

die Lebewelt dieses, unserem Verständnis noch wenig zugänglichen Teils der Weltmeere hinreichend zu erfassen.

Wir sind uns der hervorragenden Beiträge bewußt, die die Bundesrepublik Deutschland, die UdSSR, Frankreich, Großbritannien, die Republik Südafrika, Japan, die USA, Norwegen und andere Länder in anderen Teilen der Welt geleistet haben, und wir ermutigen sie, die Erforschung des Indischen Ozeans zu organisieren und an ihr teilzunehmen.

Wir appellieren ebenfalls an die internationalen Organisationen einschließlich UNESCO, FAO und ICLARM, diesen Forschungsprojekten jede erdenkliche Unterstützung zu gewähren.

2. Empfehlung:

Die Wissenschaftler der Europäischen Ichthyologen-Union fordern für alle Länder Europas eine erhebliche Reduzierung der Regulierungsarbeiten an deren Flüssen, Bächen und übrigen Gewässern. Wenn technische Maßnahmen vorgesehen sind, muß die zuständige Behörde zunächst einen der Öffentlichkeit zugänglichen, wissenschaftlich und regional-ökologisch abgesicherten Nachweis für die Notwendigkeit eines solchen Eingriffs in ein Gewässer erbringen. Falls die Regulierung und/oder technische Veränderung eines Gewässers beschlossen wird, wird von den europäischen Ichthyologen eine enge Zusammenarbeit der Behörden mit kompetenten Gewässer-Ökologen oder Hydrobiologen mit guter Ortskenntnis vom frühesten Planungsstadium an gefordert, um ökologische Schäden der technischen Eingriffe an dem betroffenen Gewässer möglichst gering zu halten.

Der V. CEI 1985 wurde von der EUI nach Wien vergeben.

A. Post
Institut für Seefischerei
Hamburg

KÜSTENFISCHEREI

Sauerstoffmangel in der Deutschen Bucht und seine Wirkung auf Fische und Bodenfauna

Die Nordsee wird wegen ihrer guten Durchmischung allgemein als ein Gewässer betrachtet, in dem Sauerstoffmangel nicht oder nur lokal vorkommt. Dennoch sind schon für 1902 (GEHRKE, 1916) Befunde über Sauerstoffmangel unterhalb einer stabilen Sprungschicht bekannt und erst kürzlich (ANONYMUS, 1981) konnten ausgedehnte Gebiete mit sauerstoffarmem Wasser in der Deutschen Bucht festgestellt werden. In diesem Licht erlangen die Arbeiten von RACHOR (1980) besonderes Gewicht, der die innere Deutsche Bucht aufgrund der hydrographischen Situation und der Bodenbeschaffenheit (schlammig-schllickig) als ökologisch sensibles Gebiet bezeichnet, in dem als Reaktion auf Sauerstoffmangel bereits eine erhebliche Faunenverarmung registriert werden konnte (RACHOR, 1977).

