenüber umweltrelevanten Verbindungen besitzt, so ist der Einsatz dieses Stammes anzustreben. Andernfalls ist zu prüfen, ob der Stamm X. luminescens mit seinem vermutlich niedrigeren Salinitätsoptimum bevorzugt werden soll.

Literatur

- Bulich, A.A. (1979): Use of luminescent bacteria for determining toxicity in aquatic environments. In: Marking, L.L. und R.A. Kiernerle (eds.) Aquatic Toxicology, ASTM STP 667, pp. 98 - 106. American Society for Testing and Material.

- Fischer, B. (1894): Die Bakterien des Meeres. *Ergebn. Plank. Exp. Humboldt-Stiftung* 4: 1 - 82.
- Hastings, J.W. (1986): Bioluminescence in bacteria and dinoflagellates. In: Govindjee, R., J. Ames and D.C. Fork (eds.) *Light emission by plants and bacteria*, pp. 363 - 398. In: Buetow, D.E., I.L. Cameron, G.M. Padilla und A.M. Zimmermann (eds.) *Cell Biology*. Verlag Academic Press, Inc., Orlando, U.S.A.
- Krebs, F. (1983): Toxizitätstests mit gefriergetrockneten Leucht-bakterien. *Gewässerschutz Wasser Abwasser* 63, 173 - 230.
- Lümmen, P. (1988): Bakterielle Biolumineszenz: Biochemie, Physiologie und Molekulargenetik. *forum mikrobiologie* 11 (10), 428 - 434.
- Meighen, E.A. (1988): Enzymes and genes from the lux operons of bioluminescent bacteria. *Ann. Rev. Microbiol.* 42, 151 - 176.

Danksagung

Ich danke der Konrad-Adenauer-Stiftung, St. Augustin, und dem Umweltbundesamt Berlin, die jeweils verschiedene Teile der hier vorgestellten Untersuchung gefördert haben.

5. Zukunftsperspektiven der meeresmikrobiologischen Forschung im Institut für Meereskunde

Gerhard Rheinheimer

Die Autoren der einzelnen Beiträge haben jeweils einen "Ausblick" für ihr Arbeitsgebiet angefügt. An dieser Stelle sollen daher vor allem einige übergeordnete Gesichtspunkte behandelt werden, die für die Strukturplanungen des Instituts für Meereskunde wichtig erscheinen.

Zunächst ist darauf hinzuweisen, daß die Bedeutung der marinen Mikrobiologie in den vergangenen Jahren ständig zugenommen hat und dieser Trend sich noch verstärken dürfte. Das kann z.B. an der steigenden Anzahl von meeresmikrobiologischen Publikationen in den führenden meeresbiologischen Zeitschriften abgelesen werden. Hinweise darauf geben auch die immer häufigeren Anfragen von in- und ausländischen Wissenschaftlern nach Ausbildungsplätzen und Zusammenarbeit, die allerdings bei uns infolge des Platzmangels nur zu einem ganz geringen Teil realisiert werden können. Die Anforderungen an die meeresmikrobiologische Forschung erhöhen sich laufend auch durch die verstärkten internationalen Bemühungen um einen effektiven Meeresschutz. Um diesen Aufgaben einigermaßen gerecht werden zu können, müssen die personellen und räumlichen Engpässe dringend beseitigt werden. Es ergibt sich daraus natürlich auch die Frage, wie die künftigen Schwerpunkte zu setzen sind.

Grundsätzlich muß die mikrobiologisch-ökologische Ausrichtung der Abteilungsarbeit erhalten bleiben. Diese entspricht auch dem Gesamtkonzept der meeresbiologischen Abteilungen und ist damit die Voraussetzung für die Zusammenarbeit mit den biologischen Disziplinen und der Meereschemie. Das gilt besonders für die Durchführung gemeinsamer Expeditionen (z.B. JGOFS) und anderer in- und ausländischer Vorhaben wie z.B. Ostsee- und Wattenforschung oder Projekte in südeuropäischen und tropischen Lagunen. Die ökologische Orientierung der Forschungsarbeit ermöglicht die

optimale Nutzung der gemeinsamen Einrichtungen des Instituts für Meereskunde - insbesondere der Forschungsschiffe.

Die gelegentlich diskutierte Verlagerung der Schwerpunkte auf mehr allgemein-mikrobiologische Probleme würde den besonderen Aufgaben und Möglichkeiten im Rahmen eines Instituts für Meereskunde nicht Rechnung tragen können. Aber auch die Zusammenführung mit anderen meeresbiologischen Gruppen zu einer größeren organisatorischen Einheit scheint wenig sinnvoll zu sein. Denn die Methodik der Gewässermikrobiologie erfordert eine spezielle Aus- und Fortbildung der auf diesem Gebiet tätigen Wissenschaftler. Um den Anforderungen ihres Faches immer gerecht zu werden, bedürfen sie der Rückkopplung mit der Mutterdisziplin.

Die meeresmikrobiologische Forschung wird auch in Zukunft in besonderem Maße den Ökosystemen unbelasteter und belasteter Meeresgebiete gewidmet sein. Das gilt sowohl für solche von Küstengewässern - als auch der Ozeane einschließlich der Tiefsee.

Neue technische Möglichkeiten werden die Lösung wichtiger apparativer Probleme gestatten wie z.B. die Entnahme von unkontaminierten Wasser- und Sedimentproben aus größeren Tiefen oder die Durchführung von in situ-Versuchen in Wasserkörpern und am Meeresboden.

Die Bestimmungen von Umsetzungen organischer Stoffe durch die Mikroflora verschiedener Wasser- und Sedimentzonen sollten durch Untersuchungen über die Rolle einzelner Gruppen von Mikroorganismen in ihren Sukzessionen erweitert werden. Hierzu ist die Intensivierung taxonomischer Arbeiten erforderlich, wobei biochemische, serologische und molekularbiologische Methoden Anwendung finden sollten. Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist die (leider schwierige) Verbesserung von Kulturmethoden für oligocarbo-ophile und spezialisierte Bakterien. Dieses ist auch von Bedeutung für die Erforschung des Abbaues sowohl von natürlichen - als auch von anthropogenen Stoffen unter naturnahen Bedingungen.

Den mikrobiellen Umsetzungsprozessen im anoxischen Milieu muß im

Hinblick auf die starke Sauerstoffzehrung in eutrophierten Gewässern vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Auch hier sind neue Methoden für Messungen in situ und für Laborversuche zu erarbeiten.

Die Erforschung von Wechselbeziehungen zwischen Bakterien und anderen marinen Organismen wird weitere interessante Ergebnisse liefern. Das gilt insbesondere für die Symbiosen zwischen chemoautotrophen Mikroben und Meerestieren und ihre Bedeutung für die Energiegewinnung mariner Ökosysteme.

Durch Mikroorganismen bewirkte Krankheiten bei Meerestieren (Krebsen, Fischen, Seevögeln und Robben) sind erst kürzlich wieder in das Blickfeld der Öffentlichkeit geraten. Neben Bakterien und Pilzen spielen Viren eine wichtige Rolle. Dabei muß das Augenmerk auch auf Mischinfektionen gerichtet werden. Einflüsse von Umweltbelastungen auf die parasitischen Mikroben und ihre Wirte müssen größere Beachtung finden. Die Bekämpfung der Krankheiten z.B. durch Immunisierung krankheitsgefährdeter Tierbestände in natürlichen Gewässern könnte ein Ziel künftiger mikrobiologischer Arbeit sein.

Diese kurz skizzierten Aufgaben können nur durch partnerschaftliche Zusammenarbeit von Mikrobiologen z.B. mit Fischereibiologen und Zoologen gelöst werden. Von entsprechender Bedeutung sind gemeinsame Projekte mit Planktologen, Botanikern, Molekularbiologen, Chemikern und Geologen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit kann aber auf die Dauer nur dann erfolgreich sein, wenn die mikrobiologischen Partner den fachlichen Rückhalt einer personell, wie räumlich und apparativ, gut ausgestatteten Abteilung für marine Mikrobiologie besitzen. Eine dem jeweils höchsten Standard der Wissenschaft entsprechende Abteilung wird stets fähigen Nachwuchs und renommierte Gastforscher gewinnen können. Die von diesen eingebrachten Kenntnisse und Fähigkeiten werden über die gemeinsamen Projekte auch in Zukunft für die Arbeit der biologischen und chemischen Abteilungen des Instituts für Meereskunde von Nutzen sein. Die Realisierung der Vorstellungen und Wünsche der Mikrobiologen zum 25 jährigen Bestehen ihrer Abtei-

lung wird der Erhöhung ihrer Leistungsfähigkeit und damit auch der des ganzen Instituts dienen.

Veröffentlichungen aus der Abt. Marine Mikrobiologie

- RHEINHEIMER, G. (1964): Beobachtungen über den Einfluß des strengen Winters 1962/63 auf das Bakterienleben eines Flusses. Kieler Meeresforsch. 20, 218 - 226.
- RHEINHEIMER, G. (1964): Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die Nitrifikation im Elbe-Aestuar. Arch. Mikrobiol. 49, 283 - 290.
- RHEINHEIMER, G. (1965): Mikrobiologische Untersuchungen in der Elbe zwischen Schnackenburg und Cuxhaven. Arch. Hydrobiol./ Suppl. Elbe-Aestuar. 29 II, 181 - 251.
- RHEINHEIMER, G. (1965): Der Einfluß der Temperatur auf das Bakterienleben in den Gewässern. Naturwissensch. Rundschau 18, 476 - 481.
- RHEINHEIMER, G. (1965): Beobachtungen über die Bakterienverteilung im Elbe-Aestuar. Botanica Gothoburgensia III Proceedings of the 5. Marine Biological Symposium. Göteborg, 185 - 193.
- RHEINHEIMER, G. (1965): Der Jahresgang der Nitrit- und Nitratbakterien-zahl im Wasser der Elbe bei Bleckede. Kieler Meeresforsch. 21, 122 - 123.
- KOSKE, P.H., H. KRUMM, G. RHEINHEIMER und K.H. SZEKIELDA (1966): Untersuchungen über die Einwirkung der Tide auf Salzgehalt, Schwebstoffgehalt, Sedimentation und Bakteriengehalt in der Unterelbe. Kieler Meeresforsch. 22, 47 - 63.
- KRUMM, H. und G. RHEINHEIMER (1966): Zur Schwebstoffzusammensetzung und Bakteriologie des Nord-Ostsee Kanals. Kieler Meeresforsch. 22, 121 - 127.
- RHEINHEIMER, G. (1966): Einige Beobachtungen über den Einfluß von Ostseewasser auf limnische Bakterienpopulationen. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., Sonderbd. II, 6. Meeresbiol. Symp. 237 - 243.
- RHEINHEIMER, G. (1966): Die Bedeutung der Bakterien für das Lebensgeschehen im Meere. Umschau 67, 80 - 84.

- AHRENS, R. und G. RHEINHEIMER (1967): Über einige sternbildende Bakterien aus der Ostsee. Kieler Meeresforsch. 23, 127 - 136.
- MOLL, G., R. AHRENS und G. RHEINHEIMER (1967): Elektronenoptische Untersuchungen über sternbildende Bakterien aus der Ostsee. Kieler Meeresforsch. 23, 137 - 147.
- RHEINHEIMER, G. (1967): Ökologische Untersuchungen zur Nitrifikation in Nord- und Ostsee. Helgol. wiss. Meeresunters 15, 243 - 252.
- RHEINHEIMER, G. (1967): Verschmutzung und Selbstreinigung des Meeres. Christiana Albertina H. 3, 39 - 46.
- GUNKEL, W. und G. RHEINHEIMER (1968): Abschn. II. Bestandsaufnahme F) Bakterien. In C. Schlieper: Methoden der Meeresbiologischen Forschung. G. Fischer Verlag, Jena, 142 - 157.
- HIRSCH, P. and G. RHEINHEIMER (1968): Budding bacteria in aquatic habitats: occurrence, enrichment and isolation. Arch. Mikrobiol. 62, 289 - 306.
- KÜHL, H. und G. RHEINHEIMER (1968): Veränderungen der Bakterienflora des Planktons und einiger chemischer Faktoren während einer Tide in der Elbemündung bei Cuxhaven. Kieler Meeresforsch. 24, 27 - 37.
- MOLL, G., R. AHRENS und G. RHEINHEIMER (1968): Die Rolle der Fimbrien bei der eigenartigen Sternbildung von *Agrobacterium luteum*. Arch. Mikrobiol. 63, 321 - 330.
- RHEINHEIMER, G. (1968): Beobachtungen über den Einfluß von Salzgehaltsschwankungen auf die Bakterienflora der westlichen Ostsee. Sarsia 34, 253 - 262.
- RHEINHEIMER, G. (1968): Die Bedeutung des Elbe-Aestuars für die Abwasserbelastung der südlichen Nordsee in bakteriologischer Sicht. Helgol. wiss. Meeresunters. 17, 445 - 454.
- RHEINHEIMER, G. (1968): Ergebnisse und Probleme einer mikrobiologischen Aestuaruntersuchung. Mitt. S. I. L. 14, 155 - 163.
- RHEINHEIMER, G. und W. GUNKEL (1968): Abschn. IV. Hälterung und Laboratoriumszuchten C) Bakterien. In C. Schlieper: Methoden der Meeresbiologischen Forschung, G. Fischer Verlag, Jena, 243 - 255.
- SCHNEIDER, J. (1968): Über niedere Pilze der westlichen Ostsee. Ber. Dt. Botan. Gesellsch. 81, 369 - 374.

