

Die Rolle der heterotrophen Mikroorganismen im marinen Ökosystem

Gerhard Rheinheimer

The role of the heterotrophic microorganisms in the marine ecosystem is explained by the results of an investigation on the microbial ecology of the Kiel Bight (western Baltic Sea). The main function of bacteria and fungi is the remineralisation of organic material produced by phytoplankton and animals.

The data were used to give a model of the flux of energy and material in the ecosystem. Bacteria and fungi are important links of the food chain. There are many parasites of marine organisms especially among the lower fungi. However, only little knowledge is available on the role of parasitism in the marine ecosystem.

Den heterotrophen Mikroorganismen, also den Bakterien und Pilzen, kommt im marinen Ökosystem eine sehr große Bedeutung zu. Diese liegt vor allem in ihrer Funktion als Mineralisierer. Sie sind in der Lage, nahezu alle auf natürliche Weise entstehenden organischen Verbindungen abzubauen, und führen die als Nährstoffe für die grünen Pflanzen lebensnotwendigen anorganischen Stickstoff- und Phosphorverbindungen immer wieder in den Kreislauf der Stoffe zurück. Weiter spielen sie eine wichtige Rolle als Nahrung von Zooplankton und Zoobenthos und als Parasiten. Trotz dieser vielfältigen Funktionen fanden die Mikroorganismen in der Ökosystemforschung nur selten die erforderliche Beachtung. Das gilt für die Bakterien und - in noch stärkerem Maße - für die Pilze. Daher wurden von der Abteilung Marine Mikrobiologie des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel in den letzten Jahren umfangreiche mikrobiologisch-ökologische Untersuchungen in der westlichen Ostsee mit Schwerpunkt in der Kieler Bucht durchgeführt, um die noch unzureichenden Kenntnisse über die Entwicklung der Mikroflora in Abhängigkeit von den wichtigsten Faktoren und ihre Beziehungen zu den übrigen Gliedern des Ökosystems zu erweitern (vgl. RHEINHEIMER 1977).

Zunächst erfolgten Studien über die regionale und saisonale Verteilung der heterotrophen Mikroorganismen sowie des Aufwuchses von Detritus und Plankton. Dabei galt es, zwischen der Gesamtzahl, der Anzahl aller aktiven und der Zahl der kultivierbaren Formen zu unterscheiden (Abb. 1). Unter den letzteren reagieren die auf relativ hochkonzentrierten Nährböden wie dem Hefeextrakt-Pepton-Medium nach ZOBELL zur Entwicklung

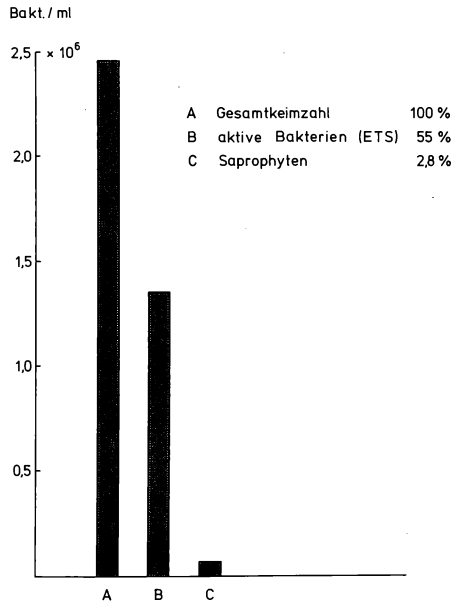


Abb. 1: Gesamtbakterienzahl (A), Zahl der aktiven Bakterien (B) und Saprophytenzahl (C) in der Kieler Förde.

(Bestimmung von A nach ZIMMERMANN und MEYER-REIL (1974), von B nach ITURRIAGA und RHEINHEIMER 1975, von C nach GUNKEL und RHEINHEIMER 1968.)

gelangenden Bakterien besonders rasch auf die Zufuhr von leicht abbaubaren organischen Stoffen. Sie werden deshalb als Saprophyten bezeichnet und können als Zeigerorganismen für eine entsprechende Belastung durch Abwässer gelten.

