Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Kiel 1977 (1978):

Die ökophysiologische Analyse benthischer mariner Ökosysteme: in situ-Methoden und interdisziplinäre Wege

Winfrid Schramm

Starting with a presentation and a critical survey of previous investigations of marine benthic ecosystems, this paper describes an interdisciplinary approach for ecophysiological analysis of marine phytobenthos systems of the Baltic Sea.

The total flow of energy and matter in isolated parts of the intact phytobenthos system is investigated in situ employing closed (bell jar principle) or open (tunnel principle) measuring devices.

In addition to the above measurements on the intact phytobenthos system, the exchange processes within "partial systems" (e.g. sediment, phytobenthos, pelagic system) and of their isolated components (e.g. primary producers, macro epifauna, bacteria etc.) are investigated. Examples of measurements from shallow water systems in the Baltic are given.

In Flachwassermeeren wie der Nord- oder Ostsee hat im Vergleich zu ozeanischen Gebieten das Benthos eine relativ große, zum Teil sogar eine überragende Bedeutung im Gesamthaushalt des marinen Ökosystems.

Die Erforschung mariner und insbesondere limnischer Ökosysteme reicht in den ersten Ansätzen zwar bis in das vorige Jahrhundert zurück (z.B. MOEBIUS 1877, HENSEN 1882-1886, FORBES 1887). Die zusammenhängende und umfassende Analyse mariner Benthossysteme wurde aber erst in neuerer Zeit begonnen. Diese Untersuchungen wiederum wurden vorzugsweise in warmen Meeren, kaum aber in klimatisch so wenig attraktiven Gebieten wie etwa der Nord- oder Ostsee durchgeführt. Dies gilt für die Analyse der Strukturen, in weit höherem Maße jedoch für die Untersuchung der funktionellen Zusammenhänge.

Als ein Grund dafür müssen sicherlich die vergleichsweise großen methodischen Schwierigkeiten angesehen werden, wie sie sich bei der in situ-Arbeit im Meer ergeben. Erst mit der Entwicklung von für marine Verhältnisse geeigneten Techniken und Methoden, insbesondere von Fernmeßverfahren und SCUBA-Technik sowie mit der Ermöglichung interdisziplinärer Arbeitsweisen durch die Schaffung fächerübergreifender Projekte und Institutionen (in unserem Bereich z.B. durch die Arbeitsgruppe 3 der baltischen Meeresbiologen oder den SFB 95) wurde die systematische Analyse benthischer mariner Ökosysteme in Angriff genommen.

Für die Untersuchung der funktionellen Zusammenhänge innerhalb von aquatischen Ökosystemen lassen sich verschiedene Wege einschlagen. Eine Möglichkeit ist die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Veränderungen der Strukturen nach einem häufig kombinierten, populationsdynamischen, biozönotischen oder trophischen Ansatz (vgl. ARNTZ 1978). Beispiele aus neuerer Zeit sind die Untersuchungen von JANSSON (1975) über die *Cladophora*-Gemeinschaften der mittleren Ostsee oder die von ANKAR (1977) über die Weichbodensysteme aus diesem Gebiet. Bei diesem Verfahren werden Größe und Veränderung der Systemkomponenten untersucht, woraus sich Aussagen über den lang- oder mittelfristigen Fluß etwa von organischer Substanz oder Energie ableiten lassen.

Hier nun soll ein anderer Weg betrachtet werden, den wir als ökophysiologischen Ansatz bezeichnen wollen (vgl. KREEB 1974). Es werden dabei Systemkomponenten, wie z.B. Primärproduzenten, Konsumenten, Destruenten oder auch nicht lebende Komponenten des Systems, durch Raten biologisch-metabolischer oder abiotisch-chemischer Prozesse, wie etwa photosynthetischer oder respiratorischer Gaswechsel, Umsatz anorganischer oder organischer Stoffe u.a., in Zusammenhang gebracht. Als ein Beispiel dazu aus dem Rahmen des SFB 95 zeigt Abb. 1 ein stark vereinfachtes Modell, das die Beziehungen des Benthos zum Austausch von Sauerstoff, anorganischen Nährstoffen und gelöster organischer Substanz zwischen Meer und Meeresboden darstellen soll.