- AHRENS, R. (1969): Ökologische Untersuchungen an sternbildenden Agrobacterium-Arten aus der Ostsee. Kieler Meeresforsch. 25, H. 1, 190 - 204.
- RHEINHEIMER, G. (1969): Aufgaben der Meeresmikrobiologie, Das Leben 6, 218 - 221.
- SCHNEIDER, J. (1969): Labyrinthula-Befall an Niederen Pilzen (Thraustochytrium spec.) aus der Flensburger Förde. Kieler Meeresforsch. 25, 314 - 315.
- SCHNEIDER, J. (1969): Zur Taxonomie, Verbreitung und Ökologie einiger mariner Phycomyceten. Kieler Meeresforsch. 25, 316 - 327.
- AHRENS, R. (1970): Weitere sternbildende Bakterien aus Brackwasser. Kieler Meeresforsch. 26, 74 - 78.
- AHRENS, R. und G. MOLL (1970): Ein neues knospendes Bakterium aus der Ostsee. Arch. Mikrobiol. 70, 243 - 265.
- RHEINHEIMER, G. (1970): Mikrobiologische und chemische Untersuchungen in der Flensburger Förde. Ber. Deutsche Wiss. Komm. Meeresforsch. NF 21, 420 - 429.
- RHEINHEIMER, G. (1970): Die Selbstreinigung des Meeres. In G. Dietrich: Erforschung des Meeres. Umschau Verlag Frankfurt, 227 - 238.
- RHEINHEIMER, G. und W. NELLEN mit Beiträgen von R. Ahrens, K. Banse-mir, M. Ehrhardt, M. Elbrächter, J. Lenz, J. Schneider (1970): Chemische, mikrobiologische und planktologische Untersuchungen in der Schlei im Hinblick auf deren Abwasserbelastung. Kieler Meeresforsch. 26, 105 - 216.
- AHRENS, R. (1971): Untersuchungen zur Verbreitung von Phagen der Gattung Agrobacterium in der Ostsee. Kieler Meeresforsch. 27, 102 - 112.
- AHRENS, R. und G. MOLL (1971): Über die Fimbrierung sternbildender Bakterien aus Brackwasser. Kieler Meeresforsch. 27, 113 - 116.
- RHEINHEIMER, G. (1971): Über das Vorkommen von Brackwasserbakterien in der Ostsee. Vie et Milieu Suppl. 22, 281 - 291.
- RHEINHEIMER, G. (1971): Mikrobiologie der Gewässer. G. Fischer Verlag Jena und Stuttgart 184 S.

- RHEINHEIMER, G. (1971): Turbidity: Bacteria, fungi and blue-green algae. In O. Kinne (ed.): Marine Ecology I/2, J. Wiley, London, 1167 - 1175.
- SCHNEIDER, J. (1971): Nieder Pilze aus Bodenproben des Brack- und Meerwassers der englischen Westküste. Kieler Meeresforsch. 27, 94 - 101.
- HOPPE, H.-G. (1972): Untersuchungen zur Ökologie der Hefen im Bereich der westlichen Ostsee. Kieler Meeresforsch. 28, 54 - 77.
- HOPPE, H.-G. (1972): Taxonomische Untersuchungen an Hefen aus der westlichen Ostsee. Kieler Meeresforsch. 28, 219 - 226.
- ITURRIAGA, R. und G. RHEINHEIMER (1972): Untersuchungen über das Vorkommen von phenolabbauenden Mikroorganismen in Gewässern und Sedimenten. Kieler Meeresforsch. 28, 204 - 212.
- RHEINHEIMER, G. (1972): Bacteriological investigations in the northern Gulf of Oman. J. Mar. Biol. Assoc. India 14, 365 - 371.
- RHEINHEIMER, G. (1972): Dissolved gases: Bacteria, fungi and blue-green algae. In O. Kinne (ed.): Marine Ecology I/3, J. Wiley, London, 1459 - 1469.
- RHEINHEIMER, G. (1972): Wasserverschmutzung durch den Verkehr auf den Weltmeeren. In Verkehr und Umweltschutz. Schriftenreihe der DVWG. Köln B 14, 138 - 152.
- RHEINHEIMER, G. und K.H. KULLMANN (1972): Untersuchungen über den Bakteriengehalt von Wasser und Sand an einem Badestrand der Ostseeküste. Kieler Meeresforsch. 28, 204 - 212.
- SCHNEIDER, J. (1972): Niedere Pilze als Testorganismen für Schadstoffe in Meer- und Brackwasser. Die Wirkung von Schwermetallverbindungen und Phenol auf Thraustochytrium striatum. Mar. Biol. 16, 214 - 225.
- RHEINHEIMER, G. (1973): Bacteriological investigations in the Arabian Sea. In B. Zeitzschel (ed.): The biology of the Indian Ocean. Ecological Studies 3. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 187 - 188.
- RHEINHEIMER, G. (1973): Bakterien im Stickstoffkreislauf des Meeres. In H. Ellenberg (Hrsg.): Ökosystemforschung. Springer Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg, New York, 111 - 121.

- MEYER-REIL, L.-A. (1973): Untersuchungen über die Salzansprüche von Ostseebakterien. Bot. Mar. 16, 65 - 76.
- MEYER-REIL, L.-A. und G. RHEINHEIMER (1973): Bakteriologische Untersuchungen im Auftriebsgebiet vor der westafrikanischen Küste und im Sediment des Küstenschelfs. "Meteor"-Forschungsergebnisse D 16, 33 - 41.
- BANSEMR, K. und G. RHEINHEIMER (1974): Bakteriologische Untersuchungen über die Bildung von Schwefelwasserstoff in einer Vertiefung der inneren Kieler Förde. Kieler Meeresforsch. 30, 91 - 98.
- BÖLTER, M. und L.-A. MEYER-REIL (1974): Untersuchungen an Bakterienstämmen aus dem Auftriebsgebiet vor der westafrikanischen Küste: Taxonomie und Nährstoffansprüche. Bot. Mar. 17, 227 - 248.
- GOCKE, K. (1974): Methodische Probleme bei Untersuchungen zur mikrobiellen Stoffaufnahme in Gewässern. Kieler Meeresforsch. 30, 12 - 23.
- GOCKE, K. (1974): Untersuchungen über den Einfluß des Salzgehaltes auf die Aktivität von Bakterienpopulationen des Süß- und Abwassers. Kieler Meeresforsch. 30, 99 - 106.
- HOPPE, H.-G. (1974): Untersuchungen zur Analyse mariner Bakterienpopulationen mit einer autoradiographischen Methode. Kieler Meeresforsch. 30, 107 - 116.
- MAGAARD, L. und G. RHEINHEIMER (Hrsg.) (1974): Meereskunde der Ostsee. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 269 S.
- MEYER-REIL, L.-A. (1974): Untersuchungen über die Salzansprüche von Ostseebakterien: Temperaturansprüche und Adaptationen. Bot. Mar. 17, 1 - 15.
- RHEINHEIMER, G. (1974): Aquatic Microbiology. Übers. A. Mair-Harting. John Wiley London, New York, Sidney, Toronto 184 p.
- RHEINHEIMER, G. (1974): Bakterien und Pilze. In L. Magaard und G. RHEINHEIMER (Hrsg.): Meereskunde der Ostsee. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 161 - 170.
- RHEINHEIMER, G. (1974): Verschmutzung der Ostsee durch Abfälle und Abwässer. In L. Magaard und G. Rheinheimer (Hrsg.): Meereskunde der Ostsee. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 253 - 260.

- RHEINHEIMER, G. und W. GUNKEL (1974): Bakteriologische Untersuchungen im Persischen Golf. "Meteor"-Forschungsergebnisse D 17, 1 - 16.
- SCHLESNER, H. und G. RHEINHEIMER (1974): Auswirkungen einer Ozonierungsanlage auf den Bakteriengehalt des Wassers eines Schauaquariums. Kieler Meeresforsch. 30, 117 - 129.
- ZIMMERMANN, R. and L.-A. MEYER-REIL (1974): A new method for fluorescence staining of bacterial populations on Nuclepore membrane filters. Kieler Meeresforsch. 31, 1 - 6.
- GOCKE, K. (1975): Studies on short-term variations of heterotrophic activity in the Kiel Fjord. Mar Biol. 33, 87 - 94.
- GOCKE, K. (1975): Untersuchungen über die Aufnahme von gelöster Glukose unter natürlichen Verhältnissen durch größenfraktioniertes Nano- und Ultrananoplankton. Kieler Meeresforsch. 31, 87 - 94.
- HOPPE, H.-G., K. GOCKE und G. RHEINHEIMER (1975): Mikrobiologische Untersuchungen über die Wasserverschmutzung durch Abwässer. Forschungsbericht M 75-04 des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, 1 - 25.
- Iturriaga, R. und G. RHEINHEIMER (1975): Eine einfache Methode zur Auszählung von Bakterien mit aktivem Elektronentransportsystem in Wasser- und Sedimentproben. Kieler Meeresforsch. 31, 83 - 86.
- JESKE, R. (1975): Untersuchungen über den Einfluß von Salinitätsschwankungen auf die Bakterienflora in der Lagune Ciénaga Grande de Santa Marta (Kolumbien) und in angrenzenden Meeresgebieten. Kieler Meeresforsch. 31, 7 - 16.
- MEYER-REIL, L.-A. (1975): An improved method for the semicontinuous culture of bacterial populations on Nuclepore membrane filters. Kieler Meeresforsch. 31, 1 - 6.
- RHEINHEIMER, G. (1975): Mikrobiologie der Gewässer. 2. Aufl. G. Fischer Verlag Jena und Stuttgart 204 p.
- SCHMUTZER, C. und G. RHEINHEIMER (1975): Vergleichende Untersuchungen zur Selbstreinigung von abwasserbelasteten Gewässern unterschiedlichen Salzgehaltes. Kieler Meeresforsch. 31, 17 - 25.

- SIMMAN, J. und G. RHEINHEIMER (1975): Untersuchungen über die Ausbreitung und Vermehrung von *E. coli* in Schlicksedimenten von Küstengewässern. Kieler Meeresforsch. 31, 95 - 106.
- BODUNGEN, von B., K. GOCKE, V. SMETACEK and B. ZEITZSCHEL (1976): The effect of sediment flushing by density displacement of interstitial water on pelagic primary production and microbial activity. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 3, 87 - 95.
- GOCKE, K. (1976): Respiration von gelösten organischen Verbindungen durch natürliche Mikroorganismenpopulationen. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Biotopen. Mar. Biol. 35, 375 - 383.
- HOPPE, H.-G. (1976): Cultivation of microorganisms: Yeasts. In O. Kinne (ed.): Marine Ecology III/1, J. Wiley, London, 347 - 356.
- HOPPE, H.-G. (1976): Determination and properties of actively metabolizing heterotrophic bacteria in the sea, investigated by means of micro-autoradiography. Mar. Biol. 36, 291 - 302.
- RHEINHEIMER, G. (1976): Mikrobiologia wod. Übers. M. Maciejowska. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne. Warszawa 272 S.
- SCHNEIDER, J. (1976): Cultivation of microorganisms - Lower Fungi, Asco- and Deuteromycetes. In O. Kinne (ed.): Marine Ecology III/1, J. Wiley, London, 337 - 345.
- SCHNEIDER, J.: Lignicole marine Pilze (Ascomyceten und Deuteromyceten) aus zwei Ostseeförden. Bot. Mar. 19, 295 - 307, 1976.
- BÖLTER, M. (1977): Distribution of special physiological bacteria groups. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 138 - 147.
- BÖLTER, M. (1977): Numerical taxonomy and character analysis of saprophytic bacteria isolated from the Kiel Fjord and Kiel Bight. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 148 - 178.