Mehrjährige Beobachtungen über die Bakterienverteilung in der westlichen Ostsee erbrachten einige interessante Resultate. So zeigten die mit Hilfe der fluoreszenzmikroskopischen Methode nach ZIMMERMANN und MEYER-REIL (1974) bestimmten Gesamtbakterienzahlen nur relativ geringe regionale und saisonale Schwankungen, ganz im Gegensatz zu den Saprophytenzahlen. Während die ersteren auf dem Profil von der relativ stark belasteten inneren Kieler Förde zur vergleichsweise sauberen zentralen Kieler Bucht im Jahresdurchschnitt 1974 nur auf die Hälfte abnahmen, gingen die letzteren auf 1/50 zurück (Abb. 2) (ZIMMERMANN 1976). Ähnlich weisen die Jahreskurven der Gesamtbakterienzahlen nur verhältnismäßig geringe Schwankungen auf, während die der Saprophytenzahlen kräftige Spitzen im Frühjahr und Herbst zeigen. Diese Maxima folgen denen des Phytoplanktons in der Regel mit einem zeitlichen Verzug von mehreren Tagen bis zu einigen Wochen. Durch die vom Phytoplankton abgegebenen Nährstoffe kommt es zu einer verstärkten Bakterienentwicklung, die sich jedoch nur in den Saprophytenzahlen deutlich niederschlägt. Dieser Zusammenhang ist aber weder bei den Gesamtbakterienzahlen, noch bei der mit Hilfe der Mikroautoradiographie ermittelten Anzahl aller aktiven Zellen deutlich wahrzunehmen (s. HOPPE 1976). Die rasche Reaktion der saprophytischen Bakterien auf Veränderungen des Nährstoffgehaltes konnte durch eine Reihe von Laborversuchen bestätigt werden (s. RHEINHEIMER 1977b). Sie ist allerdings an eine bestimmte Schwellenkonzentration der

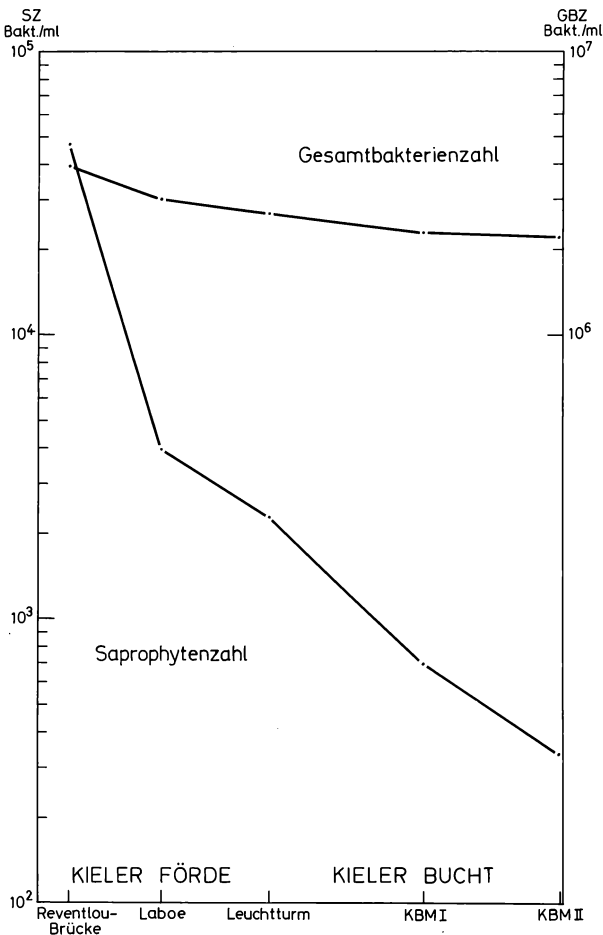


Abb. 2: Gesamtbakterienzahl und Saprophytenzahl in einem Profil von der relativ stark belasteten inneren Kieler Förde bis zur Mitte der Kieler Bucht (nach ZIMMERMANN 1975).