Die ökophysiologische Untersuchung derartiger Zusammenhänge erfolgte bisher im wesentlichen auf folgende Weise:

1. Bestimmung des Gesamtumsatzes des nicht-isolierten oder isolierten Systems.
2. Untersuchung von Umsatzraten an isolierten, d.h. aus dem Systemzusammenhang herausgetrennten Komponenten.

Beide Verfahren bergen grundsätzlich Schwächen in sich, die im folgenden kurz angesprochen werden sollen. Auf den Gesamtumsatz eines nicht-isolierten Benthossystemes kann im Prinzip nur geschlossen werden, indem im Wasserkörper die Änderung von Parametern (z.B. O_2-Gehalt) für die Summe biologischer oder chemischer Prozesse im Benthossystem (z.B. photosynthetischer O_2-Produktion, respiratorischer und chemischer O_2-Verbrauch) untersucht wird.

Diese Methode, die in der Limnologie und Fließwasserkunde schon länger bekannt ist, wurde relativ spät auf marine Benthossysteme angewendet (ODUM u. HOSKIN 1958, ODUM et al. 1963, u.a.). Der große Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß das zu untersuchende System praktisch nicht durch die Messungen selbst beeinflußt wird. Andererseits ist der Stoff- und Energieaustausch mit angrenzenden Systemen nur schwer zu erfassen, z.B. bei den o.a. Gaswechselmessungen der Gasaustausch mit der Atmosphäre, die Zu- und Abfuhr durch den Wassertransport etc. Dieser Nachteil kann zumindest teilweise dadurch vermieden werden, indem das zu untersuchende System oder repräsentative Teile davon isoliert werden. In Sonderfällen ergibt sich das durch die natürlichen Gegebenheiten, wie etwa in abgeschlossenen Buchten, Kanälen oder in sogenannten rock-pools. Beispiele dafür sind die Untersuchungen von GANNING u. WULFF 1970, JANSSON u. WULFF 1977, ODUM et al. 1963.

