

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

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

German copyright law applies.

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

Korrekturen:

Kieler Meeresforschungen Sonderheft Nr. 3, 1976

S. 31 (WORTHMANN), Zeile 6: „zu betrachten“ Folgende zwei Absätze, beginnend mit „(Wasser)bezirke bis Faktor auftritt“. direkt ansetzen an das Ende der Seite „Stillwasser“

S. 99 (REIMERS/KÖLMEL), Zeile 5 von unten: statt $21,4 = 26,4$

S. 84/85 RICHTER/RUMOHR Tafel 2 Abb. 3 steht auf dem Kopf.

S. 1–4 SCHRAMM/MARTENS Legenden zu Abb. 2–4 vertauscht.

Ein Meßsystem für in situ Untersuchungen zum Stoff- und Energieumsatz in Benthosgemeinschaften*)

Von W. SCHRAMM und V. MARTENS

Zusammenfassung: Ein in situ-Meßsystem für Untersuchungen zum Stoff- und Energiefluß in isolierten benthischen Flachwassergemeinschaften wird beschrieben.

Die Messung des Gaswechsels sowie anorganischer und organischer gelöster Substanzen erfolgt in geschlossenen (Säcke) oder offenen (Durchflußsystem) Meßeinrichtungen, die unter Verwendung von flexiblen Plastikfolien konstruiert wurden, um möglichst ungestörte Turbulenzverhältnisse zu gewährleisten.

Die Anwendung der Meßeinrichtungen wird anhand von Meßbeispielen erläutert.

A measuring system for in situ investigations on the flow of energy and matter in benthic communities (Summary): A measuring system is described for in situ investigations on the flow of energy and matter in isolated benthos communities in shallow waters.

Measurements of gas exchange and inorganic as well as organic dissolved matter are carried out either in closed (bags) or open (flow through) devices.

Flexible plastic film is used for the construction of the devices in order to obtain favourable turbulence conditions in the systems.

Practical application is illustrated by examples of measurements.

Einleitung

Für die in situ Untersuchung des Stoff- und Energieflusses in aquatischen Ökosystemen stehen im Prinzip zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Messungen an nicht-isolierten Systemen (z. B. ODUM, 1956; PARK et al., 1958) oder Untersuchungen an isolierten, d. h. eingeschlossenen Teilen der natürlichen Gemeinschaften (Übersicht bei VOLLENWEIDER, 1969).

Messungen an nicht-isolierten Gemeinschaften haben zwar den Vorteil, daß praktisch kein Einfluß durch die Messungen selbst auf das zu untersuchende System ausgeübt wird. Die Nachteile liegen andererseits darin, daß Einflüsse von außerhalb des Systems nur in besonders günstigen Fällen zu übersehen und zu kontrollieren sind.

Bei Untersuchungen an eingeschlossenen marinen Benthosgemeinschaften, insbesondere Makrobenthosgemeinschaften (z. B. PAMATMAT, 1971), konnten andererseits bisher zwei Voraussetzungen meistens nur unzureichend erfüllt werden: (1) der Einschluß repräsentativer, d. h. genügend großer Teile der Gemeinschaften bei (2) gleichzeitig möglichst natürlichen Wasserbewegungsverhältnissen (Strömung, Turbulenz). Erst mit der Entwicklung flexibler und mechanisch genügend fester Plastikmaterialien konnten diese Probleme zumindest teilweise gelöst werden.

Besonders bei der Untersuchung pelagischer Ökosysteme werden sog. „plastic bags“ seit längerem in größerem Umfange eingesetzt (z. B. MC ALLISTER et al., 1961; STRICKLAND and TERHUNE, 1961; ANTIA et al., 1963; v. BODUNGEN et al., 1976).

Neben den relativ geringen Kosten, dem geringen Gewicht und den meistens guten Transparenzeigenschaften von Plastikfolien ist einer der Hauptvorteile, daß sich Wasser-

*) Beitrag Nr. 158 aus dem Sonderforschungsbereich 95, Universität Kiel.

bewegungen durch die flexiblen, dünnen Folien hindurch weitgehend auf das Innere der Meßsysteme übertragen, wie Farbttests zeigten.

Untersuchungen mittels Mikroturbulenzsonden an den hier beschriebenen Meßsystemen haben ergeben, daß nur relativ geringe Unterschiede in den Spektren der turbulenten Energie innerhalb und außerhalb der Meßsysteme auftreten. Gust (im Druck) hat die Messungen im einzelnen dargestellt.