- BÖLTER, M., L.-A. MEYER-REIL, and B. PROBST (1977): Comparative analysis of data measured in the brackish water of the Kiel Fjord and the Kiel Bight. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 250 - 280.
- GOCKE, K. (1977): Untersuchungen über die heterotrophe Aktivität in der zentralen Ostsee. Mar. Biol. 40, 87 - 94.
- GOCKE, K. (1977): Heterotrophic activity. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 198 - 222.
- GOCKE, K. (1977): Comparison of methods for determining the turnover times of dissolved organic compounds. Mar. Biol. 42, 131 - 141.
- GOCKE, K. and H.-G. HOPPE (1977): Determination of organic substances and respiration potential. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 61 - 70.
- HOPPE, H.-G. (1977): Analysis of actively metabolizing bacterial populations. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 179 - 197.
- ITURRIAGA, R. and H.-G. HOPPE (1977): Observations of heterotrophic activity on photoassimilated organic matter. Mar. Biol. 40, 101 - 108.
- MEYER-REIL, L.-A. (1977): Bacterial growth rates and biomass production. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 223 - 236.
- RHEINHEIMER, G. (ed.) (1977): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 291 S.
- RHEINHEIMER, G. (1977): The Kiel Bight as research area. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 5 - 11.

- RHEINHEIMER, G. (1977): Oxygen and some nutrients. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 26 - 36.
- RHEINHEIMER, G. (1977): Regional and seasonal distribution of saprophytic and coliform bacteria. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 121 - 137.
- RHEINHEIMER, G. (1977): Bakteriologisch-ökologische Untersuchungen in Sandstränden an Nord- und Ostsee. Bot. Mar. 20 385 - 399.
- RHEINHEIMER, G. (1977): Mikrobiologische Untersuchungen in Flüssen. I. Fluoreszenzmikroskopische Analyse der Bakterienflora einiger norddeutscher Flüsse. Arch. Hydrobiol. 81, 106 - 118.
- RHEINHEIMER, G. (1977): Mikrobiologische Untersuchungen in Flüssen. II. Die Bakterienbiomasse in einigen norddeutschen Flüssen. Arch. Hydrobiol. 81, 259 - 267.
- RHEINHEIMER, G. (1977): Abwasserbelastung und Bakterienverteilung in der westlichen Ostsee. Acta hydrochim hydrobiol. 5, 473 - 480.
- RHEINHEIMER, G. (1977): Beziehungen zwischen Bakterienzahl und bakterieller Aktivität im Wasser. In I. Daubner (Hrsg.): II Internationales Hydromikrobiologisches Symposium. VEDA Bratislava, 221 - 232.
- SCHNEIDER, J. (1977): Fungi. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 90 - 102.
- SCHNEIDER, J. (1977): Desulfurication and sulfur oxidation. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 244 - 248.
- SZWERINSKI, H. (1977): Nitrification. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 237 - 243.
- WOLTER, K. und G. RHEINHEIMER (1977): Bakteriologische Untersuchungen an in der Brandungszone angetriebenem Algenmaterial. Bot. Mar. 20, 171 - 181.

- ZIMMERMANN, R. (1977): Estimation of bacterial number and biomass by epifluorescence microscopy and scanning electron microscopy. In G. Rheinheimer (ed.): Microbial ecology of a brackish water environment. Ecological Studies 25. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 193 - 220.
- DAWSON, R. and K. GOCKE (1978): Heterotrophic activity in comparison to the free amino acid concentrations in Baltic sea water samples. Oceanol. Acta 1, 45 - 54.
- GOCKE, K. (1978): Untersuchungen über den Jahreszyklus der heterotrophen Aktivität in der Kieler Förde. Arch. Hydrobiol. 82, 123 - 141.
- HOPPE, H.-G. (1978): Relations between active bacteria and heterotrophic potential in the sea. Netherlands J. Sea Res. 12, 78 - 98.
- MEYER-REIL, L.-A. (1978): Uptake of glucose by bacteria in the sediment. Mar. Biol. 44, 293 - 298.
- MEYER-REIL, L.-A. (1978): Autoradiography and epifluorescence microscopy combined for the determination of number and spectrum of actively metabolizing bacteria in natural waters. Appl. Environ. Microbiol. 36, 506 - 512.
- MEYER-REIL, L.-A. (1978): Bacterial activity in sandy sediments. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 4, 256 p., 1978.
- MEYER-REIL, L.-A., R. DAWSON, G. LIEBEZEIT and H. TIEDGE (1978): Fluctuations and interactions of bacterial activity in sandy beach sediments and overlying waters. Mar. Biol. 48, 161 - 171.
- RHEINHEIMER, G. (1978): Die Rolle der heterotrophen Mikroorganismen im marinen Ökosystem. Verh. Ges. Ökol. Kiel 1977, 29 - 34.
- WEISE, W. and G. RHEINHEIMER (1978): Scanning electron microscopy and epifluorescence investigation of bacterial colonization of marine sand sediments. Microb. Ecol. 4, 175 - 188.
- ZIMMERMANN, R., R. ITURRIAGA, J. BECKER-BIRCK (1978): Simultaneous determination of the total number of aquatic bacteria and the number thereof involved in respiration. Appl. Environ. Microbiol. 36, 926 - 935.

- HOPPE, H.-G. (1979): Microbial activity measurements by means of Tritium labelled substrates. In IAEA-SM 232/5: Behaviour of Tritium in the environment, 205 - 218.
- ITURRIAGA, R. (1979): Bacterial activity related to sedimenting particulate matter. *Mar. Biol.* **55**, 157 - 169.
- MEYER-REIL, L.-A., M. BÖLTER, G. LIEBEZEIT, and W. SCHRAMM (1979): Short-term variations in microbiological and chemical parameters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **1**, 1 - 6.
- RHEINHEIMER, G. (1979): Sandstrände - eine ökologische Nische für einige interessante heterotrophe Bakterien. *Forum Mikrobiologie* **6**, 318 - 322.
- RHEINHEIMER, G. (1979): Mikrobiologisch-ökologische Untersuchungen in verschiedenen Flüssen Schleswig-Holsteins. *Ber. Inst. Meereskunde Kiel* **67**, 105 p.
- WEISE, W. and G. RHEINHEIMER (1979): Fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen über die Bakterienbesiedlung mariner Sandsedimente. *Bot. Mar.* **22**, 99 - 106.
- BÖLTER, M., M. MEYER and B. PROBST (1980): A statistical scheme for structural analysis in marine ecosystems. *Ecol. Mod.* **9**, 143 - 151.
- LIEBEZEIT, G., M. BÖLTER, I.F. BROWN and PR. DAWSON (1980): Dissolved free amino acids and carbohydrates at pycnocline boundaries in the Sargasso Sea and related microbial activity. *Oceanol. Acta* **3**, 357 - 362.
- LOY, S. und G. RHEINHEIMER (1980): Mikrobiologische Untersuchungen in Flüssen III. Anzahl und Biomasse der aktiven Bakterien in einigen norddeutschen Flüssen. *Arch. Hydrobiol.* **88**, 439 - 449.
- MEYER-REIL, L.-A., M. BÖLTER, R. DAWSON, G. LIEBEZEIT, H. SZWERINSKI, and K. WOLTER (1980): Interrelationships between microbiological and chemical parameters of sandy beach sediments, a summer aspect. *Appl. Environ. Microbiol.* **39**, 797 - 802.
- MEYER-REIL, L.-A. and A. FAUBEL (1980): Uptake of organic matter by meiofauna and interrelationships with bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **3**, 251 - 256.

- RHEINHEIMER, G. (1980): Aquatic Microbiology. 2nd Ed. Übers. N. Walker. John Wiley Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 235 p.
- ZIMMERMANN, R., B. BÖLTER und K. WOLTER (1980): Bakteriologisch-ökologische Untersuchungen im Gebiet des westafrikanischen Küstenauftriebs. Bot. Mar. 28, 179 - 191.
- BAUERFEIND, S., G.G. GERHARDT und G. RHEINHEIMER (1981): Untersuchungen zur Überlebensdauer von Fäkalbakterien mit und ohne Sediment. Zbl. Bakt. Hyg. I. Abt. Orig. B 174, 364 - 374.
- BÖLTER, M. (1981): DOC-turnover and microbial biomass production. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5, 304 - 310.
- BÖLTER, M., L.-A. MEYER-REIL, R. DAWSON, G. LIEBEZEIT, K. WOLTER and H. SZWERINSKI (1981): Structure analysis of shallow water ecosystems: Interaction of microbiological, chemical and physical characteristics measured in the overlying waters of sandy beach sediments. Est. Coastal. Shelf Sci. 13, 579 - 589.
- FAUBEL, A. and L.-A. MEYER-REIL (1981): Enzymatic decomposition of particulate organic matter by meiofauna. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5, 429 - 470.
- GOCKE, K., R. DAWSON, and G. LIEBEZEIT (1981): Availability of dissolved free glucose to heterotrophic microorganisms. Mar. Biol. 62, 209 - 216.
- GOCKE, K., M. VITOLA and G. ROJAS (1981): Oxygen consumption patterns in a mangrove swamp on the Pacific coast of Costa Rica. Revista de Biología Tropical 29, 143 - 154.
- GOCKE, K., E. LAHMANN, G. ROJAS and J. ROMERO (1981): A morphometric survey together with some basic limnological data of Laguna Grande de Chirripó. Revista de Biología Tropical 29, 165 - 174.
- HOPPE, H.-G. (1981): Blue-green algae agglomeration in surface water: a microbiotope of high bacterial activity. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5, 291 - 303.
- HORSTMANN, U. and H.-G. HOPPE (1981): Competition of methylamin/ammonium by phytoplankton and bacteria. Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5, 110 - 116.

- MEYER-REIL, L.-A. (1981): Enzymatic decomposition of proteins and carbohydrates in marine sediments: methodology and field observations during spring. *Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5*, 311 - 317.
- MEYER-REIL, L.-A., W. SCHRAMM and G. WEFER (1981): Microbiology of a tropical coral reef system (Mactan; Philippines). *Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5*, 431 - 432.
- RHEINHEIMER, G. (1981): *Mikrobiologie der Gewässer*, 3. Aufl. Fischer, Jena, Stuttgart, 252 p.
- RHEINHEIMER, G. (1981): Investigations on the role of bacteria in the food web of the western Baltic. *Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5*, 284 - 290.
- RHEINHEIMER, G. (1981): Estuarine bacterial population and their role in the decomposition of organic material. River inputs to ocean systems. UNEP and UNESCO, 283 - 290.
- RHEINHEIMER, G. (1981): Beeinflussung der Bakterienpopulation von Flüssen durch Temperatur und Abflußschwankungen. In I. Daubner (Hrsg.): III. Internationales Hydromikrobiologisches Symposium. VEDA Bratislava, 29 - 38.
- SCHNEIDER, J. (1981): Ein ökologischer Vergleich aquatischer niederer Pilze (*Thraustochytrium spec.*) von Meeres- und Binnenlandstandorten. *Bot. Mar.* 24, 475 - 483.
- SZWERINSKI, H. (1981): Nitrate formation by autotrophic nitrifying bacteria in coastal waters and sediments of the Kiel Bight. *Kieler Meeresforsch., Sonderh. 5*, 284 - 290.
- WILDE, V. und G. RHEINHEIMER (1981): Mikrobiologische Untersuchungen in Flüssen IV. Der Einfluß von Salzgehaltsänderungen im Mündungsgebiet auf Zusammensetzung und Aktivität der Mikroflora. *Arch. Hydrobiol.* 93, 21 - 31.
- BÖLTER, M. (1982): Submodels of a brackish water environment. I. Temperature and microbial activity. *Ecol. Mod.* 17, 311 - 318.
- BÖLTER, M. (1982): Submodels of a brackish water environment. II. Remineralization rates of carbohydrates and oxygen consumption by pelagic microheterotrophs. *PSZNI: Mar. Ecol.* 3, 233 - 241.