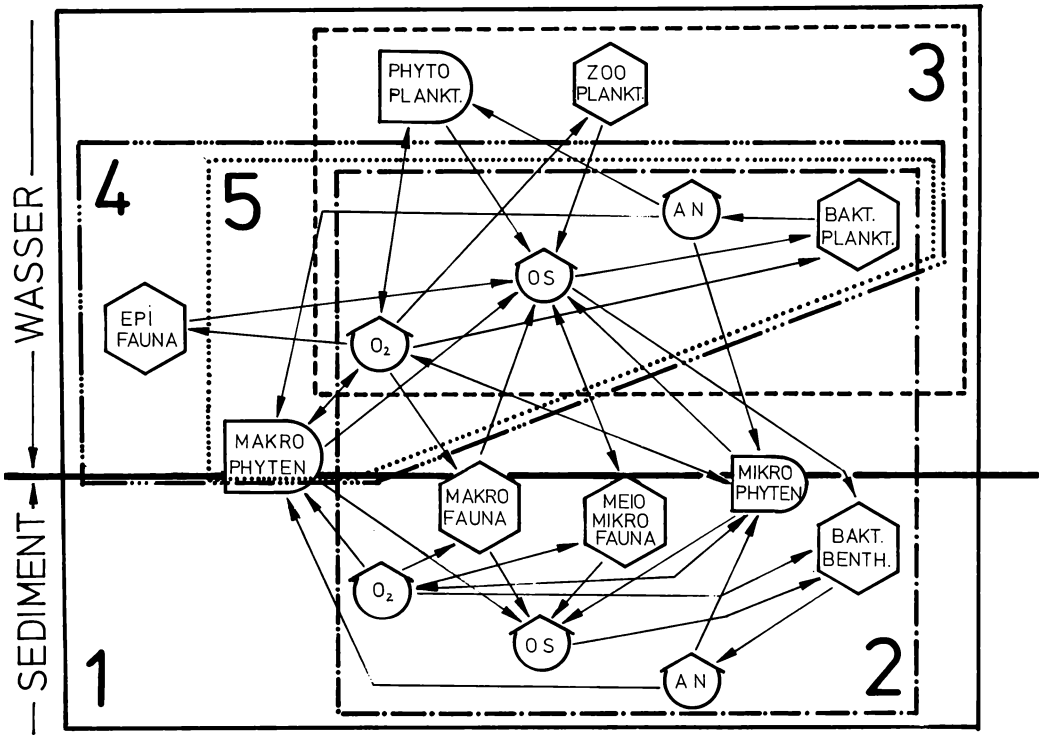

Abb. 1: Schematisch vereinfachte Darstellung der Beziehungen ausgewählter Benthoskomponenten zum Austausch von Sauerstoff (O_2), organischer Substanz (OS) und anorganischen Nährstoffen (AN) zwischen Meeresboden und Meerwasser.
Das Gesamtsystem (1) wird zu Untersuchungen der funktionellen Zusammenhänge experimentell in Partialsysteme ((2) "Sediment", (3) "pelagischer Anteil", (4) "Makrophyten und Epifauna" (5) "Makrophyten") sowie Systemkomponenten wie Plankton, Mikrophytobenthos, Epifauna, Bakterien u.a. zerlegt.

Häufiger jedoch werden Teile des zu untersuchenden Ökosystems künstlich durch die verschiedensten Konstruktionen (Zylinder, Kästen, Glocken etc.) abgetrennt und entweder im Labor (CAREY 1967, EDWARDS u. ROLLEY 1965, PAMATMAT 1971, SMITH 1973, BOJE 1974 u.a.) oder in situ untersucht. Im letzteren Fall können die Meßsysteme dabei im Flachwasser durch Taucher (z.B. SMITH et al. 1974, HALLBERG et al. 1972, BALZER 1976) oder aber in tieferem Wasser ferngesteuert betrieben werden (z.B. PAMATMAT u. FENTON 1968, SMITH et al. 1973, 1974, 1976).

Die unterschiedlichen Meßsysteme zur Untersuchung des marinen Benthos wurden kürzlich von ZEITZSCHEL et al. (im Druck) zusammengestellt. Der künstliche Einschluß bringt allerdings u.a. zwei grundsätzliche Probleme mit sich. Bei Einschluß in starre Behältnisse, wie sie bisher meistens verwendet wurden, können die natürlichen Wasserbewegungsverhältnisse, die von bedeutendem Einfluß auf den Stoffaustausch sind, drastisch verändert werden. Künstliche Bewegung des Wassers durch Rühr- und Pumpeinrichtungen bieten einen nur unvollkommenen Ersatz z.B. für die natürlichen Turbulenzen.

Das Problem wurde teilweise gelöst durch die Entwicklung hochtransparenter, aber nahezu gasundurchlässiger Folien, bei deren Verwendung als flexibles Wandmaterial (z.B. ANTIA et al. 1963, DAVIES 1975, BODUNGEN et al. 1976, MCKELLAR u. HOBRO 1976, JANSSON u. WULFF 1977, SCHRAMM u. MARTENS 1976) die turbulente Energie weitgehend in das Innere übertragen wird, wie Untersuchungen von GUST (1977) zeigen.

Ein anderes Problem liegt darin, daß bei Verwendung geschlossener Systeme in relativ kurzer Zeit Über- und Untersättigungseffekte auftreten, z.B. durch die Erschöpfung von Nährstoffen, Sauerstoffübersättigung u.a.