Die Nachteile geschlossener Systeme liegen einerseits darin, daß wegen der bekannten Über- und Untersättigungserscheinungen (Nährstoffe, Gashaushalt, gelöste organische Substanzen) nur relativ kurze Messungen durchgeführt werden können.

Andererseits lassen sich gerichtete Wasserbewegungen, wie sie besonders im Küstenbereich häufig vorkommen, nicht oder nur unzureichend in die Systeme übertragen. Für langfristige Untersuchungen wurde daher neben den geschlossenen Konstruktionen ein offenes Durchflußmeßsystem entwickelt.

Beschreibung der Meßsysteme

Die Entwicklung der Versuchseinrichtungen erfolgte im Rahmen des SFB 95¹⁾ zunächst für Untersuchungen zum Stoff- und Energieumsatz in Makrophytobenthosgemeinschaften der Ostsee. Als Hauptparameter werden zur Zeit Gaswechsel, Strahlung, anorganische Nährstoffe sowie gelöste organische Substanzen gemessen.

Je nach Untersuchungsobjekt und Fragestellung werden zwei Typen verwendet, nämlich geschlossene Systeme („Säcke“) oder offene Durchflußeinrichtungen („Tunnel“).

Für beide Typen hat sich besonders eine nahtlose Verbundfolie²⁾ aus Polyäthylen und Polyamid bewährt. Daten zur Gasdurchlässigkeit sind in Tab. 1 aufgeführt.

Tabelle 1
Durchlässigkeit*) von Plastikfolien für Gase
(cm³ m⁻² atm⁻¹ während 24 Stunden bei 23°C und 65% rel. F.)

Material	Verbundfolie 0.08 mm Polyäthylen/Polyamid	Zum Vergleich Polyäthylen
Durchlässigkeit für		
N ₂	10	950
O ₂	40	2000
CO ₂	150	15500

*) Werksangaben

Die spektrale Durchlässigkeit wurde mittels Interferenzlinienfilter ermittelt (Abb. 1).

Für kurz- bis mittelfristige Untersuchungen, das heißt über einige Stunden bis zu drei Tagen, werden geschlossene Systeme nach dem Glockenprinzip verwendet (Abb. 2). Es handelt sich dabei um zylindrische Säcke aus Verbundfolienschläuchen verschiedener Längen und Durchmesser (bisher bis zu 120 cm Ø, Volumen 5—1000 l),

¹⁾ Sonderforschungsbereich 95 an der Universität Kiel: Wechselwirkung Meer — Meeresboden.

²⁾ TRIKORON, Alkor-Oerlikon Plastic GmbH.

Tafel 1 (zu SCHRAMM)

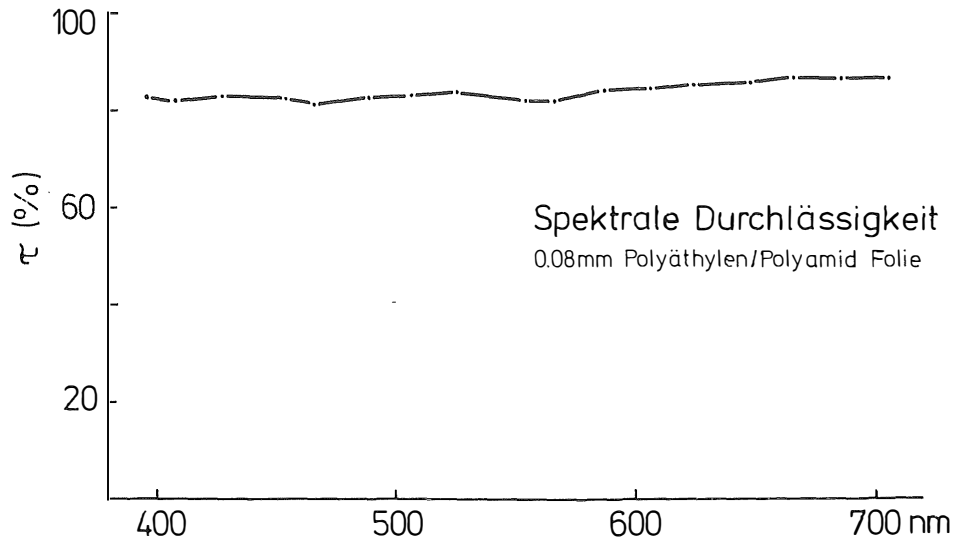


Abb. 1: Spektrale Strahlungsdurchlässigkeit für 0.08 mm Verbundfolie (Polyäthylen/Polyamid). Gemessen mit SCHOTT-IL-FILTER und HEWLETT-PACKARD Radiant Flux Meter.