-  1,0 - 1,9 ml/l
-  2,0 - 2,9 ml/l
-  3,0 - 3,9 ml/l
-  > 4,0 ml/l
- TV
- ▲ F

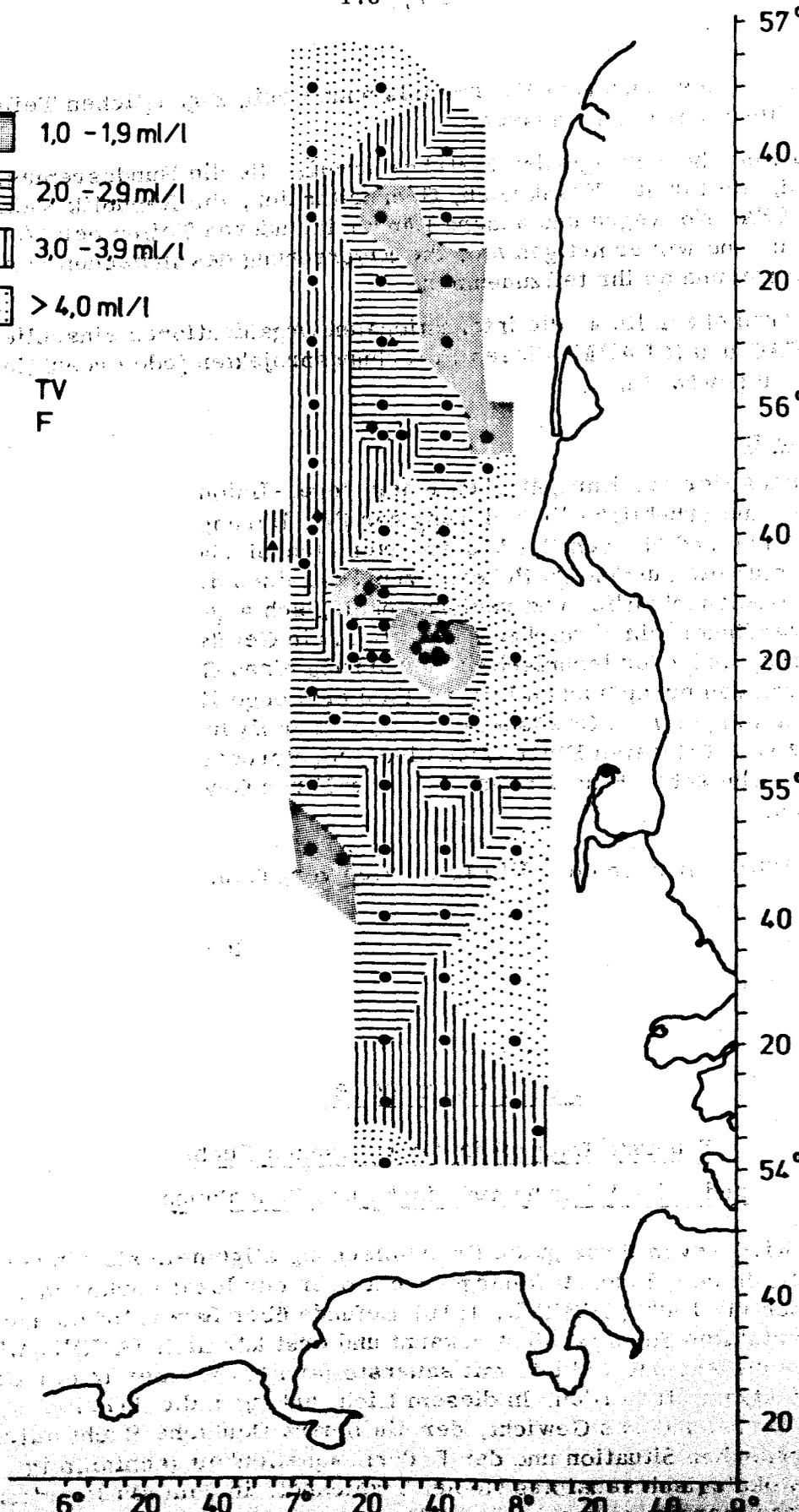


Abb. 1 Sauerstoffgehalt (ml/l) in bodennahen Wasser der Deutschen Bucht, vom 10.08. bis 15.08.1962. Sauerstoffbestimmung nach Winkler (TV = Feinsachen, F = Fl.)

Wegen des bereits 1980 und 1981 festgestellten ausgedehnten Sauerstoffmangels im Bodenwasser der Deutschen Bucht erscheint es nicht ausgeschlossen, daß sich Vorfälle, wie sie 1976 von der amerikanischen Ostküste beschrieben worden sind (SWANSON und SINDERMANN, 1979), mit Massensterben von Benthosorganismen in der Deutschen Bucht wiederholen könnten. Da die meteorologischen Gegebenheiten im Sommer 1982 die erneute Entwicklung einer Sauerstoffmangelsituation wahrscheinlich machten, sollte ihre Auswirkung auf Fische und Bodenfauna einer genaueren Untersuchung unterzogen werden.