- BÖLTER, M., G. LIEBEZEIT, K. WOLTER and U. PALMGREN (1982): Submodels of a brackish water environment. III. Microbial biomass production and related carbon flux. PSZNI: Mar. Ecol. 3, 243 - 253.
- ES, F.B. van and L.-A. MEYER-REIL (1982): Biomass and metabolic activity of heterotrophic marine bacteria. In K.C. Marshall (ed.): Advances in microbial ecology. Plenum Press, New York, 6, 111 - 170.
- GOCKE, K. und H.-G. HOPPE (1982): Entwicklung von Bakterienzahl und -aktivität während einer Frühjahrsblüte des Phytoplanktons in der Ostsee. Bot. Mar. 25, 295 - 303.
- GOCKE, K. und H.-G. HOPPE (1982): Regionalverteilung der Bakterienzahl und -aktivität in der mittleren Ostsee. Bot. Mar. 25, 381 - 389.
- GOCKE, K. and G. RHEINHEIER (1982): Hydrographische Einflüsse auf Bakterienverteilung und bakterielle Aktivität in einer eutrophierten Ostseeförde. Bot. Mar. 25, 7 - 17.
- SALTZMANN, H.-A. (1982): Biodegradation of aromatic hydrocarbons in marine sediments of three North Sea oil fields. Mar. Biol. 72, 17 - 26, 1982.
- SALTZMANN, H.-A. (1982): Eine Methode zur spezifischen Messung der Beeinflussung von Mikroorganismen während der Erwärmung im Kondensator einer Kraftwerkskühlanlage. Sd. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 26, H. 5, 135 - 141.
- WOLTER, K. (1982): Bacterial incorporation of organic substances released by natural phytoplankton populations. Mar. Ecol. Prog. Ser. 7, 287 - 295.
- AZAM, F., T. FENCHEL, J.G. FIELD, J.S. GRAY, L.-A. MEYER-REIL and F. THINGSTAD (1983): The ecological role of water-column microbes in the sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 10, 257 - 263.
- FAUBEL, A. and L.-A. MEYER-REIL (1983): Measurement of enzymatic activity of meiobenthic organisms: methodology and ecological application. Cahiers de Biologie Marine 24, 35 - 49.
- GAST, V. and U. HORSTMANN (1983): Investigations on the N-remine-ralization of phyto- and bacterioplankton by the marine ciliate Euplotes vannus. Mar. Ecol. Prog. Ser. 13, 55 - 60.

- GOCKE, K., H.-G. HOPPE and S. BAUERFEIND (1983): Investigations on the influence of coastal upwelling and polluted rivers on the microflora of the northeastern Atlantic off Portugal. II. Activity and biomass production of the bacterial population. *Bot. Mar.* 26, 189 - 199.
- GRAF, G., R. SCHULZ, R. PEINERT and L.-A. MEYER-REIL (1983): Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow-water station in the Western Kiel Bight I. Analysis of processes on a community level. *Mar. Biol.* 77, 235 - 246.
- HOPPE, H.-G. (1983): Significance of exoenzymatic activities in the ecology of brackish water: measurements by means of methylumbelliferyl-substrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 11, 299 - 308.
- HOPPE, H.-G., K. GOCKE, D. ZAMORANO and R. ZIMMERMANN (1983): Degradation of macromolecular organic compounds in a tropical lagoon (Ciénaga Grande, Colombia) and its ecological significance. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 68, 811 - 824.
- MEYER-REIL, L.-A. (1983): Benthic response to sedimentation events during autumn to spring at a shallow-water station in the Western Kiel Bight II Analysis of bacterial populations. *Mar. Biol.* 77, 247 - 256.
- MÜLLER-HAECKEL, A. and G. RHEINHEIMER (1983): Studies on the annual cycle of bacteria and fungi in the Ängöran, a coastal stream in northern Sweden. *Aquilo Ser. Zool.* 22, 51 - 56.
- RHEINHEIMER, G. and R. SCHMALJOHANN (1983): Investigations on the influence of coastal upwelling and polluted rivers on the microflora of the northeastern Atlantic off Portugal. I. Size and composition of the bacterial population. *Bot. Mar.* 26, 137 - 152.
- GRAF, G., W. BENGTSSON, A. FAUBEL, L.-A. MEYER-REIL, R. SCHULZ and H. THEEDE (1984): The importance of the spring phytoplankton bloom for the benthic system of Kiel Bight. *Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.* 183, 136 - 143.

- HOPPE, H.-G. (1984): Attachment of bacteria: advantage or disadvantage for survival in the aquatic environment. In K.C. Marshall (ed.): Microbial adhesion and aggregation. Dahlem Konferenzen, Life sciences research report 31. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 283 - 302.
- MEYER-REIL, L.-A. (1984): Bacterial biomass and heterotrophic activity in sediments and overlying waters. In J.E. Hobbie and P.J. leB. Williams (eds.): Heterotrophic activity in the sea. Plenum Press, New York, 523 - 546.
- MEYER-REIL, L.-A. (1984): Seasonal variations in bacterial biomass and decomposition of particulate organic material in marine sediments. Arch. Hydrobiol. Beih. Limnol. 19, 201 - 206.
- NELLEN, W., G. RHEINHEIMER, P. BAHRS, G. QUANTZ, H.A. SALTZMANN und U. WALLER (1984): Statusberichte über die im Jahr 1983 erfolgter Forschungsarbeiten in den BMFT-Forschungsprojekten MFE 0516-9 und 05223, "Prophylaxe und Therapie von Fischkrankheiten in marinen Intensivkulturen" und "Gewinnung von Basisdaten über den energetische und biochemische Transformation der Nährstoffe von Fischen bei unterschiedlichen physiologischen Ausgangszuständen", (mimeo), 48 p.
- RHEINHEIMER, G. (1984): The role of small heterotrophs (bacteria and protozoa) in a shelf ecosystem. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 183, ICES Kopenhagen.
- RHEINHEIMER, G. (1984): Bacterial ecology of the North and Baltic Seas. Bot. Mar. 27, 277 - 299.
- RHEINHEIMER, G. (1984): Interrelationships between bacteria and phytoplankton in a marine area. Colloques Internationaux CNRS, Paris 331, 101 - 106.
- RHEINHEIMER, G. (1984): Eutrophierung und Bakterienverteilung in der Ostsee. Forum Mikrobiologie 7, 339 - 345.
- SCHLOTTFELD, H.J., H. FUHRMANN, K. PFORTMÜLLER, K.H. BÖHM und H.-A. SALTZMANN (1984): Anmerkungen zur Frage der (zunehmenden) Resistenz fischpathogener-fakultativ fischpathogener Bakterien in Niedersachsen gegenüber den für Fische zugelassenen Arzneimittel-Vorschriften-Wirkstoffen, mit besonderem Hinweis auf Lincospectin und Oxolinensäure. Tierärztliche Umschau 39 (12), 974 - 988, 1984.

- SCHMALJOHANN, R. (1984): Morphological investigations on bacterio-plankton of the Baltic Sea, Kattegat and Skagerrak. Bot. Mar. 27, 425 - 436.
- WOLTER, K., U. RABSCH, P. KRISCHKER und A.G. DAVIES (1984): Influence of low concentrations of cadmium, copper and zinc on phyto-plankton of natural water samples. Mar. Ecol. Prog. Ser. 19, 167 - 173.
- BAUERFEIND, S. (1985): Degradation of phytoplankton detritus by bacteria: estimation of bacterial consumption and respiration in an oxygen chamber. Mar. Ecol. Prog. Ser. 21, 27 - 36.
- BOOTH, W.E. and H.-G. HOPPE (1985): Tritiated thymidine incorporation as a comparative measure of macroalgal epibacterial activity. Bot. Mar. 27, 47 - 56.
- GAST, V. (1985): Bacteria as a food source for microzooplankton in the Schlei Fjord and Baltic Sea with special reference to ciliates. Mar. Ecol. Prog. Ser. 22, 107 - 120.
- GRAF, G. and L.-A. MEYER-REIL (1985): Remineralization of organic substances on benthic surfaces in the intertidal reef area off Macta, Cebu, Philippines. The Philippine Scientist 22, 42 - 46.
- KIM, S.-J. (1985): Effect of heavy metals on natural populations of bacteria from surface microlayers and subsurface water. Mar. Ecol. Prog. Ser. 26, 203 - 206.
- MEYER-REIL, L.-A. and G. GRAF (1985): Short-term variations of heterotrophic activity on the surface film of Sargassum and in the sediment. The Philippine Scientist 22, 47 - 50.
- MOW-ROBINSON, J.-M. and G. RHEINHEIMER (1985): Comparison of bacterial populations from the Kiel Fjord in relation to the presence or absence of benthic vegetation. Bot. Mar. 28, 29 - 39.
- NISSLBECK, P., M. VOIGT, G. BOLMS, S.-J. KIM und H.-G. HOPPE (1985): Untersuchungen über die Abhängigkeit der extrazellulären Enzymaktivität von Umweltparametern (S, T, pH). Ber. Inst. Meereskunde Kiel, 145, 55 p.
- OSTERROHT, C., A. WENCK, K. KREMLING and K. GÖCKE (1985): Concentration of dissolved organic copper in relation to other chemical and biological parameters in coastal Baltic waters. Mar. Ecol. Prog. Ser. 22, 273 - 279.

- OSTERROHT, C., A. WENCK, K. KREMLING and K. GOCKE (1985): Chemical, planktological and microbiological investigations at an anchor station in Kiel Bight during 1981/1982. Ber. Inst. Meeresk. Kiel, 141, 1 - 15.
- RHEINHEIMER, G. (1985): Mikrobiologie der Gewässer. 4. Aufl. Verlag Fischer Jena und Stuttgart, 262 p.
- RHEINHEIMER, G. (1985): Aquatic Microbiology. 3rd. Ed. Übers. J. Walker. John Wiley, Chichester, New York, Toronto, Brisbane, Singapore, 257 p.
- RHEINHEIMER, G. (1985): 100 Jahre Meeresmikrobiologie. Limnologica (Berlin) 16, 233 - 246.
- BÖLTER, M., M. MEYER und G. RHEINHEIMER (1986): Mikrobiologische Untersuchungen in Flüssen V. Taxonomische Analyse von Bakterienpopulationen aus Elbe und Trave zu verschiedenen Jahreszeiten. Arch. Hydrobiol. 107, 2, 203 - 214.
- FLÜGEL, H., I. LANGHOF und R. SCHMALJOHANN (1986): Neuere Untersuchungen zur Ernährung und Fortpflanzung der Pogonophora (Bartwürmer). Verh. Dtsch. Zool. Ges. 79, 339.
- HOPPE, H.-G. (1986): Relations between bacterial extracellular enzymatic activities and heterotrophic substrate uptake in a brackish water environment. IFREMER, Actes de Colloques, 3, 119 - 129.
- HOPPE, H.-G. (1986): Degradation in sea water. In H.J. Rehm and G. Reed (eds.): Biotechnology, a comprehensive treatise in 8 volumes, Verlag Chemie, Weinheim, New York, 453 - 474.
- KIM, S.-J. and H.-G. HOPPE (1986): Microbial extracellular enzyme detections on agar plates by means of fluorogenic methylumbelliferyl-substrates. IFREMER, Actes de Colloques, 3, 175 - 185.
- MEYER-REIL, L.-A. (1986): Measurement of hydrolytic activity and incorporation of dissolved organic substrates by microorganisms in marine sediments. Mar. Ecol. Prog. Ser. 31, 143 - 149.

- MEYER-REIL, L.-A. (1986): Spatial and temporal distribution of bacterial populations in marine shallow waters surface sediments. In P. Lasserre and J.-M. Martin (eds.): Biogeochemical processes at the land-sea boundary. Elsevier Oceanography Series 43, 141 - 160, Elsevier, Amsterdam.
- MEYER-REIL, L.-A. and G. GRAF (1986): Seasonal development of bacterial communities in a coastal marine sediment as related to the input of organic material. IFREMER, Actes de Colloques 3, 55 - 59.
- RHEINHEIMER, G. (1986): One hundred years marine microbiology - History and future development. IFREMER, Actes de Colloques, 3, 15 - 22.
- RÖTTGER, R., M. FLADUNG, R. SCHMALJOHANN, M. SPINDLER and H. ZACHARIAS (1986): A new hypothesis: The so-called megalospheric schizont of the larger foraminifer *Heterostegina depressa* D'Orbigny, 1826, is a separate species. Journal of Foraminiferal Research 16, 141 - 149.
- BÖLTER, M. and G. RHEINHEIMER (1987): Numerical analysis of microbial and chemical characters and of saprophytic bacteria from the Baltic Sea. Bot. Mar. 30, 535 - 544, 1987.
- GOCKE, K., K. KREMLING, C. OSTERROHT and A. WENCK (1987): Short-term fluctuations of microbial and chemical variables during different seasons in coastal Baltic waters. Mar. Ecol. Prog. Ser. 40, 137 - 144.
- HOPPE, H.-G. (1987): Nutrition of western Baltic heterotrophic microorganisms as revealed by autoradiography. Prace Morskiego Instytutu Rybackiego, Gdynia, 40 - 47, 1987.
- LOCHTE, K. and O. PFANNKUCHE (1987): Cyclonic cold-core eddy in the eastern North Atlantic. II. Nutrients, phytoplankton and bacterioplankton. Mar. Ecol. Prog. Ser. 39, 153 - 164.
- MEYER-REIL, L.-A. (1987): Seasonal and spatial distribution of extracellular enzymatic activities and microbial incorporation of dissolved organic substrates in marine sediments. Appl. Environ. Microbiol. 53, 1748 - 1755.