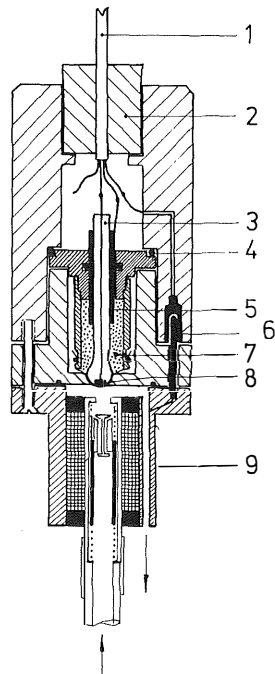


Abb. 2: Geschlossenes in situ-Meßsystem für Stoffwechselfmessungen an benthischen Gemeinschaften.

Tafel 2 (zu SCHRAMM)

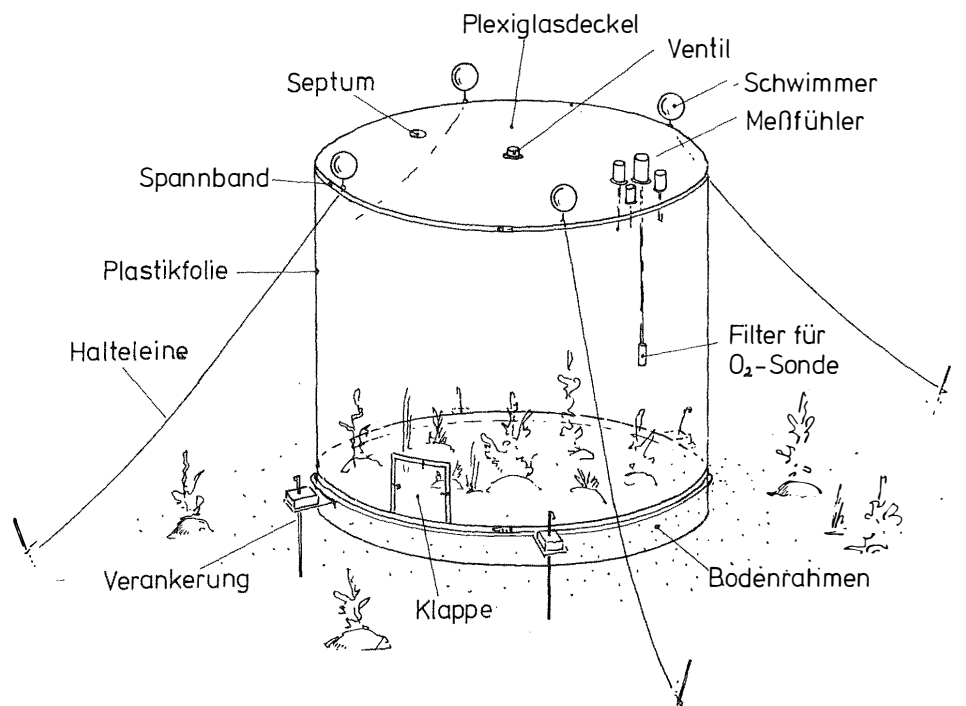


Abb. 3: Schema eines offenen in situ-Durchflußmeßsystems für Stoffwechselfmessungen an benthischen Gemeinschaften.

die mittels bleibeschwerter Eisenstangen am Boden verankert und durch Schwimmer aufrecht gehalten werden. An exponierten Versuchsorten können die Säcke durch seitwärts gespannte Gummistränge zusätzlich gesichert werden. Die Oberseite wird durch leicht konvexe Plastikdeckel (3 mm Stärke) verschlossen. Die konvexe Form erleichtert die gasblasenfreie Füllung der Säcke und erhöht die mechanische Festigkeit der Konstruktion. Die Dichtung erfolgt durch Profilmgummi und Spannbänder.

Für Untersuchungen im Licht werden transparente Folien und Plexiglas, für Dunkelmessungen undurchsichtiges Material verwendet.