Material und Methoden

Es wurden zwei Reisen, eine mit FFK "Solea" vom 10. 8. bis 18. 8. 1982, die zweite mit FK "Friedrich Heincke" vom 30. 8. bis 6. 9. 1982, unternommen. Der Stationsabstand betrug 5 bis 10 sm. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

Hydrographie:

- Temperatur (Sonde)
- Sauerstoff (Sonde Winkler)
- Salzgehalt (Sonde, Titration)
- pH-Wert

Fischerei:

- Schleppnetzfisherei mit Kabeljaugrundschleppnetz ("Solea") sowie Schollennetz ("Friedrich Heincke")

Unterwasserfernsehkamera:

- Unterwasserfernsehkamera mit Bildschirm und separater Fotokamera für Einzelbildaufnahmen

Die angegebenen Sauerstoffwerte beziehen sich auf Sondenwerte, falls nicht anders angegeben.

Ergebnisse

Reise FK "Solea" vom 10. 8. bis 18. 8. 1982

Hydrographie

Sauerstoffgehalte in bodennahem Wasser sind in Abbildung 1 dargestellt. In großen Bereichen des Untersuchungsgebietes wurden weniger als 2 ml/l Sauerstoff gemessen. Bodenwasser mit Sauerstoffgehalt nahe dem Sättigungsgrad fand sich fast ausschließlich auf den westlichen, also küstennahe gelegenen Stationen. In allen übrigen Gebieten war der O₂-Gehalt des bodennahen Wassers zumindest leicht reduziert.

Temperaturmessungen zeigten auf den Stationen mit O₂-reduziertem Bodenwasser das Vorhandensein einer deutlichen Sprungschicht, wie in Abbildung 2 dargestellt. Unterhalb der Sprungschicht nahm die Sauerstoffkonzentration bis auf weniger als 20 % der Sättigung ab.

Fische und Bodenfauna

Die Ergebnisse von Grundschleppnetzholts auf vier Fischereistationen sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Ergebnisse von Schleppnetzfangen mit FK "Solea" vom 10.8. bis 18.8.1982

	F 1	F 2	F 3	F 4
Position	55/23NO7/43E	55/22NO7/39E	56/10.2NO7/25E	55/36NO6/56E
Schleppdauer	33 Minuten	30 Minuten	60 Minuten	60 Minuten
O ₂ Winkler				
vorh.	1.77 ml/l	-	2.75 ml/l	-
" nachher	1.21 ml/l	1.49 ml/l	-	3.03 ml/l
Fanggewicht	5.0 kg	1.0 kg	900 kg	720 kg
Scholle	50/2 ex	-	657	432
Kliesche	17/2 ex	5	5132	2664
Steinbutt	1	-	-	-
Rotzunge	14	2	97	144
Seezunge	3	-	-	-
Zwergzunge	1	-	-	-
Hering	1	-	4865	-
Holzmakrele	1	-	-	18
Gr. Knurrhahn	14	1	49	144
Roter "	-	-	-	18
Leierfisch	21	3/2 ex	170	-
Steinpicker	1/5 ex	6 ex	-	-
Petermännchen	-	2	-	-
Kabeljau	-	-	146	-
Schellfisch	-	-	24	-
Wittling	-	-	146	-
Sprott	-	-	73	-

Auf Stationen F 1 und F 2 wurden nicht nur extrem niedrige Fänge erzielt (125 und 24 Fische), sondern in beiden Fängen befanden sich auch tote Fische, wie Steinpicker, Schollen und Klieschen. Die Farbe der Kiemen der auf diesen beiden Stationen gefangenen Plattfische war insgesamt blaß/violett. Die Festlegung, ob ein Fisch lebend oder tot gefangen wurde, ist außerordentlich schwierig, so daß Aussagen über Mortalitätsraten nicht gemacht werden sollen. Das optische Erscheinungsbild aller auf den Sauerstoffmangel-Stationen gefangenen Fische war jedoch sehr schlecht. Auf den Fischereistationen F 3 und F 4 wurden je 900 kg und 720 kg Fisch gefangen. Tote Tiere befanden sich nicht in diesen Fängen.