- MEYER-REIL, L.-A., A. FAUBEL, G. GRAF and H. THIEL (1987): Aspects of benthic community structure and metabolism. In J. Rumohr, E. Walger and B. Zeitzschel (eds.): Seawater-sediment interactions in coastal waters. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies 13, 69 - 110. Springer Verlag, Berlin.
- RHEINHEIMER, G. (1987): Mikrobiologia Wod. 2. Aufl. Übers. M. Maciejowska. Panstwowe Wydawnictwo Rolnicze i Lesne, Warszawa. 328 p.
- RHEINHEIMER, G. (1987): Mikrobiologia de las Aguas. Übers. J. Romero Munoz de Arenillas. Editorial Acribia, Zaragoza. 299 p.
- RHEINHEIMER, G. (1987): Neuere Entwicklungen in der Meeresmikrobiologie In I. Daubner (Hrsg.): Internationales Hydromikrobiologisches Symposium. VEDA Bratislava, 18 - 31.
- RHEINHEIMER, G. (1987): Relations between pollution and bacterial flora in the western Baltic. Prace Morskiego Instytutu Rybackiego, Gdynia, 33 - 39.
- RHEINHEIMER, G. (1987): Influence of eutrophication on bacterial abundance and activity in the Baltic Sea. In: Integrated Global Ocean Monitoring. Leningrad Gidrometeozdat 1986. Vol.2, 280 - 287, 1987.
- SCHMALJOHANN, R. (1987): Endosymbiosen zwischen methylo-trophen Bakterien und marinen Invertebraten. Forum Mikrobiologie 10, 166 - 171.
- SCHMALJOHANN, R., U. POLLINGHER and T. BERMAN (1987): Natural populations of bacteria in Lake Kinneret: Observations with scanning electron and epifluorescence microscopy. Microbial Ecology 13, 1 - 12.
- SCHMALJOHANN, R. and H. Flügel (1987): Methane-oxidizing bacteria in pogonophora. Sarsia 72, 91 - 98.
- SCHULZ, C.-J. and G. RHEINHEIMER (1987): Microbial investigations in rivers VI: The bacterial populations in the inflow and the outlet of a small lake. Arch. Hydrobiol. 111, 235 - 244.
- BILLEN, G.C. JOIRIS, H. LINDEBOOM and L.-A. MEYER-REIL (1988): Microbiology of the North Sea. International Symposium on the Ecology of the North Sea, Texel.

- GAST, V. and K. GÖCKE (1988): Vertical distribution of number, biomass and size-class spectrum of bacteria in relation to oxic/anoxic conditions in the Central Baltic Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 45, 179 - 186.
- GÖCKE, K., W. BUSSING, J. CORTES (1988): Morphometric and basic limnological properties of the Laguna de Río Cuarto, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 35, 277- 285.
- GÖCKE, K. and G. RHEINHEIMER (1988): Microbial investigations in rivers. VII. Seasonal variations of bacterial numbers and activity in eutrophied rivers of Northern Germany. *Arch. Hydrobiol.* 112, 197 - 219.
- HOPPE, H.-G., S.-J. KIM and K. GÖCKE (1988): Microbial decomposition in aquatic environments: a combined process of extracellular enzyme activity and substrate uptake. *Appl. Environ. Microbiol.* 54, 784 - 790.
- HOPPE, H.-G., W. SCHRAMM and P. BACOLOD (1988): Spatial and temporal distribution of pelagic microorganisms and their proteolytic activity in a partly destroyed coral reef. *Mar. Biol. Prog. Ser.* 44, 95 - 102.
- OESCHGER, R. and R. SCHMALJOHANN (1988): Association of various types of epibacteria with Halicryptus spinulosus (Priapulida). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 48, 285 - 293.
- RHEINHEIMER, G., W. HEGEMANN, J. RAFF und I. SEKOULOV (Hrsg.) (1988): Stickstoffkreislauf im Wasser. Oldenbourg, München 400 p.
- RHEINHEIMER, G. unter Mitarbeit von D. JAEGER (1988): Ökologische Aspekte der Stickstoffumsetzungen. In G. Rheinheimer, W. Hegemann, J. Raff und I. Sekoulov (Hrsg.): Stickstoffkreislauf im Wasser. Oldenbourg, München, 126 - 149.
- SCHNEIDER, J. and G. RHEINHEIMER (1988): Isolation Methods. In B. Austin (ed.): *Methods in aquatic bacteriology*. John Wiley, Chichester, 73 - 94.
- TURLEY, C.M., K. LOCHTE and D.J. PATTERSON (1988): A bacterivorous barophilic flagellate isolated from 4500 m in the northeast Atlantic. *Deep-Sea Res.* 35, 1079 - 1092.
- GALVAO, H.M., A.T. FRITZ and R. SCHMALJOHANN (1989): Ingestion of gametes by protists: fate of surplus reproductive energy in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 51, 215 - 220.

- HOPPE, H.-G., K. GOCKE and J. KUPARINEN (1989): The effect of H₂S on extracellular enzyme activity, heterotrophic substrate uptake and growth of brackish water bacteria. In Vorber.
- RHEINHEIMER, G., K. GOCKE and H.-G. HOPPE (1989): Vertical distribution of microbiological and hydrographic-chemical parameters in different areas of the Baltic Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser.52, 55 - 70.
- THIEL, H., K. LOCHTE, A.J. GOODAY, Ch. HEMLEBEN, R.F.C. MANTOURA, J.W. PATCHING, O. PFANNKUCHE, F. RIEMANN, G. SCHRIEVER and C.M. TURLEY: Detritus on the deep-sea floor in a central oceanic region of the Northeast Atlantic (in prep.).

**Diplomarbeiten, Dissertationen, Habilarbeiten aus der Abt.
Marine Mikrobiologie**

- AHRENS, R.: Taxonomische und ökologische Untersuchungen an sternbildenden Bakterien aus der Ostsee. Diss., Kiel, 1967.
- BANSEMIR, K.: Die H₂S-Bildung in einer Vertiefung der Kieler Innenförde. Diss., Kiel, 1970.
- HOPPE, H.-G.: Untersuchungen zur Ökologie und Taxonomie der im Bereich der Kieler Bucht vorkommenden Hefen. Diss., Kiel, 1971.
- HUSSAIN, H.M.: Ökologische Untersuchungen an thermophilen Mikroorganismen und deren Rolle bei der Selbsterhitzung von Heu. Diss., Kiel, 1971.
- SADJEDI, F.: Qualitative und quantitative Untersuchungen zum Vorkommen der coliformen Bakterien im Bereich der westlichen Ostsee. Diss., Kiel, 1971.
- LEHNBERG, B.: Ökologische Untersuchungen an aeroben agar- und zellulosezersetzenden Bakterien in Nord- und Ostsee. Diss., Kiel, 1972.
- MEYER-REIL, L.-A.: Untersuchungen über die Salzansprüche von Ostseebakterien. Diss., Kiel, 1972.
- BÖLTER, M.: Taxonomische Untersuchungen an Bakterien aus den Auftriebswasserkörpern vor der westafrikanischen Küste. Dipl.-Arb., Kiel, 1973.
- MÜLLER, H.-G.: Taxonomische Untersuchungen an chitinabbauenden Bakterien aus Ost- und Nordsee. Dipl.-Arb., Kiel, 1973.
- SCHLESNER, H.: Auswirkungen einer Seewasser-Reinigungsanlage nach dem Abschäumungsprinzip mit Hilfe von Ozon auf den Bakteriengehalt des Wassers eines Schauaquariums. Dipl.-Arb., Kiel, 1973.
- SCHMUTZER, C.: Vergleichende Untersuchungen der Selbstreinigung von Ostsee- und Süßwasser. Dipl.-Arb., Kiel, 1973.
- SCHOLZ, H.: Fluktuation der Bakterienmenge im Ostseewasser im Bereich eines Badestrandes. Dipl.-Arb., Kiel, 1973.
- SIMMAN, J.: Untersuchungen über die Einwanderung und Vermehrung von *Escherichia coli* in Schlicksedimente von Küstengewässern. Dipl.-Arb., Kiel, 1974.

- STEINMANN, J.: Ökologische Untersuchungen zum bakteriellen Abbau von Harnstoff und Harnsäure in Gewässern. Diss., Kiel, 1974.
- PALMGREN, U.: Studien zur Ausarbeitung eines Bakterientests und seine Anwendbarkeit auf vier cyclische Verbindungen. Dipl.-Arb., Kiel, 1975.
- RIEPER, M.: Investigations on the relationships between algal blooms and bacterial populations in the Schlei Fjord (Western Baltic Sea). Diss., Kiel, 1975.
- WEISE, W.: Fluoreszenz- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen über die Bakterienbesiedlung von marinen Sandsedimenten. Dipl.-Arb., Kiel, 1975.
- WOLTER, K.: Bakteriologische Untersuchungen an in der Brandungszone angereichertem Algenmaterial. Dipl.-Arb., Kiel, 1975.
- ZIMMERMANN, R.: Entwicklung und Anwendung von fluoreszenz- und rasterelektronenmikroskopischen Methoden zur Ermittlung der Bakterienmenge in Wasserproben. Diss., Kiel, 1975.
- BÖLTER, M.: Untersuchung zur Fluktuation der Bakterienpopulation in der Kieler Förde und der Kieler Bucht. Diss., Kiel, 1976.
- ITURRIAGA, R.: Mikrobielle Aktivität des Aufwuchses von Sinkstoffen in der Kieler Bucht. Diss., Kiel, 1977.
- SALTZMANN, H.-A.: Untersuchungen an Wasserproben aus der Elbe bei Schnakenbek zum Einfluß der Temperatur auf die Bakterienpopulation. Dipl.-Arb., Kiel, 1977.
- LOY, S.: Vergleichende Untersuchung der bakteriellen Aktivität in Fließgewässern. Dipl.-Arb., Kiel, 1978.
- SZWERINSKI, H.: Untersuchungen zur Nitrifikation im Wasser und Sediment der Kieler Bucht. Diss., Kiel, 1978.
- BECKER-BIRCK, J.: Bakterienzahl und bakterielle Aktivität in Gewässern unterschiedlicher Abwasserbelastung. Diss., Kiel, 1979.
- SCHRÖDER, B.: Verteilung und Charakterisierung fettspaltender Bakterien aus Gewässern. Dipl.-Arb., Kiel, 1979.
- GERHARDT, G.: Untersuchungen über die Bakterienverteilung in Ostseesedimenten aus dem Bereich der Abwassereinleitung der Stadt Kiel bei Bülk. Dipl.-Arb., Kiel, 1980.
- SALTZMANN, H.-A.: Untersuchungen über die Veränderung der Mikroflora beim Durchgang von Brackwasser durch die Kühlanlagen von Kraftwerken. Diss., Kiel, 1980.

- WILDE, V.: Untersuchungen über den Einfluß von Salzgehaltsänderungen auf die Aktivitäten der Mikroflora des Wassers. Dipl.-Arb., Kiel, 1980.
- WOLTER, K.: Untersuchungen zur Exsudation organischer Substanz und deren Aufnahme durch natürliche Bakterienpopulationen. Diss., Kiel, 1980.
- PALMGREN, U.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Bakterienpopulation von abiotischen und biotischen Parametern in einem Brackwassergebiet. Diss., Kiel, 1981.
- BAUERFEIND, S.: Versuche zum Abbau von Plankton- und Detritusmaterial durch natürliche Bakterienpopulationen der Schlei und der Ostsee. Diss., Kiel, 1982.
- GAST, V.: Untersuchungen über die Bedeutung der Bakterien als Nahrungsquelle für das Mikrozooplankton der Schlei und der Ostsee unter besonderer Berücksichtigung der Ciliaten. Diss., Kiel, 1983.
- HOPPE, H.-G.: Vergleichende Untersuchung über die bakterielle Aktivität und deren Ursachen im Brackwasser der Kieler Förde und in einem verunreinigten Fluß. Habil.-Arb., Kiel, 1983.
- KIM, S.-Jong: Vergleichende Untersuchung über die Bakterienpopulation des Neuston und des darunter liegenden Wassers in einem verunreinigten Meeresgebiet. Diss., Kiel, 1983.
- MOW-ROBINSON, J.-M.: Vergleichende Untersuchungen der Bakterienpopulation in der Kieler Förde bei Standorten mit und ohne Benthosvegetation. Dipl.-Arb., Kiel, 1983.
- SCHULZ, C.-J.: Die Bakterienpopulationen in den Zu- und Abflüssen eines Binnensees. Dipl.-Arb., Kiel, 1984.
- GERHARDT, G.: Vergleichende Untersuchungen ausgewählter bakteriologischer Parameter in zwei Klärwerken in Schleswig-Holstein. Diss., Kiel, 1985.
- KÄHLER, P.: Mikrobiologische Untersuchungen an Sedimentprofilen der Ostsee in der Kieler Bucht (bei Boknis Eck). Dipl.-Arb., Kiel, 1985.
- KIM, S.-Jin: Untersuchungen zur heterotrophen Stoffaufnahme und extrazellulären Enzymaktivität von freilebenden und angehefteten Bakterien in verschiedenen Gewässerbiotopen. Diss., Kiel, 1985.