Der untere Teil des Sackes wird aus einem offenen Ring (PVC bzw. eloxierte Aluminiumlegierung) gebildet, der auf Weichböden etwa 15–20 cm in das Sediment eingelassen werden kann. Auf steinigem oder felsigem Untergrund erfolgt die untere Abdichtung durch eine Gummischürze mit sandgefüllten Taschen.

Für besondere Messungen (z. B. Primärproduktionsuntersuchungen) kann die untere Seite des Sackes durch einen künstlichen Boden (PVC) abgedichtet werden.

Die Meßsonden werden durch verschließbare Öffnungen im Deckel oder im Bodenring geführt. Wasserproben können durch Schlifföffnungen oder Gummisepten im Deckel mittels Spritzen oder Unterwasserprobennehmer entnommen werden. Für die Entnahme sonstiger Proben (Sediment, Pflanzen etc.) ist in die seitliche Wandung des Sackes eine Klappe mit Gummidichtung eingeschweißt.

Bei dem offenen Durchflußsystem handelt es sich um eine tunnelartige Konstruktion aus Verbundfolie und eloxierter Aluminiumlegierung (Abb. 3). Durch diese werden mittels einer Unterwasserpumpe bis zu 1000 l Wasser pro Stunde gesaugt. Der Durchfluß wird über einen magnetisch-induktiven Durchflußmesser¹⁾ kontrolliert und gesteuert. Siebe und Lochplatten an der Eingangs- und Ausgangsseite sorgen für einen gleichmäßigen Wasserdurchsatz, was durch Farbttests geprüft wurde. Gleichzeitig wird eine Verstopfung des Systems durch treibende Algen etc. verhindert.

Wie bei den Plastiksäcken kann der Bodenrahmen ins Sediment eingelassen oder aber durch eine Platte abgedichtet werden. Ebenso erfolgt die Verankerung des Bodenrahmens mittels bleibeschwerter Eisenstangen, die ins Sediment getrieben werden. Auf Hartböden sind bisher noch keine Untersuchungen durchgeführt worden.

Die Länge des Durchflußsystems kann leicht durch Aneinanderfügen der 1 m langen Segmente verändert werden. Die lichte Weite der bisher verwendeten Tunnelkonstruktion beträgt 50×50 cm, kann jedoch ohne Schwierigkeiten an die jeweiligen Gegebenheiten (Bewuchshöhe, Umsatzaktivität der zu untersuchenden Gemeinschaften etc.) angepaßt werden.

Die zu untersuchenden Parameter werden am Ein- und Ausgang (O_2 , pH, Temperatur, Salzgehalt, chemische Parameter) oder im Innern (Strahlung, Temperatur) des Tunnels gemessen.

Während chemische Parameter (anorganische Nährstoffe, organische gelöste Substanzen) bei beiden Konstruktionen wie auch die biologischen Größen (Bakterienzahlen etc.) bisher in kurzen Zeitabständen als Einzelproben entnommen werden, lassen sich die übrigen Meßgrößen mittels Meßfühler kontinuierlich registrieren.

Die Signale werden über Mehrleiterkabel (bis 100 m Länge) zur Meßstation an Land übertragen.

¹⁾ ALTOMETER Slidrecht, Holland.

Für die pO_2 -Messungen wurde dazu eine O_2 -Sonde (Clark-Prinzip, konstruiert¹), die sich durch vergleichsweise geringe Drift, weitgehende Druckunabhängigkeit und leichte technische Handhabung auszeichnet.

An die Sondenkörper ist eine Pumpe nach dem Schwingankerprinzip angeschlossen, die für die nötige Turbulenz an der Elektrodenoberfläche sorgt und in den geschlossenen Systemen gleichzeitig die Durchmischung des Wasserkörpers unterstützt (Abb. 4).

Die Bestimmung des CO_2 -Gaswechsels erfolgt nach dem von BEYERS et al. (1963) angegebenen Verfahren. Für die hierzu notwendigen pH-Messungen haben sich bei den bisherigen Flachwasserexperimenten handelsübliche Einstabmeßketten als genügend stabil erwiesen. Die Signale müssen hierbei für die Übertragung allerdings vorverstärkt werden.

Für Messungen in größeren Tiefen sind Glaselektroden mit Keramikelektroden (BECKMANN LAZARAN, Typ 19033) als Referenz vorgesehen.