Nahe den Fischereistationen F 1 und F 2 wurde die Unterwasserfernsehkamera eingesetzt. Die an der Kamera befestigte Sauerstoffsonde zeigte einen konstanten Wert von 0.6 ml Sauerstoff/l (10.4 % Sättigung bei 14°C). Während der Beobachtungszeit driftete das Schiff eine Strecke von ca. 1000 m, und es konnten 98 tote Fische (Leierfisch, Steinpicker, Sandaal, Plattfische) identifiziert werden. Auf den während des Kameraeinsatzes gemachten Fotos war erkennbar, daß auch die Invertebratenfauna in Mitleidenschaft gezogen war. Es konnten eine Vielzahl von offenen, leeren Muschelschalen (*Venus striatula*), bezeichnend für kürzlich gestorbene Individuen (ROPES et al., 1979) und tote Schlangensterne ausgemacht werden. Viele Schlangensterne hatten eine typische Sauerstoffmangelhaltung eingenommen. Der Körper war vom Boden abgehoben, um die Sauerstoffversorgung zu verbessern. Diese Haltung konnte bei im Labor gehaltenen

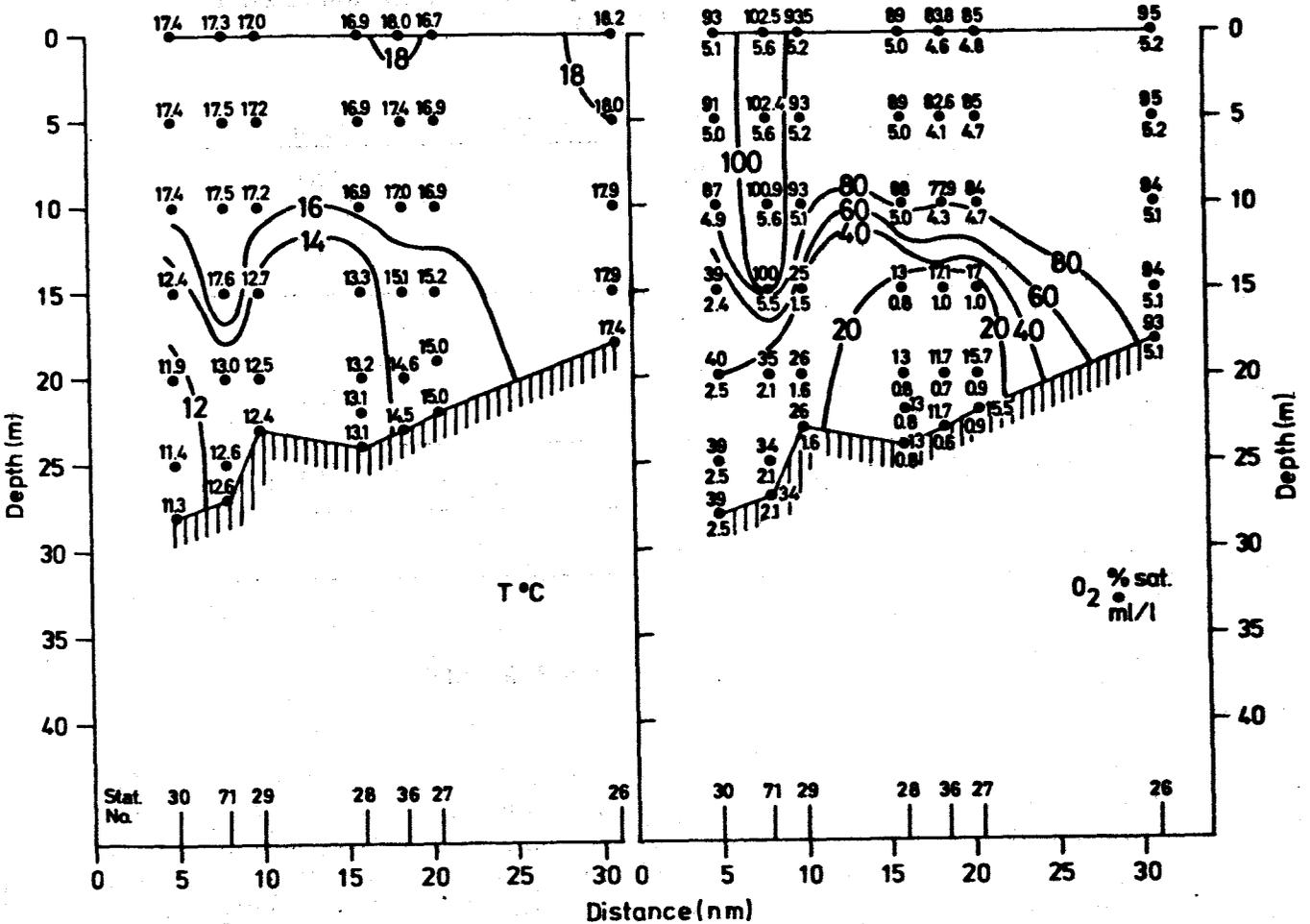


Abb. 2 Ost-West-Profil (Temperatur, Sauerstoffsättigung %) durch das Untersuchungsgebiet auf 55°20'N, Deutsche Bucht 10.08. bis 18.08.1982.