- WESNIGK, J.: Abbau ausgewählter organischer Schmutzstoffe durch Mikroorganismen unter kontrollierten Bedingungen. Dipl.-Arb., Kiel, 1986.
- GERICKE, H.: Versuche zur Kultur von oligocarbohilien Bakterien aus dem Meer. Dipl.-Arb., Kiel, 1987.
- SCHULZ, C.J.: Die Verbreitung von Leuchtbakterien in Gewässern mit unterschiedlichen Salzgehalten und ihre Verwendungsmöglichkeit für Bakterien-Toxizitätstests. Diss., Kiel, 1987.
- MEYER-REIL, L.-A.: Bakterien in Sedimenten der Kieler Bucht: Zahl, Biomasse und Abbau von organischem Material. Habil.-Arb., Kiel, 1988.
- BRETTAR, I.: Denitrifikation und ihre regulierenden Faktoren in der Wassersäule der zentralen Ostsee. Diss., Kiel, 1989.
- KÄHLER, P.: Stickstoff-Freisetzung durch Denitrifikation in küstennahen marinen Sedimenten (Ostsee: Kieler Bucht). Diss., Kiel, 1989.
- KOSFELD, C.: Mikrobieller Abbau von Faeces der Miesmuschel (Mytilus edulis L.). Diss., Kiel, 1989.
- MEUTER, G.: Vergleichende Untersuchungen von Bakterienstämmen aus dem Elbe-Ästuar und der westlichen Ostsee, die aromatische Verbindungen abbauen. Dipl.-Arb., Kiel, 1989.
- SICH, H.: Die benthische Ciliatenfauna bei Gabelsflach (Kieler Bucht und deren Beeinflussung durch Bakterien. Diss., Kiel, 1989.

**Internationale Projekte der Abteilung Marine Mikrobiologie des
Instituts für Meereskunde**

- 1) Nationalinstitut für Meeresbiologie (INVEMAR)
Santa Marta, Kolumbien
Mikrobiologische Untersuchungen in der Ciénaga Grande
K. Gocke, H.-G. Hoppe, R. Jeske, R. Zimmermann
seit 1978

- 2) Universität von Costa Rica
San José, Costa Rica
Meeresbiologische Untersuchungen in der Bucht von Nicoya
K. Gocke, G. Rojas, M. Murillo
seit 1980

- 3) Universität Faro, Portugal
Mikrobiologische Untersuchungen in der Ria Formosa
G. Rheinheimer, K. Gocke, Sadat Muzavor, A. Barbosa
seit 1983

- 4) Universität Aveiro, Portugal
Mikrobiologische Untersuchungen in Küstengewässern
G. Rheinheimer, K. Gocke, F. Alcántara
seit 1987

- 5) Deutsch-Finnische Zusammenarbeit
Institut für Meereskunde - Helsinki, Finnland
Untersuchungen zur Denitrifikation in der zentralen Ostsee
G. Rheinheimer, I. Brettar, A. Voipio
1985 - 1987

- 6) Universität Helsinki, Finnland
Messung der bakteriellen Aktivität im küstennahen Brackwasser
H.-G. Hoppe, K. Gocke, J. Kuparinen
seit 1987

- 7) Universität der Provence (CEC)
Marseille, Frankreich
Mikrobiologische Aktivitätsmessungen in marinen Sedimenten
L.-A. Meyer-Reil, R. Daumas, M.-N. Hermin
seit 1986

- 8) Mikrobiologisches Monitoring der Ostsee
Interkalibrierung von Methoden und gemeinsame Forschungsfahrten
mit Wissenschaftlern aus Dänemark, DDR, Finnland, Polen,
Schweden und der Sowjetunion
K. Gocke, K.O. Kirstein, G. Rheinheimer, G. Jost, B. Kruse,
G. Panov, A. Tsiban, M. Maciejowska, A. Hagström, A. Heinanen
seit 1985

- 9) San Carlos Universität
Cebu, Philippinen
Mikrobiologische Untersuchungen an Korallenriffen
H.-G. Hoppe, W. Schramm, P. Bacolod, Murnane
1986 - 1988

- 10) Deutsch-Brasilianische Zusammenarbeit
Meeresbiologische Untersuchungen in brasilianischen Küsten-
gewässern
K.O. Kirstein, H. Mesquita, B. Knoppers

- 11) Deutsch-Israelische Zusammenarbeit, Teilprojekt A 7
Mikrobiologische Prozesse in halbgeschlossenen Intensivkultur-
einheiten von Fisch
G. Rheinheimer, M. Shilo, J. Van Rijn
seit 1988

- 12) Plymouth Marine Laboratories, Großbritannien
Abbau von Detritus durch Tiefseebakterien
K. Lochte, C.M. Turley
seit 1986

BERICHTE AUS DEM INSTITUT FÜR MEERESKUNDE

Verzeichnis der veröffentlichten Arbeiten

-
- | | | |
|-----|--|---|
| 1 | (1973) FECHNER, H. | Orthogonale Vektorfunktionen zur stetigen Darstellung von meteorologischen Feldern auf der Kugeloberfläche |
| 2 | (1974) SPETH, P. | Mittlere Meridionalschnitte der verfügbaren potentiellen Energie für jeden Januar und Juli aus dem Zeitraum 1967 bis 1972 |
| 3 | (1974) SPETH, P. | Mittlere Horizontalverteilungen der Temperatur und der verfügbaren potentiellen Energie und mittlere Meridionalschnitte der Temperatur für jeden Januar und Juli aus dem Zeitraum 1967 bis 1972 |
| 4 | (1974) DEFANT, Fr. | Das Anfangstadium der Entwicklung einer baroklinen Wellenstörung in einem baroklinen Grundstrom |
| 5 | (1974) FECHNER, H. | Darstellung des Geopotentials der 500 mb-Fläche der winterlichen Nordhalbkugel durch natürliche Orthogonalfunktionen |
| 7 | (1974) SPETH, P. | Die Veränderlichkeit der atmosphärischen Zirkulation, dargestellt mit Hilfe energetischer Größen |
| 8 | (1975) SKADE, H. | Eine aerologische Klimatologie der Ostsee. Teil I - Textband |
| 9 | (1975) SKADE, H. | Eine aerologische Klimatologie der Ostsee. Teil II - Abbildungsband |
| 10 | (1975) MÖLLER, H. | Bestimmungstabellen für die Fischparasiten der Kieler Bucht |
| 11 | (1975) KEUNECKE, K.H.,
KOHN, H.,
KRAUSS, W.,
MIOSSGA, G.,
SCHOTT, F.,
SPETH, P.,
WILLEBRAND, J.,
ZENK, W. | Baltic 75 - Physikalischer Teil
Messungen des IfM, der FWG und der DFVLR |
| 13 | (1975) RUMOHR, H. | Der Einfluß von Temperatur und Salinität auf das Wachstum und die Geschlechtsreife von nutzbaren Knochenfischen (Eine Literaturstudie) |
| 14 | (1975) PULS, K.E.,
MEINCKE, J. | General Atmospheric Circulation and Weather Conditions in the Greenland-Scotland Area for August and September 1973 |
| 15 | (1975) MÖLLER, H. | Bibliography on parasites and diseases of marine fishes from North Sea and Baltic Sea |
| 16 | (1975) LÜBE, D. | Schwermetall-Kontamination von Phytoplankton unter natürlichen Verhältnissen und in Laborkulturen |
| 17 | (1976) BEHR, H.D. | Untersuchungen zum Jahresgang des atmosphärischen Wärmehaushalts für das Gebiet der Ostsee. Teil I - Textband |
| 18 | (1976) BEHR, H.D. | Untersuchungen zum Jahresgang des atmosphärischen Wärmehaushalts für das Gebiet der Ostsee. Teil II - Abbildungsband |
| 19 | (1976) BROCKMANN, Ch.,
MEINCKE, J.,
PETERS, H.,
SIEDLER, G.,
ZENK, W. | GATE - Oceanographic Activities on FRG-Research Vessels |
| 20a | (1977) WILLEBRAND, J.,
MÖLLER, P.,
OLBERS, D.J. | Inverse Analysis of the Trimoored Internal Wave Experiment (IWEX)
Part 1 |
| 20b | | Part 2 |
| 21 | (1976) MÖLLER, H. | Die Biologie des Flachwassers vor der westdeutschen Ostseeküste und ihre Beeinflussung durch die Temperatur - eine Literaturstudie |
| 22 | (1976) PETERS, H. | GATE - CTD Data measured on the F.R.G. Ships Shipboard Operations-Calibration-Editing |
| 23 | (1976) KOLTERMANN, K.P.,
MEINCKE, J.,
MÖLLER, T. | Overflow '73 - Data Report 'Meteor' and 'Meerkatze 2' |
| 24 | (1976) LIEBING, H. | Grundlagen zur objektiven Ermittlung eines Bodenluftdruckfeldes für ein begrenztes Gebiet (Ostsee) |
| 25 | (1976) SIMONS, T.J. | Topographic and Baroclinic Circulations in the Southwest Baltic |
| 26 | (1976) KIELMANN, J.,
HOLTORFF, J.,
REIMER, U. | Data Report Baltic '75 |
| 27 | (1976) BEHRENDT, J. | Der Zusammenhang zwischen wahren und geostrophischem Wind über der Ostsee während "Baltic '75" |

- 28 (1977) DEFANT, Fr.,
SPETH, P. Zwischenbericht der Arbeitsgruppe "Diagnose Empirischer Felder der Allgemeinen Atmosphärischen Zirkulation" im Schwerpunkt "Energiehaushalt und Zirkulation der Atmosphäre" der Deutschen Forschungsgemeinschaft
- 29 (1977) WEINCKE, J. Measurements of Currents and Stratification by FRV "Anton Dohrn" during the GATE Equatorial Experiment
- 30 (1977) SANFORD, Th. Design Concepts for a Shallow Water Velocity Profiler and a Discussion of a Profiler Based on the Principles of Geomagnetic Induction
- 31 (1977) MÜLLER, H. Indexed bibliography on parasites and diseases of marine fish from North Sea and Baltic Sea (2nd edition)
- 32 (1977) BROCKMANN, Ch.,
HUGHES, P.,
TOMCZAK, H. Data Report on Currents, Winds and Stratification in the NW African Upwelling Region during early 1975
- 33 (1977) SIERTS, H.W. Meteorologische Einflüsse auf das Auftriebsgebiet vor Nordwest-Afrika
- 34 (1977) CUBASCH, U. Spektren des Windes über Land und über Meer im Periodenbereich von 1 Minute bis 1 Tag
- 35 (1977) KAMINSKI, U. Klassifikation der Wetterlagen über dem Wetterschiff - C - durch vertikale natürliche Orthogonalfunktionen
- 36 (1977) JECKSTROM, W. Eine Entwicklung des Geopotentialfeldes der 500 mb-Fläche im Winter der Nordhalbkugel in natürliche Orthogonalfunktionen und eine Interpretation der Ergebnisse im Zusammenhang mit tatsächlichen synoptischen groß-skaligen Wetterlagen
- 37 (1977) CLAUSS, E.,
HESSLER, G.,
SPETH, P.,
UHLIG, K. Datendokumentation zum meteorologischen Meßprojekt 1976
- 38 (1977) KIRK, E. Objektive Analysen meteorologischer Parameter über der Kieler Bucht
- 40 (1978) OSTHAUS, A.,
SPETH, P. Large-scale horizontal fluxes of sensible energy and of momentum caused by mean standing eddies for each January and July of the period 1967 until 1976
- 41 (1978) SPETH, P. Mean meridional cross-sections of the available potential energy for each January and July of the period 1973 until 1976
- 42 (1978) SPETH, P. Mean meridional cross-sections of the available potential energy for each April and October of the period 1967 until 1976
- 43 (1978) SPETH, P. Mean horizontal fields of temperature available potential energy and mean meridional cross-sections of temperature for each January and July of the period 1967 until 1976
- 44 (1978) FECHNER, H. Darstellung meteorologischer Felder mit endlichem Definitionsgebiet durch Reihen orthogonaler Funktionen
- 45 (1978) RIECKE, W. In der Meteorologie benutzte objektive horizontale Analysenverfahren im Hinblick auf die Anwendung bei wissenschaftlichen Untersuchungen
- 46 (1978) OSTHAUS, A. Die Struktur der stehenden Temperatur- und Geopotentialwellen im Januar und Juli und die durch sie hervorgerufenen Transporte von sensibler Energie und Drehimpuls
- 47 (1978) CORNUS, H.-P. Untersuchungen zu Deckschichtänderungen und zur Anwendbarkeit eindimensionaler Deckschichtmodelle im äquatorialen Atlantik während GATE 1974
- 48 (1978) WÖRNER, F.G.,
KOHM, A. Liste der Mikronekton- und Zooplanktonfänge der Deutschen Antarktis-Expedition 1975/76
- 49 (1978) DETLEFSEN, H. Wasseroberflächentemperaturen und Luftdruckdifferenzen im Auftriebsgebiet vor Nordwest-Afrika von 1969-1976
- 50 (1978) MENGELKAMP, H.-T. Wind-, Temperatur- und Feuchteprofile über der Ostsee während des Meßprojektes "Kieler Bucht" 1976
- 51 (1978) BROCKMANN, C.,
FAHRBACH, E.,
URQUIZO, W. ESACAN - Data report
- 52 (1978) STROFING, R. Die Struktur der atmosphärischen Temperatur- und Geopotentialwellen und die durch sie hervorgerufenen Transporte von sensibler Energie und Drehimpuls während eines viertel-jährigen Winterzeitraums November 1967 - Januar 1968
- 53 (1978) SPETH, P. Mean horizontal fields of temperature and geopotential height for each January, April, July and October for the period 1967 - 1976
- 54 (1978) KREY, J.(+),
BABENERD, B.,
LENZ, J. Beobachtungen zur Produktionsbiologie des Planktons in der Kieler Bucht: 1957-1975 - 1. Datenband
- 55 (1978) PAULY, D. A preliminary compilation of fish length growth parameters
- 56 (1978) WITTSTOCK, R.-R. Vergleich der aus Temperatur- und Dichtefluktuationen berechneten Vertikalgeschwindigkeit im GATE-Gebiet