entsprechenden Nährstoffe gebunden. Dort, wo diese nicht erreicht wird, wie z.B. in Teilen der offenen See, sind diese Beziehungen nicht immer wahrzunehmen. Eine gewisse Nährstoffzufuhr stimuliert hier natürlich ebenfalls das Bakterienwachstum, jedoch wird sie nicht immer zur Entwicklung von Saprophyten ausreichen, bei denen die Schwellenkonzentrationen noch höher liegen. Es werden also nur solche Bakterien wachsen können, die noch sehr geringe Nährstoffmengen auszunutzen vermögen. Daher konnte in stärker belasteten Küstengewässern regelmäßig eine Korrelation zwischen der heterotrophen Potenz und den Saprophytenzahlen festgestellt werden, nicht jedoch in unbelasteten, küstenfernen Bereichen (GOCKE 1974). Es sind also offenbar unterschiedliche Bakterienpopulationen mit der Remineralisierung der organischen Substanz befaßt, je nach Art und Konzentration der vorhandenen Nährstoffe.

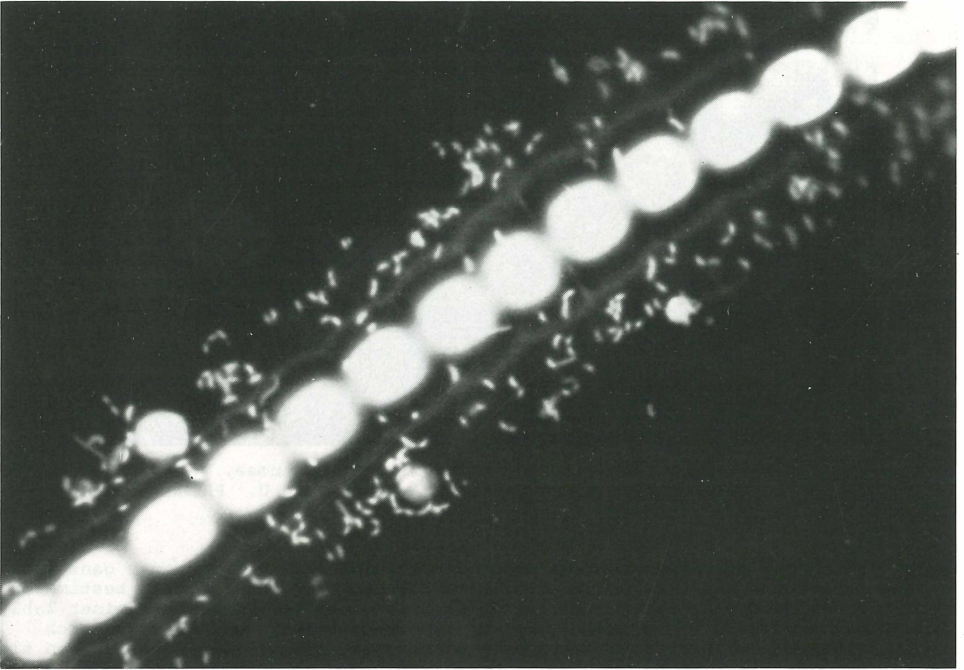


Abb. 3: Bakterien im Schleim einer fädigen Blaualge. Vergr. 3800 x.
Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme (R. ZIMMERMANN).