Tieren experimentell hervorgerufen werden, wenn die Sauerstoffsättigung 12 Stunden unter 23 % sank. Auf Stationen mit höheren Sauerstoffsättigungswerten in bodennahem Wasser wurden weder tote Muscheln noch tote Schlangensterne oder solche in Sauerstoffmangelhaltung beobachtet (TV 2, TV 3).

In Tabelle 2 ist die Anzahl der Schlangensterne in normaler Haltung, in Sauerstoffmangelstellung und die Zahl der Toten von je 40 ausgezählten Fotos wiedergegeben. Die Verteilung (χ^2 Test) dieser drei Kategorien auf Stationen mit Sauerstoffmangel (TV 1, TV 4) und mit geringerer Zehrung (TV 2, TV 3) zeigte signifikante Unterschiede.

Tabelle 2: Anzahl von Ophiura albida (O.) und Venus striatula (gallina) (V.), die auf Unterwasserfotos (pro Station 40 Aufnahmen) tot oder lebend registriert wurden. Die Unterschiede zwischen den Stationen sind hoch signifikant. (χ^2 Test)

Art	TV 1	TV 2	TV 3	TV 4
O. lebend	59	28	90	161
O. in O ₂ - Mangelhaltung	11	8	0	14
O. tot	11	0	0	7
V. lebend auf dem Substrat	1	0	0	5
V. tot klaffende Schale	79	1	0	81
O ₂ -Sättigung %	10.4	34.2	41.8	18.5
O ₂ ml/l	0.6	2.2	2.6	1.1

Reise FK "Friedrich Heincke" vom 31.8. bis 6.9.1982

Hydrographie

Vor Beginn der Fahrt hatte sich die Wetterlage geändert und seit ca. drei Wochen herrschte starker Nordwestwind. Dadurch war die Wassersäule gut durchmischt und die Sauerstoffsituation im gesamten Untersuchungsgebiet hatte sich erheblich verbessert. Die gemessenen Werte lagen nahe der Sättigung. Trotz dieser anhaltenden Starkwindlage wurde an der Position 56°10' N 06°25' O ein Gebiet gefunden, in dem eine deutlich thermische Schichtung vorhanden war. Die Sauerstoffwerte lagen hier bei 1.7 ml/l bei 10.4°C, entsprechend 26 % Sättigung. An diesen, wie auch an den von FK "Solea" gemessenen Stationen mit niedrigem Sauerstoffgehalt war der pH-Wert des Bodenwassers sehr niedrig. Er lag bei bis zu 7.7.

Fische und Bodenfauna

Durch die ungünstige Wetterlage konnte die Unterwasserfernsehkamera nicht wie geplant eingesetzt werden, und es liegen keine Informationen über den Zustand der Bodenfauna in diesem Gebiet vor. Die durchgeführte Fischerei gab keinen Aufschluß über den Zustand der Fische. Tote Fische befanden sich nicht im Fang

Diskussion

Aus Abbildung 1 wird deutlich, daß in dem von uns untersuchten Gebiet von 16500 km² 60 % weniger als 4 ml/l Sauerstoff in bodennahem Wasser aufwies, und daß in einem beträchtlichen Teil des Untersuchungsgebietes Sauerstoffgehalte von weniger als 2 ml O₂/l gefunden wurden. Diese Konzentration wird als kritische gelöste Sauerstoffmenge für die meisten höheren marinen Organismen

angesehen (SWANSON et al., 1979, für die 1976 aufgetretene Sauerstoffmangelsituation an der amerikanischen Ostküste).