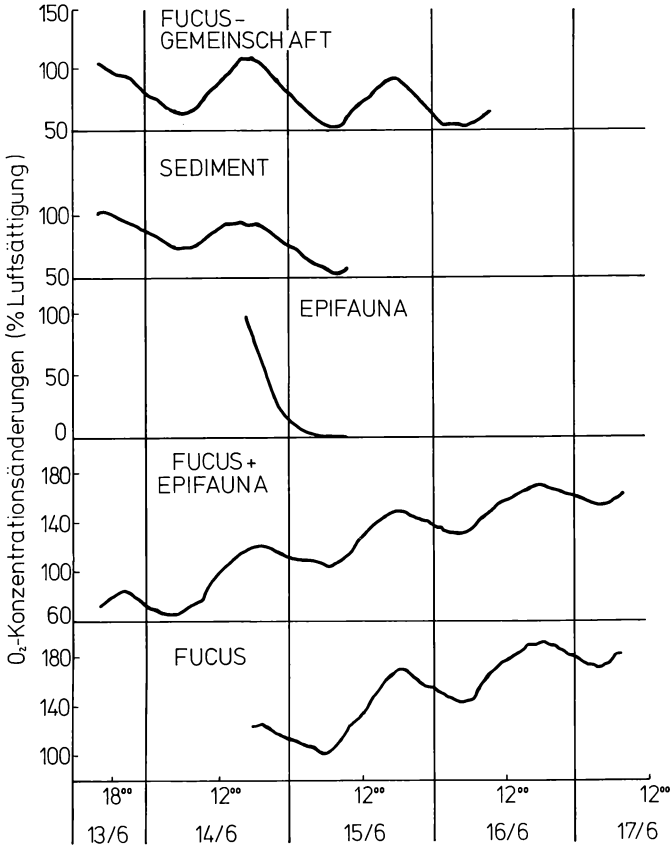

Abb. 2: Tageskurven des Sauerstoffumsatzes in einer Flachwasser-*Fucus*-Gemeinschaft und den zugehörigen Partialsystemen (Sediment, Makrophyten und Epifauna) sowie einzelner Systemkomponenten (*Fucus*, Epifauna). (Kämpinge, Schweden, 13.-17.6.76, Tiefe 1.3 m).
Untersuchungen im Rahmen der WG III der baltischen Meeresbiologen.

Dies wird weitgehend vermieden in Durchflußsystemen, in denen in kurzen Zeitabständen das Wasser ausgetauscht wird (z.B. HALL u. TEMPEL 1976) oder die kontinuierlich durchflossen werden (z.B. SCHRAMM u. MARTENS 1977).

Bei den bisher geschilderten Methoden wird zwar der Gesamtumsatz des Systems erfaßt, nicht aber die funktionellen Beziehungen zwischen den einzelnen Systemkomponenten. So kann z.B. aus dem Gesamtsauerstoffumsatz einer Phytobenthosgemeinschaft nicht auf die Respiration etwa der Epifauna oder auf die Photosynthese der Mikroalgen geschlossen werden. Die Auflösung des Gesamtumsatzes in Teilvorgänge, d.h. die Untersuchung von Prozessen an isolierten Systemkomponenten, ist - lange bevor man von Ökosystemanalysen sprach - in Form autökologischer Untersuchungen im Labor oder in situ durchgeführt worden. Die ausschließliche Verwendung autökologisch gewonnener Daten für die Analyse von Ökosystemen wird schwerlich zu einem befriedigenden Ergebnis führen, da die Herauslösung aus dem Systemkomplex die vielfach wirkenden Rückkoppelungen weitgehend ausschaltet.

Bei unseren Untersuchungen haben wir daher versucht, beide Methoden zu kombinieren und einen Mittelweg zu gehen. Neben der Untersuchung von Gesamtumsatz und Prozessen an isolierten Komponenten werden zusätzlich geeignete Partialsysteme abgetrennt und simultan analysiert. So wurde in dem in Abb. 1 dargestellten Beispiel versucht, das Gesamtbenthossystem in die Partialsysteme Sediment, Makrophyten - Mikroepiphyten - Epifauna und pelagischer Anteil zu zerlegen.