Auffallend ist die meist geringe Zahl der Aufwuchsformen. So belüftet sich im Wasser der Kieler Bucht der Anteil der auf Detritus wachsenden Bakterien nur auf wenige Prozent der Gesamtbakterienzahl (ZIMMERMANN 1975). Der Aufwuchs des Planktons (s. Abb. 3 u. 4) ist je nach Art und Entwicklungsphase sehr verschieden. Phytoplankter mit Schleimhüllen haben oft eine charakteristische Mikroflora, die sich offenbar von dem umgebenden Schleim ernährt. Bei anderen Phytoplanktonformen hängt der Bakterienbewuchs von der Wachstumsphase ab. In der logarithmischen Phase befindliche Algenpopulationen zeigen oft nur geringen oder gar keinen Aufwuchs, während in der stationären Phase nicht selten eine mehr oder weniger starke Bakterienbesiedlung zu beobachten ist, da von den Algen dann größere Mengen von organischen Stoffen abgegeben werden, die die Bakterien als Nahrung verwenden können.

Eine fluoreszenzmikroskopische Analyse der Mikroflora des Ostseewassers zeigte, daß die Bakterienbiomasse stärker als die Gesamtbakterienzahl auf eine Eutrophierung des Wassers reagiert. Das heißt, mit steigender Nährstoffkonzentration nimmt der Anteil der größeren Zellen zu, die zum Teil mit den Saprophyten identisch sind. Bei diesen Untersuchungen zeigte sich auch, daß die im Wasser befindlichen Bakterien sehr erhebliche Größenunterschiede aufweisen, und zwar im Verhältnis von etwa 1 : 1000 (s. Tab. 1).

Die Analyse der Mikroflora läßt jahreszeitliche Unterschiede in ihrer Zusammensetzung erkennen. Diese hängen vor allem mit den wechselnden Nährstoffverhältnissen zusammen, die von den anderen Gliedern des Ökosystems bewirkt werden. So nehmen z.B. im küstennahen Bereich Zellulosezerersetzer im Herbst mit dem größeren Angebot dieses Stoffes vor

allein durch die benthischen Algen, aber auch durch Zufuhr vom Lande beim Laubfall zu (LEHNBERG 1972). Eine kräftige Spitze im Spätherbst und eine kleinere im Frühjahr zeigen *Agrobacterium*-Arten, die sternförmige Zellaggregate bilden. Hier besteht ein Zusammenhang mit dem Absterben von Phytoplanktonpopulationen (AHRENS 1969).

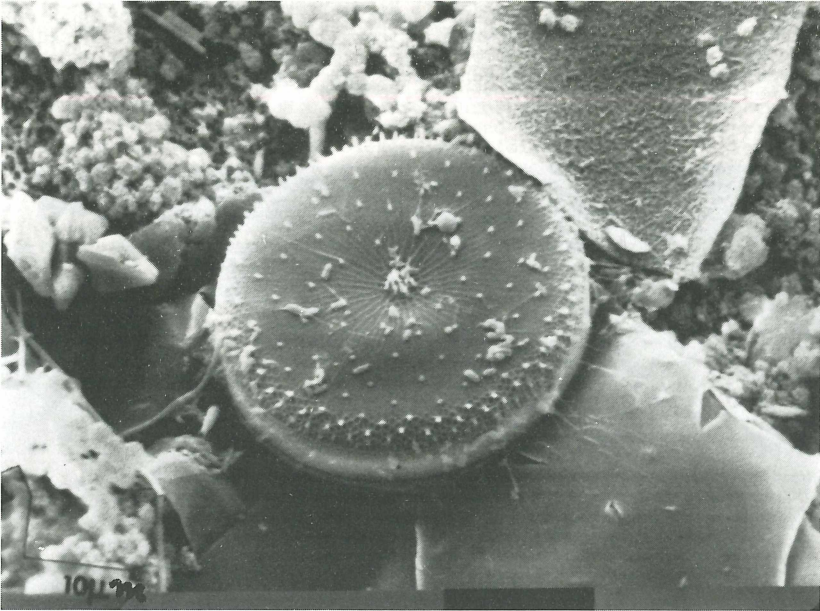


Abb. 4: Bakterienaufwuchs auf einer cyclischen Diatomee. Vergr. 2000 x. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von U. PALMGREN