Durch den Einsatz der Unterwasserfernsehanlage konnte nachgewiesen werden, daß es in der Deutschen Bucht zu einem erheblichen Muschelsterben gekommen ist. Das Ausmaß der Mortalität von Schlangensterne kann nur schwer abgeschätzt werden. Ophiura albida überlebt totalen Sauerstoffmangel bei 15°C etwa 1.5 Tage (THEEDE et al., 1969; DRIES und THEEDE, 1974). Wenn die Tiere abgestorben sind, zerfallen sie nach maximal 2 bis 3 Tagen (eigene Beobachtungen im Experiment). Das bedeutet, daß die von uns beobachteten toten Schlangensterne (TV 1 - 16 %, TV 4 - 9 %) vor maximal 3 Tagen gestorben sind. Bei einer angenommenen Dauer der Sauerstoffmangelsituation von 20 Tagen wäre ein nicht unbeträchtlicher Teil des Bestandes ausgelöscht.

Die extrem niedrigen Fänge, die auf den Sauerstoffmangelstationen getätigt wurden, zeigen - wie schon von AZAROVITZ et al. (1979) beschrieben -, daß die meisten Fische das sauerstoffarme Gebiet verlassen. Nur Exemplare weniger mobiler Arten, wie Steinpicker, Sandaal, Plattfische, fielen dem O₂-Mangel zum Opfer. Niedrige Fänge und tote Fische sowie totes Benthos wurden im Sommer 1981 von britischen Forschern vor der dänischen Küste erzielt, wobei allerdings keine O₂Messungen vorgenommen wurden (POPE und PORTMANN, 1982).

Das tatsächliche Ausmaß der O₂-bedingten Mortalitäten läßt sich aufgrund unserer Untersuchungen nur schwer abschätzen. Hierbei sollte auch berücksichtigt werden, daß es durch das Über-Bord-Geben von nicht verwendetem Beifang in der Fischerei zu erheblichen Mortalitäten von Fischen kommt, die nicht von O₂-bedingten Sterblichkeiten unterschieden werden könnten.

Das von uns beschriebene Phänomen der aufgetretenen Mortalitäten paßt gut in das von RACHOR (1977) entworfene Bild der inneren Deutschen Bucht und ihrer Artenverarmung aufgrund von Sauerstoffmangel. Ähnliches ist von ANDERSIN et al. (1978) für die tieferen Becken der Ostsee beschrieben worden und ist in regional begrenztem Rahmen im Limfjord zu beobachten (JØRGENSEN, 1980).

Wo sind nun die Ursachen für die katastrophale Entwicklung im Sauerstoffgehalt des Bodenwassers der Deutschen Bucht zu suchen? Vorausbedingung für eine derartige Entwicklung ist primär die meteorologische Situation, die durch anhaltendes ruhiges warmes Wetter die Bildung einer stabilen Sprungschicht begünstigt. Eine weitere Bedingung ist, daß genügend organische zehrbare Substanz vorhanden ist, um die Entwicklung eines Sauerstoffdefizits zu gewährleisten. Offensichtlich ist in der Deutschen Bucht beides der Fall gewesen und der Grad der sich entwickelnden Sauerstoffzehrung ging weit über das hinaus, was GEHRKE (1916) für einige begrenzte Areale in der Nordsee beschrieb. Hieraus muß auf verstärkte O₂-Zehrung am Boden geschlossen werden. Derartige Vorgänge wurden für andere Gebiete der südlichen Nordsee mit erhöhter Primärproduktion und dem Anstieg organischer Substanzen in Verbindung gebracht (JONGE und POSTMA, 1974; POSTMA, 1978).

Von 1962 bis 1980 hat sich die Phytoplanktonproduktion in der Deutschen Bucht gemessen an einer Dauerstation in der Nähe der Insel Helgoland vervierfacht (ANONYMUS, 1981). Werden diese pflanzlichen Plankter nicht völlig vom Zoo-

plankton aufgezehrt, sinken sie nach dem Absterben zu Boden und werden hier unter Sauerstoffverbrauch von Bakterien remineralisiert. Auf unseren Unterwasserfotos konnten in den Sauerstoffminimumgebieten große Mengen von Detritus (Indikation für O₂-zehrendes Material?) in den Sandrippeln beobachtet werden.