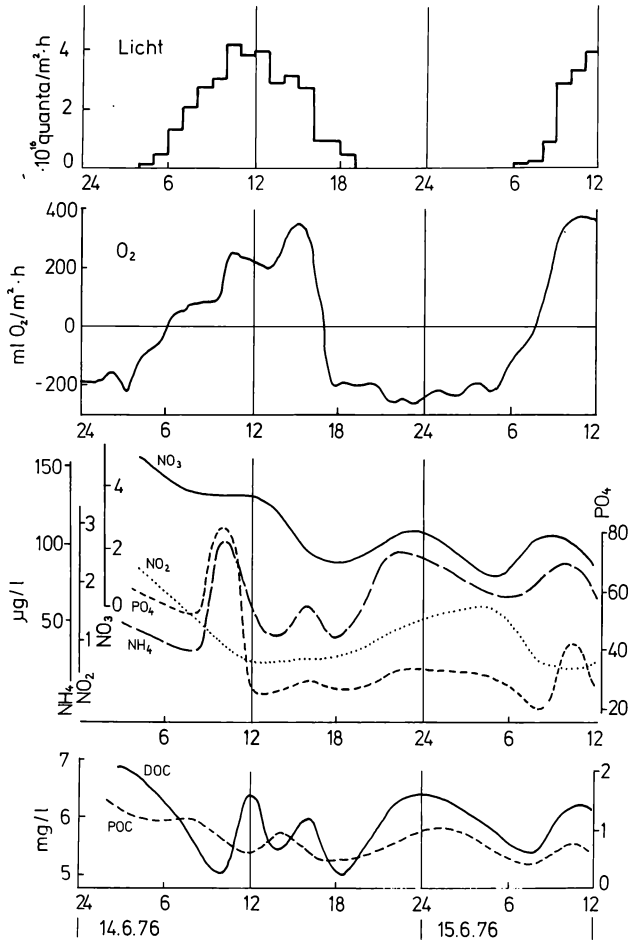

Abb. 3: Sauerstoffumsatz und Fluktuationen im Gesamthaushalt anorganischer Nährstoffe, gelösten (DOC) und partikulären (POC) organischen Kohlenstoffs in einer Flachwasser-*Fucus*-Gemeinschaft (1.3 m) der schwedischen Südküste (Kämpinge). Untersuchungen im Rahmen der WG III der baltischen Meeresbiologen (Bestimmungen von Nährstoffen, DOC und POC: v. Wachenfeldt, Univ. Lund).

Die oben angesprochene grundsätzliche Problematik, die in der Auftrennung der Gesamtheit in Teile liegt, etwa durch Unterbindung von Rückkoppelungen u.a., bleibt natürlich auch bei diesem Verfahren bestehen. Fehler dieser Art dürften sich allerdings, besonders bei den relativ kurzen Untersuchungszeiten, weniger auswirken, da in den Partialsystemen jeweils mehrere, direkt miteinander verknüpfte Systemkomponenten zusammengefaßt sind.

Einen Vorteil der Kombination der verschiedenen Verfahren sehen wir vor allem in der größeren Zahl von Kontroll- und Rückkontrollmöglichkeiten. Darüberhinaus ergeben sich aus den Überlappungen der verschiedenen Kompartimente oder durch Differenzbildungen zusätzlich Informationen über Systemteile, die experimentell nicht oder nur schwierig aus dem Gesamten herauszulösen sind. So läßt sich z.B. aus dem unterschiedlichen Sauerstoffumsatz des experimentell abtrennbaren Partialsystems Makrophyten - Epiphyten - Epifauna und der Systemkomponenten Makrophyten - Epiphyten auf die Aktivität der Epifauna schließen, die sonst nur schwierig zu erfassen wäre. Untersuchungen nach diesem methodischen Ansatz sind im Ostseeraum von verschiedener Seite mehrfach durchgeführt worden (Askö-Projekt, baltische Meeresbiologen, SFB 95). Die bisher vorliegenden Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen vor allem die enge Verknüpfung der verschiedenen Prozesse miteinander. Darüberhinaus konnten vielfach ausgeprägte Kurzzeitfluktuationen beobachtet werden, wie z.B. beim Umsatz von anorganischen Nährstoffen oder gelöster organischer Substanz in *Fucus*- und *Zostera*-Gemeinschaften (Abb. 2 u. 3).

Das Ziel derartiger Untersuchungen, nämlich aus gemessenen Umsatzraten Funktionsmodelle abzuleiten, kann daher schwerlich ohne simultane, kontinuierliche in situ-Untersuchungen erreicht werden.