Es weist jedoch das Artenspektrum zumindest der kultivierbaren Formen² das ganze Jahr über kaum Unterschiede auf (s. BÖLTER 1976). Die verschiedenen, in einem bestimmten Seegebiet vorkommenden Bakterien scheinen also, wenn auch teilweise in kleiner Zahl, ständig präsent zu sein. Bei einem Angebot von geeigneten Nährstoffen, z.B. durch Phytoplanktonexsudate, tierische Exkremente oder abgestorbene Organismen können sich die entsprechenden Bakterien oder Pilze rasch vermehren, so daß ihr Anteil an der Population kräftig zunimmt. Interessanterweise wirken sich diese jahreszeitlichen Veränderungen bei den Bakterien nur relativ wenig auf die Gesamtbakterienzahl aus, obwohl der Anteil der aktiven Zellen mit 30 bis 70% sehr groß ist. Daraus kann geschlossen werden, daß stets nur ein Teil der vorhandenen Bakterien an den Remineralisierungsprozessen tatsächlich beteiligt ist. Die anderen aber befinden sich in einem Zustand des latenten Lebens, sozusagen in Wartestellung, um zu jeder Zeit anfallende Nährstoffe aufnehmen und abbauen zu können. Auf diese Weise vermögen die Bakterien eine entscheidende Rolle innerhalb des marinen Ökosystems zu spielen.

Tab. 1: Durchschnittliche Zellgröße und Zellvolumen bei Kokken und Stäbchen für insgesamt 8 Größenklassen, errechnet nach DAUBNER (1972).

Kokken				Stäbchen						
Ø	0.2	0.6	1.2	Länge	0.2	0.6	1.2	2.0	2.8	µm
				Breite	0.1	0.3	0.6	1.0	2.4	µm
	0.004	0.113	0.904		0.0016	0.042	0.399	1.570	4.308	µm ³

Ein solches Nährstoffangebot führt zur Entwicklung einer Sukzession verschiedener aktiver Teilpopulationen. Dabei können neben heterotrophen Bakterien auch Pilze und chemoautotrophe Bakterien (Nitrifizierer und Sulfurizierer) beteiligt sein (s. RHEINHEIMER 1975). Es werden in der Regel zunächst die leicht angreifbaren Stoffe wie Eiweiß, Zucker und niedermolekulare organische Säuren, dann Stärke und Fette und zuletzt die hochmolekularen Verbindungen, wie Chitin, Zellulose und Lignin abgebaut. Je nach

Beschaffenheit und Konzentration des vorhandenen organischen Materials können sich spezialisierte Mikroorganismen mit den entsprechenden biochemischen Potenzen vermehren und zu einer vorübergehenden Veränderung der aktiven Teilpopulation führen.

Auch in der Nahrungskette des Meeres spielen die Bakterien (Abb. 5) und Pilze eine wichtige Rolle, denn sie vermögen am wirkungsvollsten gelöste organische Stoffe in partikuläre Substanz umzuwandeln. So wurden 44% der Asparaginsäure und 72% der Glucose

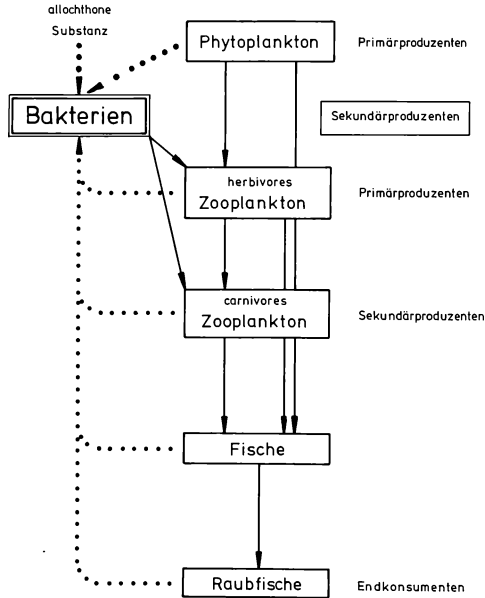


Abb. 5: Die Stellung der Bakterien in der Nahrungskette des Pelagials.