Für die Unterwasserstrahlungsmessungen wurden neben einem Quantameter nach JERLOV ein Bestahlungsmesser² (380—1000 nm) sowie selbstentwickelte Mehrfachkleinsonden (AHSBAHS, 1976) eingesetzt.

Praktische Erfahrungen und Anwendungsbeispiele

Die hier beschriebenen Meßeinrichtungen wurden erprobt und fortentwickelt in nunmehr zweijährigem Einsatz vor der deutschen und schwedischen Ostseeküste.

Dabei wurden bis zu sieben Meßeinheiten gleichzeitig in Betrieb genommen.

Die Installation und Handhabung durch Taucher erwies sich dabei auch unter ungünstigen Bedingungen als problemlos.

An flachen, exponierten Standorten begrenzen allerdings bei sehr starker Wasserbewegung Verankerung und mechanische Festigkeit der Folien den Einsatz.

Ein weiteres Problem ergibt sich aus dem Bakterien- und Kleinalgenbewuchs der Wandmaterialien. Dieses gilt jedoch hauptsächlich für die Langzeitmessungen im Durchflußsystem. Für die geschlossenen Systeme ergab der Vergleich der Bakterienzahlen im Wasser und vom Wandmaterial, daß der Wandbewuchs während der üblichen zwei- bis dreitägigen Meßperioden praktisch zu vernachlässigen ist.

Im Folgenden einige Anwendungs- und Meßbeispiele aus Einsätzen an der deutschen und schwedischen Ostseeküste.

Für die Untersuchung der Austauschvorgänge zwischen Sediment und Meerwasser wurde unter Verwendung der geschlossenen Meßeinrichtungen vor allem der Gaswechsel gemessen.

Abb. 5 zeigt als Beispiel die Aktivität des in diesem Fall schlickig-sandigen Sediments anhand des Sauerstoffgaswechsels.

Die Sauerstoffmessungen, die dabei zunächst als Registrierungen der pO_2 -Änderung vorliegen, können unter Berücksichtigung von Temperatur, Salzgehalt und barometrischem Druck als Änderung der O_2 -Konzentration (z.B. in % Luftsättigung) dargestellt werden.

¹) Die Sonden wurden von der Fa. Eschweiler, Kiel angefertigt.

²) Bau Dr. Haardt, Inst. für angewandte Physik, Universität Kiel.