- 57 (1978) STRUVE, S. Transport und Vermischung einer passiven Beimengung in einem Medium mit einem vorgegebenen Geschwindigkeitsfeld
- 58 (1978) MÜLLER, H. Effects of Power Plant Cooling on Aquatic Biota - An Indexed Bibliography -
- 59 (1978) JAMES, R.,
WÜRNER, F.G. Results of the Sorting of the Mikronekton and Zooplankton Material sampled by the German Antarctic Expedition 1975/76
- 60 (1978) WÜRNER, F.G. Liste der Mikronekton- und Zooplanktonfänge der 2. Deutschen Antarktis-Expedition 1977/78
- 61 (1978) SCHWEIMER, M. Physikalisch-ozeanographische Parameter in der westlichen Ostsee - Eine Literaturstudie -
- 62 (1979) MÜLLER, T.J.,
MEINCKE, J.,
BECKER, G.A. Overflow '73: The Distribution of Water Masses on the Greenland-Scotland Ridge in August/September 1973 - A Data Report -
- 63 (1979) PAULY, D. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula
- 64 (1979) WÜBBER, C. Die zweidimensionalen Seiches der Ostsee
- 65 (1979) KILS, U. Schwimmverhalten, Schwimmleistung und Energiebilanz des antarktischen Krills, *Euphausia superba* - Ergebnisse der zweiten deutschen Antarktis-Expedition des "FFS Walther Herwig" im Südsommer 1977/78
- 66 (1979) KREMLING, K.,
OTTO, C.,
PETERSEN, H. Spurenmetall-Untersuchungen in den Förden der Kieler Bucht - Datenbericht von 1977/78
- 67 (1979) RHEINHEIMER, G. Mikrobiologisch-ökologische Untersuchungen in verschiedenen Flüssen Schleswig-Holsteins - Daten -
- 68 (1979) KNOLL, M. Zur Wärmebilanz der ozeanischen Deckschicht im GATE-Gebiet
- 69 (1979) ZENK, W.,
SCHAUER, U.,
PETERSOHN, U.,
MITTELSTAEDT, R.U. Bodenströmungen und Schichtungsverhältnisse in der nördlichen Kieler Bucht im März 1978
- 70 (1979) REDELL, R.-D. Winderzeugte Trägheitsbewegungen und Energiekorrelationen interner Wellen im tropischen Atlantik
- 72 (1979) HERRMANNSEN, U. Energiespektren von Temperatur, Geopotential und Wind an ausgewählten Gitterpunkten des DWD-Gitternetzes der Nordhalbkugel
- 73 (1979) PERKUHN, J. Spektrale Betrachtung der großskaligen Transporte von sensibler Energie und Drehimpuls an ausgewählten Gitterpunkten des DWD-Gitternetzes der Nordhemisphäre
- 74 (1979) VOGL, Ch. Die Struktur der stehenden Temperatur- und Geopotentialwellen im April und Oktober und die durch sie hervorgerufenen Transporte von sensibler Energie und Drehimpulse
- 75 (1980) NIELAND, H. Die Nahrung von Sardinen, Sardinellen und Maifischen vor der Westküste Afrikas
- 76 (1980) DAMM, U. Langfristige Veränderungen in der Verbreitung von Nordseefischen, untersucht durch Korrelations- und Varianzanalyse
- 77 (1980) DAUB, P. Wind-, Temperatur- und Feuchteprofile über der Kieler Bucht im Zeitraum April bis Oktober 1977
- 78 (1980) EBBRECHT, H.-G. Die verfügbare potentielle Energie des Planetarischen Wirbels und ihre jährliche Variation
- 79 (1980) WOSNITZA-MENDO, C. Zur Populationsdynamik und Ökologie von *Tilapia rendalli* (Bigr.) im Lago Sauce (Peru)
- 80 (1981) ZEITZSCHEL, B.,
ZENK, W. ANTARKTIS 80/81, Beobachtungen und erste Ergebnisse der "Meteor"-Reise 56 aus der Scotia-See und der Bransfield-Straße im November/Dezember 1980 (ANT I): ein nautischer und wissenschaftlicher Bericht
- 81 (1981) STRUNK, H.A. Die kinetische Energie des planetarischen Wirbels und ihre jährliche Variation
- 82 (1981) PETERS, H. Zur Kinematik eines stochastischen Feldes interner Wellen in einer Scherströmung
- 83 (1981) WILLEBRAND, J. Zur Erzeugung großräumiger Ozeanischer Strömungsschwankungen in mittleren Breiten durch veränderliche Windfelder
- 84 (1981) STRAMMA, L. Die Bestimmung der Dynamischen Topographie aus Temperaturdaten aus dem Nordostatlantik
- 85 (1981) BAUERLE, E. Die Eigenschwingungen abgeschlossener, zweigeschichteter Wasserbecken bei variabler Bodentopographie
- 86 (1981) MÜLLER, H. Feldführer zur Diagnose der Fischkrankheiten und wichtigsten Fischparasiten in Nord- und Ostsee
- 87a (1981) KIELMANN, J. Grundlagen und Anwendung eines numerischen Modells der geschichteten Ostsee - Teil 1 -
- 87b (1981) KIELMANN, J. - Teil 2 - (Anhang, Literatur, Abbildungen)

- 88 (1981) WOODS, J.D. The GATE Lagrangian Batfish Experiment - Summary Report -
89 (1981) LEACH, H., MINNETT, P.J. The GATE Lagrangian Batfish Experiment - Data Report -
- 90 (1981) MÖLLER, T.J. Current and temperature measurements in the North-East Atlantic during NEADS - a data report
- 91 (1981) LUPATSCH, J., NELLEN, W. Der Zustand der Fischbestände in der Schlei und die Entwicklung der Fischerei im Zeitraum 1962 - 1981
- 92 (1981) HESSLER, G. Untersuchung bodennaher Temperatur- und Windfelder im Übergangsbereich Land-See am Beispiel der Kieler Bucht
- 93 (1981) STEINHAGEN-SCHNEIDER, G. Fucus vesiculosus als Schwermetall-Bioakkumulator - Der Einfluß von Temperatur, Salzgehalt und Metallkombination auf die Inkorporationsleistung
- 94 (1982) RIEGER, K.-W. Die räumliche und zeitliche Veränderlichkeit des meridionalen Transportes sensibler Energie im 850 und 200 mb-Niveau während eines Jahre (1975)
- Teil 1 - Textband
- Teil 2 - Abbildungsband
- 95 (1982) MYDLA, B. Longitudinale und zeitliche Veränderlichkeit des durch stehende und wandernde Wellen getätigten meridionalen Transportes von relativem Drehimpuls im 200 und 500 mb-Niveau in der Breitenzone von 20° bis 60°N während des Jahres 1975
- Teil 1 - Textband
- Teil 2 - Abbildungsband
- 96 (1982) WILLENBRINK, E. Wassermassenanalyse im tropischen und subtropischen Nordostatlantik
- 97 (1982) HORCH, A., MINNETT, P., WOODS, J.D. CTD Measurements Made From F.S. POSEIDON During JASIN 1978
- A Data Report -
- 98 (1982) ASTHEIMER, H. Die Variabilität der Phytoplanktonschichtung in driftenden Wasserkörpern. Untersuchungen aus dem Skagerrak, Kattegat und Bornholm-Becken im März 1979
- 99 (1982) QUADFASEL, D. Über den Monsunresponse der Zirkulation im westlichen äquatorialen Indischen Ozean
- 100 (1982) LEACH, A. Spektrale Untersuchungen des Geopotentials und des Geostrophischen Windes im 200 mb-Niveau und Parametrisierung von großturbulentem meridionalen Drehimpulstransport
- 101 (1982) SIEDLER, G. SI-Einheiten in der Ozeanographie
- 102 (1982) STRUVE-BLANCK, S. Die Strömungen in der Kieler Bucht
- 103 (1982) KASE, R., RATHLEY, J. CTD-Data from the North Canary Basin - "Poseidon" Cruise 86/2 - 26 March - 13 April, 1982
- 104 (1982) KRAUSS, W., WÖBBER, Ch. A detailed description of a semispectral model on the β -plane
- 105 (1982) SCHAUER, U. Zur Bestimmung der Schubspannung am Meeresboden aus der mittleren Strömung
- 106 (1983) HORSTMANN, U. Distribution patterns of temperature and watercolour in the Baltic Sea as recorded in satellite images: Indicators for phytoplankton growth
- 107 (1982) WITTSTOCK, R.-R. Zu den Ursachen bodennaher Strömungsschwankungen in der nordöstlichen Kieler Bucht
- 108 (1982) SCHRODER, M. Das statische Verhalten von Einpunktverankerungen bei Anströmung
- 109 (1982) BREITENBACH, J., SCHRODER, M. Anleitung für Benutzer des Rechenprogramms STASIP (statics of single-point moorings)
- 110 (1983) BAUERFEIND, E., BOJE, R., FAHRBACH, E., LENZ, J., MEYERHOFER, M., ROLKE, M. Planctological and chemical data from the Atlantic at 22°W obtained in February to June 1979 ("FGGE-Equator '79")
- 111 (1983) SY, A. Warmwassersphäre - Handling and Processing of Hydrographic Data -
- Technical Report -
- 112 (1983) KETZLER, C. Zur Kinematik der Gezeiten im Rockall-Gebiet
- 113 (1983) FAHRBACH, E. Transportprozesse im zentralen äquatorialen Atlantik und ihr Einfluß auf den Wärmeinhalt
- 114 (1983) MÖLLER, T.J., ZENK, W. Some Eulerian current measurements and XBT-sections from the North East Atlantic - October 1980 - March 1982 - A Data Report -
- 115 (1983) VIEHOFF, Th. Bestimmung der Meeresoberflächentemperatur mittels hochauflösender Infrarot-Satellitenmessungen
- 116 (1983) HILLER, W., KASE, R.H. Objective analysis of hydrographic data sets from mesoscale surveys