in Zellsubstanz überführt (HOPPE 1977), die dann vom Zooplankton und Zoobenthos aufgenommen werden kann. Zahlreiche Protozoen und Rotatorien weiden den Bakterien- und Pilzaufwuchs von Algen, Tieren und toten Substraten ab. Für Meerestiere mit filtrierender Ernährungsweise wie Muscheln, Schwämme, Korallentiere u. ä. stellen Mikroorganismen einen mehr oder weniger großen Teil der Nahrung. Das gilt auch für die Meiofauna in den Sedimenten. Allerdings sind unsere Kenntnisse hier noch sehr fragmentarisch. Insbesondere gibt es kaum zuverlässige quantitative Daten.

Das gilt auch für die Rolle der parasitischen Mikroorganismen innerhalb des marinen Ökosystems. Es sind zwar zahlreiche bakterielle und vor allem pilzliche Parasiten von Algen und Meerestieren bekannt (s. RHEINHEIMER 1975), die insgesamt zweifellos eine wichtige Funktion bei der Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes innerhalb des Ökosystems haben. Doch sind die Wechselbeziehungen zwischen Parasit und Wirt oft so kompliziert, daß quantitative Aussagen kaum möglich sind. So kommt es vielfach zum Zusammen- oder Gegeneinanderwirken verschiedener Parasiten, Überparasitismus und anderen, schwer erfassbaren Erscheinungen. Hier steht die Forschung noch ganz am Anfang.

Da eines der Hauptziele der modernen Ökosystemforschung die Aufklärung des Energieflusses innerhalb der Ökosysteme ist, haben wir versucht, aufgrund des in den letzten Jahren in der Kieler Bucht gewonnenen Datenmaterials die energetischen Zusammenhänge unter besonderer Berücksichtigung der Mikroorganismen zu erfassen. Ein entsprechendes Modell (Abb. 6) wurde von BÖLTER et al. (1977) mit Hilfe der ODUM-Symbole (s. ODUM 1969, JANSSON 1972) erarbeitet. Dieses gibt natürlich nur einen groben Überblick über die Funktion der heterotrophen Mikroorganismen beim Energiefluß im Ökosystem der Kieler Bucht. Die Angabe von Zahlen (Kalorienwerten) ist noch nicht möglich, und aus der Sicht des Mikrobiologen wird noch viel Arbeit notwendig sein, bis die Rolle der Mikroorganismen im Energiefluß des Ökosystems der westlichen Ostsee quantitativ dargestellt werden kann. Es erscheint daher unerlässlich, daß bei der weiteren Erforschung der Ökosysteme in Zukunft mehr als bisher auch intensive bakteriologische und mykologische Untersuchungen erfolgen.