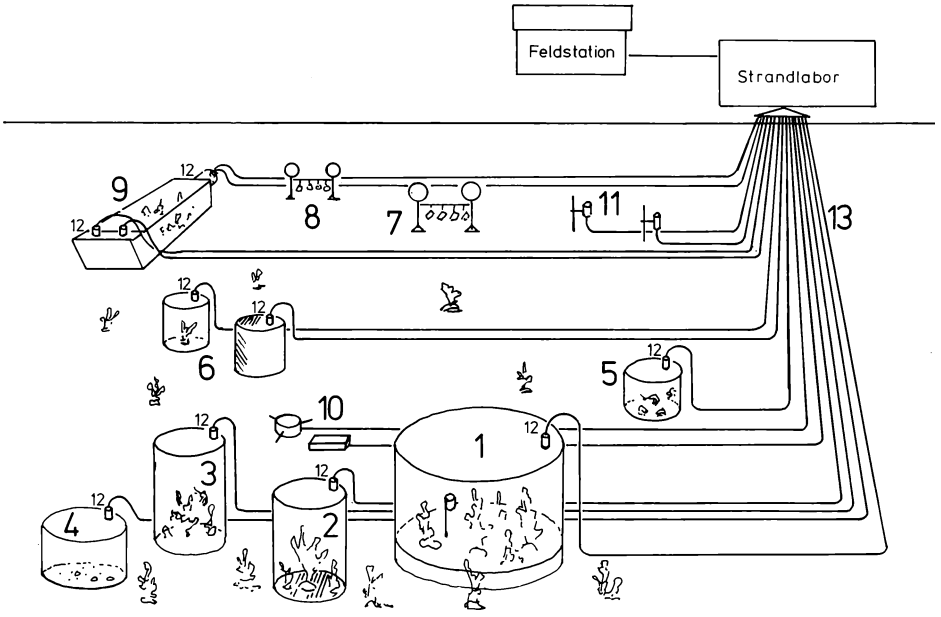

Abb. 4: Schematische Darstellung der experimentellen Anordnung zur Untersuchung einer Flachwasser-*Fucus*-Gemeinschaft der schwedischen Südküste (Kämpinge).
(1-6) geschlossene Meßsysteme: (1) *Fucus*-Gemeinschaft, (2) Macrophyten, (3) Makrophyten + Epifauna, (4) Sediment, (5) Epifauna, (6) *Fucus*, Exsudate, Bakterienaktivität, (7) Phytoplankton, (8) Mikrophytobenthos, (9) Durchflußsystem, *Fucus*-Gemeinschaft, (10) Lichtmeßgeräte (Bestrahlungsstärke, Quantenstromdichte), (11) Meßfühler (Temperatur, Salzgehalt), (12) Meßfühler O_2, (13) Meßkabel.

Der hierzu allerdings notwendige methodische und logistische Aufwand ist erheblich. Abb. 4 zeigt dafür die experimentelle Anordnung, wie sie bei Untersuchungen des Sauerstoff-, DOC- und Nährstoffaustausches in Flachwassersystemen der schwedischen Südküste verwendet wurde. Dort wurden bis zu 30 verschiedene Größen simultan untersucht: neben der Strukturanalyse Licht, Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff, Kohlendioxid, anorganische Nährstoffe, gelöste organische Gesamtsubstanz, Aminosäuren, Zucker, ATP, ETS etc. Bis zu 20 Wissenschaftler, Techniker und Taucher wurden für die Durchführung des Meßprogramms benötigt. Dies zeigt sicherlich überzeugend, daß eine moderne, ökophysiologische Analyse mariner Ökosysteme nur im Rahmen größerer, interdisziplinärer Forschungsmöglichkeiten zu bewältigen sein wird.

Literatur:

ANKAR S., 1977: The soft bottom ecosystem of the Northern Baltic proper with special reference to the macrofauna. Contr. Askö Lab. Univ. Stockholm 19.

ANTIA N.J., MCALLISTER C.D., PARSONS T.R., STEPHENS K., STRICKLAND J.D.H., 1963: Further measurements of primary production using a large volume plastic sphere. Limnol. Oceanogr. 8: 166-183.

ARNTZ W.E., 1978: Zielsetzung und Probleme struktureller Benthosuntersuchungen in der marinen Ökosystemforschung. Verh. Ges. Ökol. (Kiel 1977).

BALZER W., 1976: Untersuchungen über Abbau organischer Materie und Nährstofffreisetzung am Boden der Kieler Bucht beim Übergang vom oxischen zum anoxischen Milieu. Rep. 36 (SFB 95 Univ.Kiel)

BODUNGEN B.v., BRÖCKEL K.v., SMETACEK V., ZEITZSCHEL B., 1976: The plankton tower I.: A structure to study water/sediment interactions in enclosed water columns. Mar. Biol. 34: 369-372.

BOJE S., 1974: Untersuchungen zum Energie- und Stoffumsatz des sublitoralen Meeresbodens in der Kieler Bucht. Diss. Univ. Kiel, 77 S.