- 117 (1983) PRICE, J.M. Historic hydrographic and meteorological data from the North Atlantic and some derived quantities
- 118 (1983) FAHRBACH, E.,
KRAUSS, W.,
119 (1983) MEINCKE, J.,
SY, A. Nordostatlantik '81 - Data Report -
Nordostatlantik '82 - Data Report -
- 120 (1983) HORCH, A.,
BARKMANN, W.,
WOODS, J.D. Die Erwärmung des Ozeans hervorgerufen durch solare Strahlungsenergie
- 121 (1983) SINN, M. Berechnung der solaren Bestrahlung einer Kugel sowie des menschlichen Körpers aus Werten der Global- und Himmelsstrahlung
- 122 (1984) ASMUS, H. Freilanduntersuchungen zur Sekundärproduktion und Respiration benthischer Gemeinschaften im Wattenmeer der Nordsee
- 123 (1984) BREY, Th. Gemeinschaftsstrukturen, Abundanz, Biomasse und Produktion des Makrozoobenthos sandiger Böden der Kieler Bucht in 5 - 10 m Wassertiefe
- 124 (1984) KREMLING, K.,
WENCK, A. Chemical Data from the NW African Upwelling Region ("Auftrieb '75" and "Ostatlantik-Biozirkel 1983")
- 125 (1984) STRAMMA, L. Wassermassenausbreitung in der Warmwassersphäre des subtropischen Nordostatlantiks
- 126 (1984) JÄGER, T.,
NELLEN, W.,
SELL, H. Beleuchtete Netzgehegeanlagen zur Aufzucht von Fischbrut bis zur Setzlingsgröße - Eine Bauanleitung und Aufzuchtbeschreibung -
- 127 (1984) MÖLLER, T.J. Eulerian Current Measurements from the North East Atlantic - March 1982 - October 1983 - A Data Report -
- 128 (1984) WOODS, J.D. The Warmwatersphere of the Northeast Atlantic - A Miscellany -
- 128 (1987) WOODS, J.D. The Warmwatersphere of the Northeast Atlantic - A Miscellany - (second, expanded edition)
- 129 (1984) FINKE, M. Messungen zum Widerstandsbeiwert von Verankerungskomponenten
- 130 (1984) GERLACH, S.A. Oxygen Depletion 1980 - 1983 in Coastal Waters of the Federal Republic of Germany. First Report of the Working Group "Eutrophication of the North Sea and the Baltic"
- 131 (1984) ASMUS, R. Benthische und pelagische Primärproduktion und Nährsalzbilanz
Eine Freilanduntersuchung im Watt der Nordsee
- 132 (1984) BAUER, J.,
WOODS, J.D. Isopycnic Atlas of the North Atlantic Ocean - monthly mean maps and sections -
- 133 (1984) KNOLL, M. Feinstrukturen in der jahreszeitlichen Sprungschicht im JASIN-Gebiet
- 134 (1984) FAHRBACH, E.,
KRAUSS, W.,
MEINCKE, J.,
SY, A. Nordostatlantik '83 - Data Report -
- 135 (1984) SAURE, G. Verhalten der Freifallprofilsonde FPS
- 136 (1984) FIEDLER, M.,
TEMMING, A.,
WEIGELT, M. Eine Analyse der fischereibiologischen und fischereilichen Verhältnisse in einem für die Ölförderung genutzten Offshore-Bereich des deutschen Ostseegebietes
- 137 (1985) BÖNING, C. Eine Untersuchung der Dynamik der windgetriebenen ozeanischen Zirkulation mit einem wirbelauflösenden barotropen Modell
- 138 (1985) WEIGELT, M. Auswirkungen des Sauerstoffmangels 1981 auf Makrozoobenthos und Bodenfische in der Kieler Bucht
- 139 (1985) BREITENBACH, J.,
ZENK, W.,
DASCH, W.,
WITTSTOCK, R.-R.,
SCHLOSSER, P. A compilation of hydrographic data from the Canary Basin, October to November 1983
- 140 (1985) LENZ, J.,
SCHNEIDER, G.,
ELBRÄCHTER, M.,
FRITSCHKE, P.,
JOHANNSEN, H.,
WEISSE, T. Hydrographic, chemical, and planktological data from the North-West-African upwelling area, obtained from february to april 1983 (OSTATLANTIC-BIOZIRKEL)
- 141 (1985) ÖSTERROHT, C.,
WENCK, A.,
KREMLING, K.,
GÖCKE, K. Chemical planktological and microbiological investigations at an anchor station in Kiel Bight during 1981/82

- 142 (1985) ENNENGA, U. Objektive Analyse aktueller Wind- und Druckfelder über dem Nordatlantik
- 143 (1985) BAUER, J.,
FISCHER, J.,
LEACH, H.,
WOODS, J.D. SEA ROVER Data Report I - North Atlantic Summer 1981 - NOA '81 -
- 144 (1985) WEISSE, Th. Die Biomasse und Stoffwechselaktivität des Mikro- und Mesozooplanktons in der Ostsee
- 145 (1985) NIESSLBECK, P.,
VOIGT, M.,
KIM, S.J.,
BOLMS, G.,
HOPPE, H.-G. Auswirkungen von Salzgehalts- und Temperaturänderungen auf die Extrazelluläre Enzymaktivität marin-pelagischer Mikroorganismen
- 146 (1985) FAHRBACH, E.,
KRAUSS, W.,
MEINCKE, J.,
SY, A. Nordatlantik '84 - Data Report -
- 147 (1985) PAULY, D. Zur Fischereibiologie tropischer Nutztiere - Eine Bestandsaufnahme von Konzepten und Methoden -
- 148 (1985) BABENERD, B.,
ZEITZSCHEL, B. Trends für eintragsrelevante Faktoren und für die Nährsalzkonzentrationen im Wasser der Kieler Bucht
- Ein Beitrag zur Erforschung der Eutrophierung der Nord- und Ostsee -
- 149 (1986) BREY, T.,
PAULY, D. Electronic Length Frequency Analysis - A User's Guide to ELEFAN 0, 1 AND 2 (Revised and Expanded Version)
- 150 (1985) LIPPERT, A. Erzeugung niederfrequenter ozeanischer Variabilität durch fluktuierende Windfelder
- 151 (1986) ZARKESCHWARI, M. Fische als Fischräuber, dargestellt an der Nahrung demersaler Fische der Nordsee
- 152 (1986) STIENEN, Ch. Die Phytoplanktonentwicklung in Abhängigkeit von der Nährsalzkonzentration
Ein Vergleich zwischen Kieler Förde und Kieler Bucht
- 153 (1986) BAUER, E. Isopyknische und diapyknische Ausbreitungsvorgänge im tropischen und subtropischen Nordatlantik
- 154 (1986) AMBAR, I. et al. TOPOGULF - A joint programme initiated by IFREMER, Brest (France) - IFM, Kiel (W.Germany)
- Data Report -
- 155 (1986) DICKE, M. Vertikale Austauschoeffizienten und Porenwasserfluß an der Sediment/Wasser-Grenzfläche
- 156 (1986) ONKEN, R. Numerische Simulation der Erzeugung und Instabilität mesoskaliger Fronten
Numerical Simulation of the Generation and Instability of Mesoscale Fronts
- 157 (1986) WENZEL, M.K.CH. Die mittlere Zirkulation des Nordatlantik auf der Grundlage klimatologischer hydrographischer Daten
- 158 (1986) BARTHEL, K.-G. Die Stellung dominanter Copepoden-Arten im Nahrungsgefüge typischer Wasserkörper der Grönland-See
- 159 (1986) WÖBBER, Ch. Ein numerisches Modell zur Untersuchung barokliner Rossby-Wellen im Nordatlantik
- 160 (1987) ISEMER, H.-J. Optimierte Parametrisierungen der klimatologischen Energie- und Impulsflüsse an der Oberfläche des Nordatlantik
- 160a (1987) ISEMER, H.-J. The Bunker Climate Atlas of the North Atlantic Ocean - a technical description of the data tape -
- 161 (1987) SCHLOSSEL, P. Infrarotfernerkundung von Oberflächentemperaturen sowie atmosphärischen Temperatur- und Wasserdampfstrukturen
- 162 (1987) VIEHOFF, Th. Bestimmung mesoskaliger Variabilitäten der Oberflächentemperatur und der Attenuation im Nordatlantik aus Satellitenmessungen
- 163 (1986) KILS, U. Verhaltensphysiologische Untersuchungen an pelagischen Schwärmen
Schwarmbildung als Strategie zur Orientierung in Umwelt-Gradienten
Bedeutung der Schwarmbildung in der Aquakultur
- 164 (1987) FISCHER, J. Struktur und Dynamik einer mesoskaligen Front im Wirbelfeld des Nordatlantischen Stromes
- 165 (1987) STAMMER, D.
WOODS, J.D. Isopycnic Potential Vorticity Atlas of the North Atlantic Ocean
- monthly mean maps -
- 166 (1987) MÖLLER, T.J.,
FINKE, M.,
DASCH, M.,
WITTSTOCK, R.-R. Hydrographic and current measurements in the North-East Atlantic Ocean
Data Report F.S. Meteor Cruises 69/5 and 69/6 October to November 1984
- 167 (1987) BECKMANN, A. Die Modellierung mesoskaliger quasigeostrophischer Instabilität
- 168 (1987) ROLKE, M. Ein Verfahren zur Auswertung von Zooplanktonfeldproben mittels der quantitativen automatischen Bildanalyse am Beispiel von Material der "Meteor-Aquatorexpedition 1979"

- 169 (1987) STEGMANN, P.M. Untersuchungen zur Variabilität der sonnenlichtangeregten Fluoreszenz von Phytoplankton in der Ostsee im Hinblick auf Fernerkundung
- 170 (1987) MÖLLER, T.J. Analyse niederfrequenter Strömungsschwankungen im Nordostatlantik
- 171 (1987) BARKMANN, W. Der Einfluß der Wärmebilanz auf die Struktur der saisonalen Grenzschicht
- 172 (1988) FINKE, M. Zirkulation und Rossbywellen im Kanarenbecken
- 173 (1987) SIEDLER, G.
SCHMICKLER, H.
MÖLLER, T.J.
SCHENKE, H.W.
ZENK, W. Forschungsschiff METEOR, Reise Nr. 4
Kapverden-Expedition, Oktober - Dezember 1986
- 174 (1987) SCHNEIDER, G.
LENZ, J. Die Bedeutung der Größenstruktur und des Stoffumsatzes des Zooplanktons für den Energie-transfer im pelagischen Ökosystem der Auftriebsregion vor NW-Afrika
- 175 (1987) LEACH, H.
DIDDEN, N.
FIEKAS, V.
FISCHER, F.
HORCH, A.
WOODS, J. SEA ROVER Data Report II - North Atlantic Summer 1983 - NOA '83 -
- 176 (1987) WEIGELT, M. Auswirkungen von Sauerstoffmangel auf die Bodenfauna der Kieler Bucht
- 177 (1988) BREY, TH.
SORIANO, M.
PAULY, D. Electronic length frequency analysis. A revised and expanded user's guide to elefan 0, 1 and 2 (2nd Edition)
- 178 (1988) HALBEISEN, H.-W.† Bestimmungsschlüssel für Fischlarven der Nordsee und angrenzender Gebiete
In der Oberarbeitung von
SCHÖFER, W.
- 179 (1988) GERDES, R. Die Rolle der Dichtediffusion in numerischen Modellen der nordatlantischen Zirkulation
- 180 (1988) LENZ, J.
SCHNEIDER, G.
EL HAG, A.G.D.
GRADINGER, R.
FRITSCHÉ, P.
MOIGIS, A.
PILLEN, T.
ROLKE, M.
WEISSE, T. Planktological data from the central Red Sea and the Gulf of Aden
(R.V. "Meteor", cruise No. 5/2, January - March 1987)
- 181 (1988) SIEDLER, G.
BLÖBAUM, H.
KOY, U.
MEYER, P.
ZENK, W.
ZWIERZ, M. Schwankungen des Wärmehalts der Warmwassersphäre im Nordatlantik, Meßprogramm 1984 - 1986
- 182 (1988) HOTTEL, M. Zur Bedeutung der Macrofauna für die Nährsalzprofile im Wattsediment
- 183 (1988) ABELE, D. Carotinoide als biogene Marker für benthische Makroalgen im Sediment der Kieler Bucht
- 184 (1988) MÖLLER, T.J.
SIEDLER, G.
ZENK, W. Forschungsschiff METEOR Reise Nr. 6. ATLANTIK 87/88, Fahrtabschnitte Nr. 1 - 3,
Oktober - Dezember 1987
- 185 (1988) BUCHHOLZ, F. Zur Lebensweise des antarktischen und des nordischen Krills, Euphausia superba und Meganyctiphanes norvegica.
- 186 (1988) BREY, TH. Der Einfluß physikalischer und biologischer Faktoren auf Struktur und Dynamik der Sublitoralen Macoma-Gemeinschaft der Kieler Bucht.
- 187 (1989) STRASS, V. Physikalisch kontrollierte saisonale und horizontale Variabilität von Chlorophyllprofilen.
- Ergebnisse hydrographisch-optischer Schnitte zwischen den Azoren und Grönland.
- 188 (1989) ABTEILUNG
MARINE
MIKROBIOLOGIE
INSTITUT FÜR
MEERESKUNDE
Forschungen der Abteilung Marine Mikrobiologie des Instituts für Meereskunde an der
Universität Kiel 1964 - 1989