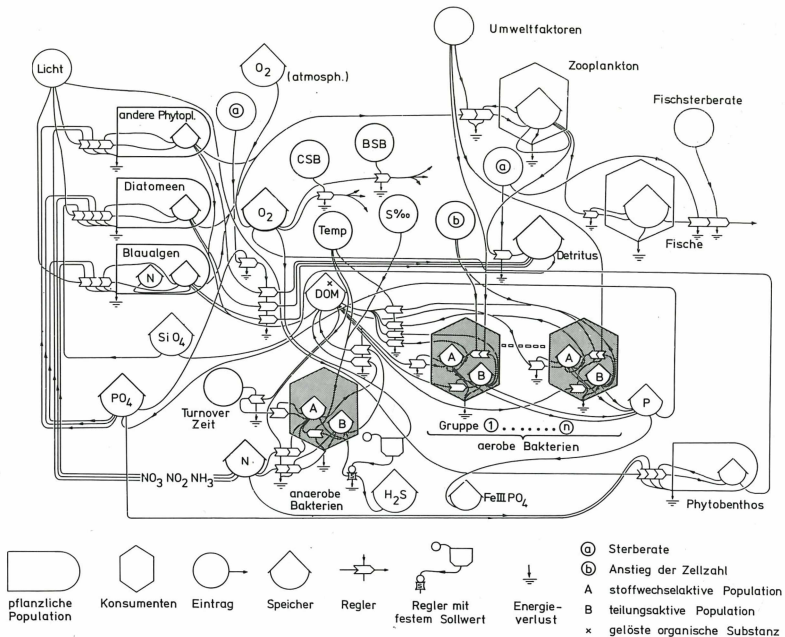


Abb. 6: Modell des Energieflusses im Ökosystem der Kieler Bucht unter Verwendung der ODUM-Symbole.

Literatur:

AHRENS R., 1969: Ökologische Untersuchungen an sternbildenden *Agrobacterium*-Arten aus der Ostsee. Kieler Meeresforsch. 25: 190-204.

BÖLTER M., 1976: Untersuchungen zur Fluktuation der Bakterien-Population in der Kieler Förde und Kieler Bucht. Diss. Univ. Kiel.

- , MEYER-REIL L.A., PROBST B., 1978: Comparative analysis of data, measured in the brackish water of the Kiel Fjord and Kiel Bight. In (Ed. G. Rheinheimer): Ecology of a brackish water environment. Ecol. Stud. 25.

GOCKE K., 1974: Investigations on short-term variations of microbial activity. Mar. Biol. 33: 49-55.

GUNKEL W., RHEINHEIMER G., 1968: Bestandsaufnahme. F. Bakterien. In (Ed. C. Schlieper): Methoden der Meeresbiologischen Forschung. Jena (Fischer): 142-157.

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.

- 1977: Relations between active bacteria and heterotrophic potential in the sea. Netherl. J. Sea Res. (im Druck).

ITTURIAGA R., RHEINHEIMER G., 1975: Eine einfache Methode zur Auszählung von Bakterien mit aktivem Elektronentransportsystem in Wasser- und Sedimentproben. Kieler Meeresforsch. 31: 83-86.

JANSSON B.O., 1972: Ecosystem approach to the Baltic problem. NFR 16, Stockholm.

LEHNBERG B., 1972: Ökologische Untersuchungen an aeroben agar- und zellulosezersetzenden Bakterien in Nord- und Ostsee. Diss. Univ. Kiel.

ODUM H.T., 1969: An energy circuit language for ecological social systems: Its physical basis. Progr. to U.S. At. Energy Comm. 1 (40-1) - 3666: 3-90.

RHEINHEIMER G., 1975: Mikrobiologie der Gewässer. 2. Aufl. Stuttgart (Fischer).

- (Ed.), 1977: Microbial ecology of a brackish water environment. Ecol. Stud. 25.

ZIMMERMANN R., 1975: Entwicklung und Anwendung von fluoreszenz- und rasterelektronenmikroskopischen Methoden zur Ermittlung der Bakterienmenge in Wasserproben. Diss. Univ. Kiel.

- , MEYER-REIL L.A., 1974: A new method for fluorescence staining of bacterial populations on membrane filters. Kieler Meeresforsch. 30: 24-27.

Adresse:

Prof. Dr. Gerhard Rheinheimer
 Inst. f. Meereskunde an der Universität
 Abt. Marine Mikrobiologie
 Düsternbrooker Weg 20
 D-2300 Kiel 1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [7_1978](#)

Autor(en)/Author(s): Rheinheimer Gerhard

Artikel/Article: [Die Rolle der heterotrophen Mikroorganismen im marinen Ökosystem 29-34](#)