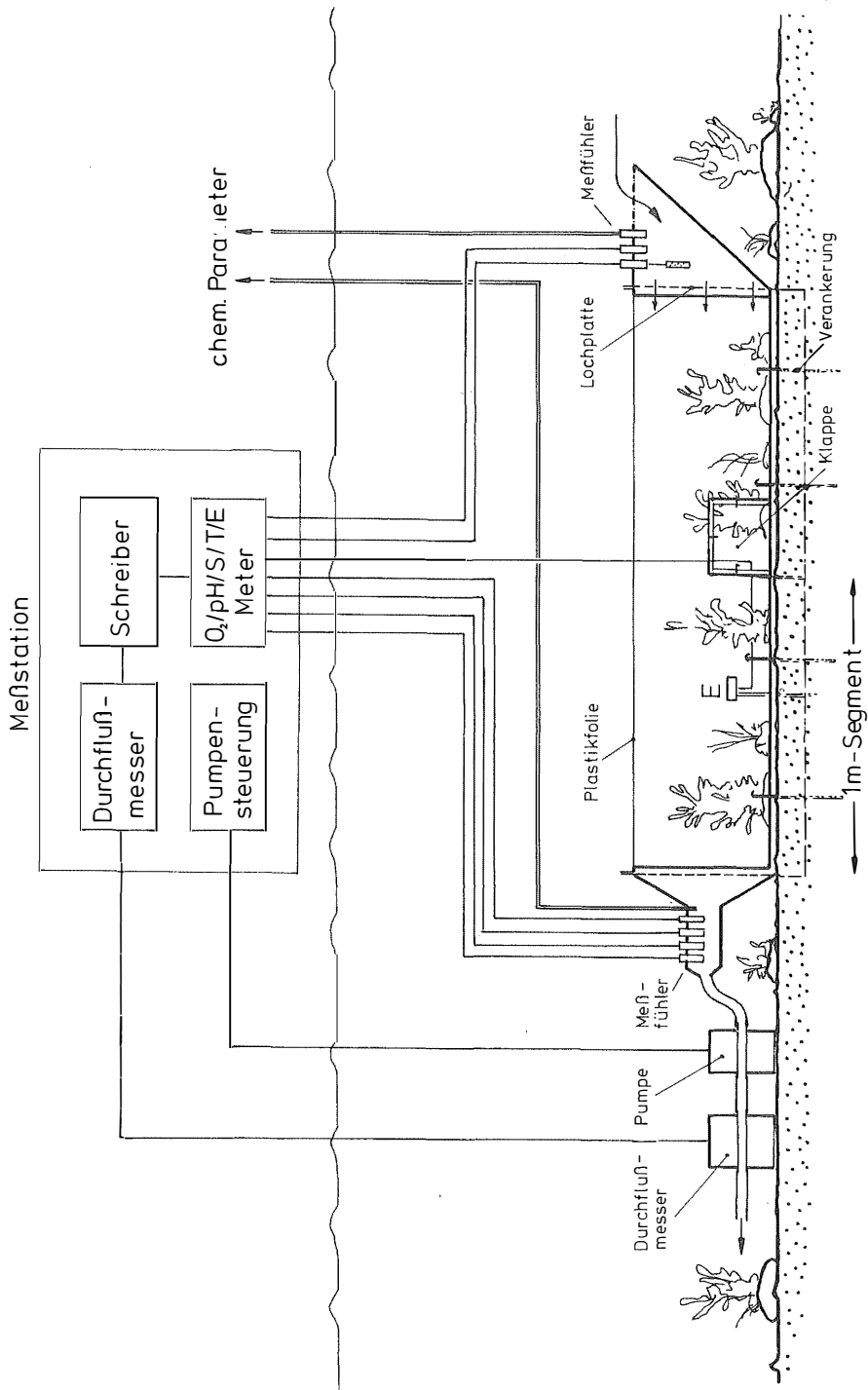


Abb. 4: Schnitt durch O_2 -Elektrode.
 (1) Mehrleiterkabel, (2) Quetschdichtung, (3) Elektrodenträger aus Glas, (4) O-Ringdichtung, (5) Silberanode, (6) Verbindungskontakte für Pumpe, (7) Elektrolyt, (8) Pt-Kathode, (9) Schwingankerpumpe.

Tafel 4 (zu SCHRAMM)

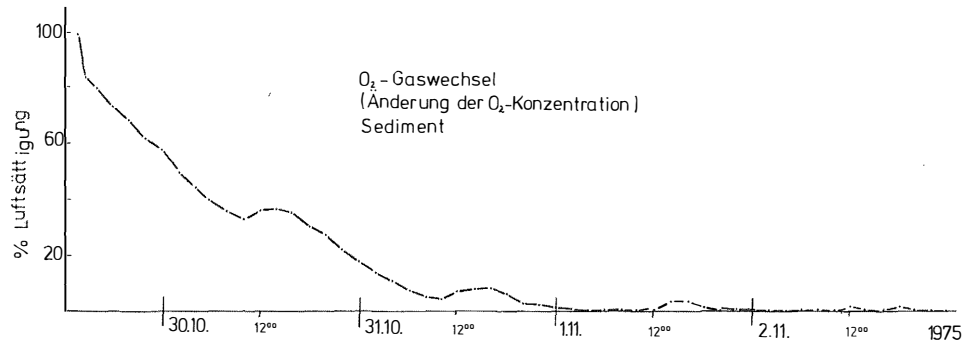


Abb. 5: O₂-Gaswechsel (als Änderung der O₂-Konzentration in % Luftsättigung) eines schlickig-sandigen Sedimentes in 2 m Tiefe. Olpenitz (Westliche Ostsee), Oktober/November, 1975.