CAREY A.G., 1967: Energetics of the benthos of Long Island Sound I. Oxygen utilization of sediment. Bull. Bingham Oceanogr. Coll. 19: 136-144.

DAVIES J.M., 1975: Energy flow through the benthos in a Scottish sea loch. Mar. Biol. 31: 353-363.

EDWARDS R.W., ROLLEY H.L.J., 1965: Oxygen consumption of river muds. J. Ecol. 53: 1-19.

FORBES S.A., 1887/1925: The lake as a microcosm. (Bull. Peoria Sci. Ass.) Illinois Nat. Hist. Surv. Bull. 15, 537-550.

GANNING B., WULFF F., 1970: Measurements of community metabolism in some Baltic brackish water rock pools by means of diel oxygen curves. Oikos 21, 292-298.

GUST G., 1977: Turbulence and waves inside flexible-wall systems designed for biological studies. Mar. Biol. (im Druck).

HALL C.A.S., TEMPEL U., 1977: A benthic chamber for intensely metabolic lotic systems (in print).

HALLBERG R.O., BÅGANDER L.E., ENGVALL A.G., SCHIPPEL F.A., 1972: Method for studying geochemistry of sediment water interface. Ambio 1: 71-72.

HENSEN V., 1882-86: Über die Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Tieren. Wiss. Meeresunters. Kiel 5: 12-16.

JANSSON A.M., 1975: System analysis and simulation of the green algal belt *(Cladophora)* in the Baltic. Merentutkimuslait. Julk. Havsforskningsinst. Skr. 239: 240-247.

JANSSON B.O., WULFF F., 1977: Ecosystem analysis of a shallow sound in the Northern Baltic - A joint study by the Askö Group. Contr. Askö Lab., Univ. Stockholm 18.

KREEB K., 1974: Ökophysiologie der Pflanzen. Jena (VEB Fischer): 211 S.

MCELLAR H., HOBRO R., 1976: Phytoplankton-zooplankton relationships in 100 l plastic bags. Contr. Askö Lab., Univ Stockholm 13.

MOEBIUS K., 1877: Die Auster und die Austernwirtschaft. Berlin (Wiegandt, Hempel u. Parey).

ODUM H.T., CUZON DU REST R.P., BEYERS R.J., ALLBAUGH C., 1963: Diurnal metabolism, total phosphorus, Ohle anomaly and zooplankton diversity of abnormal marine ecosystems of Texas. Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas 9: 404-453.

- , HOSKIN C.M., 1958: Comparative studies on the metabolism of marine waters. Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas 5: 16-46.

PAMATMAT M.M., 1971: Oxygen consumption by the seabed. IV. Shipboard and laboratory experiments. Limnol. Oceanogr. 16: 536-550.

- , FENTON D., 1968: An instrument for measuring subtidal benthic metabolism in situ. Limnol. Oceanogr. 13, 537-540.

SCHRAMM W., MARTENS V., 1976: Ein Meßsystem für in situ-Untersuchungen zum Stoff- und Energieumsatz in Benthosgemeinschaften. Kieler Meeresforsch. Sd.heft 3: 1-6.

SMITH K.L., 1973: Respiration of a sublittoral community. Ecol. 54: 1065-1075.

- , CLIFFORD C.H., ELIASON A.H., WALDEN B., ROWE G.T., TEAL J.M., 1976: A free vehicle for measuring benthic community metabolism. Limnol. Oceanogr. 21: 164-170.

- , KESSLER R.R., 1974: Respiration of benthos-pelagic fishes: in situ measurements at 1230 m depth. Science 180: 72-73.

- , ROWE G.T., CLIFFORD C.H., 1974: Sediment oxygen durand in an outwelling and upwelling area. Thetys 6: 223-230.

- , TEAL J.M., 1973: Deep sea benthic community respiration: an in situ study at 1850 meters. Science 179: 282-283.

ZEITZSCHEL B., DAVIES J.M., im Druck: Benthic growth chambers. Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer. 172: 22 pp.

Adresse: Dr. Winfrid Schramm
Inst. f. Meereskunde an der Universität Abt. Meeresbotanik
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): Schramm Winfrid

Artikel/Article: Die ökophysiologische Analyse benthischer mariner Ökosysteme: in situ-Methoden und interdisziplinäre Wege 53-58