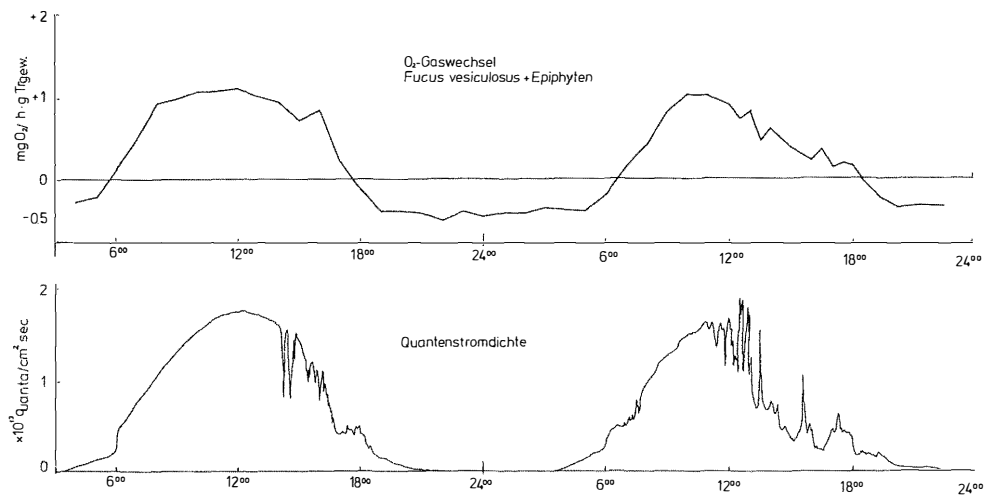
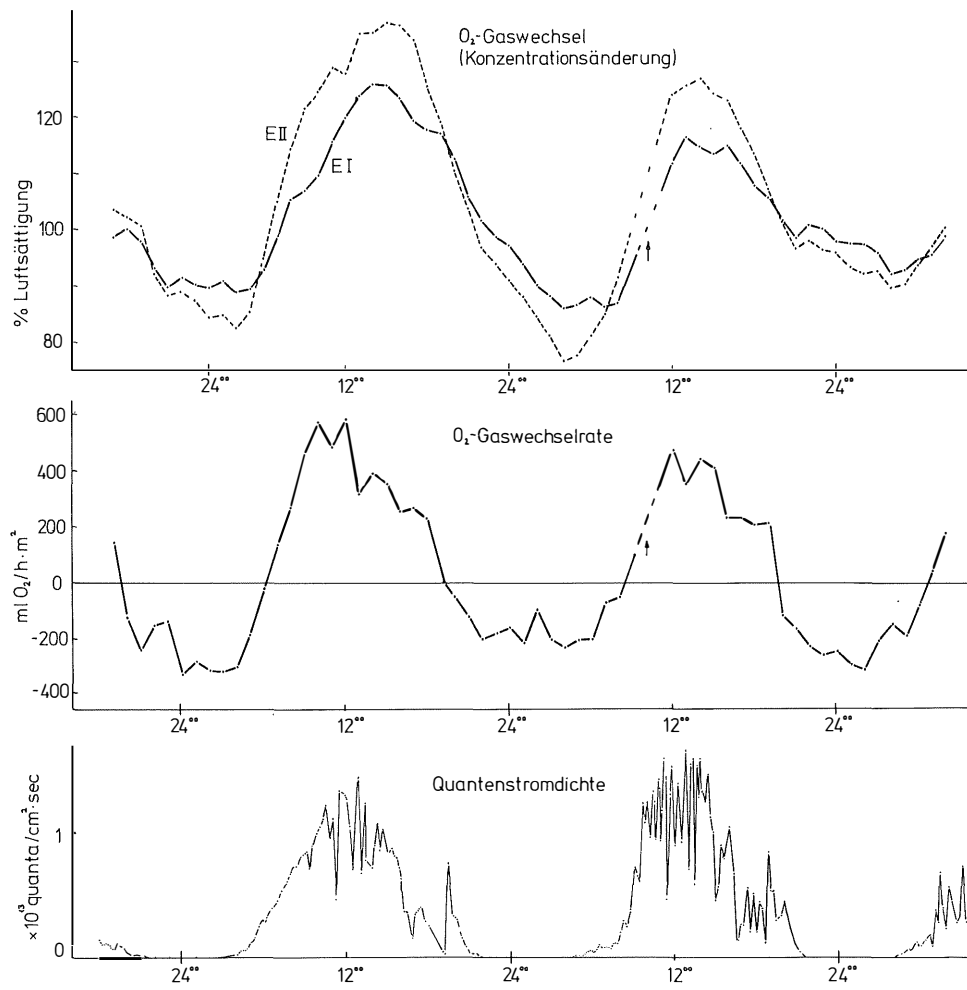


Abb. 6: O₂-Gaswechsel (als Gaswechselraten in mg O₂/h/g Trockengewicht der Algen) der Makroalgen mit Epiphyten aus einer *Fucus vesiculosus*-Gemeinschaft sowie die Quantenstromdichte. Geschlossenes System. Schwedische Küste. 1.3 m Tiefe. Juni, 1975.

Tafel 5 (zu SCHRAMM)



O₂-Gaswechsel einer *Fucus vesiculosus*-Gemeinschaft. Offenes Durchflußmeßsystem (Durchfluß 500 l/h). (a) O₂-Konzentrationsänderungen am Eingang (E I) und Ausgang (E II) des Systems. (b) O₂-Gaswechselraten, (c) Quantenstromdichte (Quantameter nach JERLOV) Kämpinge (Schweden). 1.2 m Tiefe. Juni, 1967. Zwischeneichung O₂-Elektroden.

Aus den Konzentrationsänderungen lassen sich Gaswechselraten errechnen, die zum Beispiel auf Flächen- oder Gewichtseinheiten bezogen werden können. Abb. 6 zeigt als Beispiel dafür den Sauerstoffwechsel (Nettoprimärproduktion, Atmung) der isolierten Makrophyten einer *Fucus*-Gemeinschaft.

Die Durchflußmeßsysteme werden vornehmlich für die längerfristige Untersuchung des Gesamtumsatzes natürlicher Benthosgemeinschaften eingesetzt.

Abb. 7 zeigt dazu als Beispiel Messungen aus einer *Fucus-Zostera*-Gemeinschaft in 1,5 m Tiefe vor der schwedischen Küste.

Der Stoffwechsel der eingeschlossenen Gemeinschaft ergibt sich aus der Differenz zwischen den Messungen am Eingang und Ausgang der Meßeinrichtung unter Berücksichtigung des Durchsatzes.

Die dargestellten Meßeinrichtungen sind bisher ausschließlich für die Untersuchung „unbelasteter“ Flachwassersysteme eingesetzt worden. Für die Weiterentwicklung ist vorgesehen, durch zusätzliche Automatisierung die Untersuchungen auch auf größere Tiefen auszudehnen.

Daneben soll besonders versucht werden, die Meßeinrichtungen für die Untersuchung der Wirkung umweltbelastender Faktoren auf benthische Systeme (etwa durch Zugabe von Schadstoffen etc.) einzusetzen.

Literaturverzeichnis

- AHSBAHS, P. (1975): Zur Messung des Mikrolichtklimas im marinen Phytal. Diplom-Arbeit, Universität Kiel.
- ANTIA, N. J., C. D. MC ALLISTER, T. R. PARSONS, K. STEPHENS and J. D. H. STRICKLAND (1963): Further measurements of primary production using a large volume plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.* **8**, 166—183.
- BEYERS, R. J. and H. T. ODUM (1959): The use of carbon dioxide to construct pH curves for the measurement of productivity. *Limnol. Oceanogr.* **4**, 499—502.
- v. BODUNGEN, B., K. v. BRÖCKEL, V. SMETACEK and B. ZEITZSCHEL (1976): The Plankton Tower. I. A structure to study water/sediment interactions in enclosed water columns. *Mar. Biol.* **34**, 369—372.
- GUST, G. (1976): Turbulence and waves inside submerged closed systems for biological studies with flexible walls. *Mar. Biol.* (im Druck).
- MC ALLISTER, C. D., T. R. PARSONS, K. STEPHENS and J. D. H. STRICKLAND (1961): Measurements of primary production in coastal seawater using a large plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.* **6**, 237—258.
- ODUM, H. T. (1956): Primary production in flowing waters. *Limnol. Oceanogr.* **1**, 103—117.

- PAMATMAT, M. M. (1971): Oxygen consumption by the seabed. IV. Shipboard and laboratory experiments. *Limnol. Oceanogr.* 16, 536—550.
- PARK, K., D. W. HOOD and H. T. ODUM (1958): Diurnal pH variation in Texas bays, and its application to primary production estimation. *Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas* 5, 47—64.
- STRICKLAND, J. D. H. and L. D. G. TERHUNE (1961): The study of in situ marine photosynthesis using a large plastic bag. *Limnol. Oceanogr.* 6, 93—96.
- VOLLENWEIDER, R. A. Ed. (1969): A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments. *IBP Handbook* 12, Blackwell, Oxford and Edinburgh 213 pp.