Der großflächig angetroffene O₂-Mangel macht deutlich, daß offensichtlich die Bemerkung von POSTMA (1973), daß der Sauerstoffgehalt der südlichen Nordsee auch durch zusätzliche organische Belastung nicht gefährdet ist, heute nicht mehr zutrifft. Das Auftreten von Sauerstoffmangelsituationen in den vergangenen drei Jahren, die Dauer dieser Erscheinungen (mehrere Wochen) und die Intensität (O₂-Gehalt nahe 1 ml/l) sowie den damit verbundenen Mortalitäten bei Fischen und Fischnährtieren macht deutlich, daß die Kapazität der Deutschen Bucht bezüglich der Aufnahme von sauerstoffzehrenden Substanzen überschritten ist.

Bei der Beurteilung der Tragweite der Problematik muß berücksichtigt werden, daß über die akuten, also letalen Wirkungen niedriger Sauerstoffgehalte hinaus, diese auch die Toxizität und Akkumulation von Schadstoffen verstärken. In der Nähe der tödlichen Sauerstoffwerte erniedrigen sich die Wirkschwellen von Schadstoffen aus fast allen Schadstoffgruppen erheblich.

Nicht nur auf die innere Deutsche Bucht, sondern auch auf weite deutsche und dänische Küstenbereiche treffen heute wichtige Beurteilungskriterien für empfindliche Meeresgebiete zu (periodischer O₂-Mangel).

Soll die Deutsche Bucht als halbwegs intaktes Ökosystem überleben, muß unbedingt darauf hingearbeitet werden, die Einleitung großer Mengen anthropogener Schadstoffe in dieses Meeresgebiet umgehend zu reduzieren.

Zitierte Literatur:

- ANDERSIN, A.-B.; LASSIG, J.; PARKKONEN, L.; SANDLER, H.: The decline of macrofauna in the deeper parts of the Baltic proper and the Gulf of Finland. *Kieler Meeresforsch. (Sonderh. 4)*: 23 - 52, 1978
- ANONYMUS: Jahresbericht 1980. *Biol. Anst. Helgoland*: 57 - 58, 1981
- AZAROVITZ, T.R.; BYRNE, C.J.; SILVERMAN, M.J.; FREEMAN, B.L.; SMITH, W.C.; TURNER, S.C.; HALGREN, B.A.; FESTA, P.J.: Effects on fish and lobster. In SWANSON, R.L.; SINDERMANN, C.J. (eds): Oxygen depletion and associated benthic mortalities in New York Bight. 1976 NOAA Prof. Pap. 11: 295 - 314, 1979
- DRIES, R.-R.; THEEDE, H.: Sauerstoffmangelresistenz mariner Bodenevertebraten aus der westlichen Ostsee. *Mar. Biol.* 25: 327 - 333, 1974
- GEHRKE, J.: Über die Sauerstoffverhältnisse der Nordsee. *Ann. Hydrogr. marit. Meteorol.* 44: 177 - 193, 1916
- JONGE, V.N. de; POSTMA, H.: Phosphorous compounds in the Dutch Wadden Sea. *Netherland J. Sea Res.* 8: 139 - 153, 1974
- JØRGENSEN, B.B.: Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish Fjord, and its effects on the benthic community. *Oikos* 34: 68 - 76, 1980
- POPE, J.G.; PORTMANN, J.E.: Unusually low fish catches west of Jutland - September 1981. *Coun. Meet. ICES, E 12*, 1982

- POSTMA, H.: Transport and budget of organic matter in the North Sea. In GOLDBERG, D. (ed.): North Sea, science. MIT Press, London: 326 - 334, 1973
- POSTMA, H.: The nutrient contents of North Sea water: changes in recent years particularly in the Southern Bight. Rapp. P. -v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer 172: 350 - 357, 1978
- RACHOR, E.: Faunenverarmung in einem Schlickgebiet in der Nähe Helgolands. Helgoländer wiss. Meeresunters. 30: 633 - 657, 1977
- RACHOR, E.: The inner German Bight - an ecological sensitive area as indicated by the bottom fauna. Helgoländer Meeresunters. 33: 522 - 530, 1980
- ROPES, J.W.; MERRILL, A.S.; MURAWSKI, S.A.; CHANG, S.; MACKENZIE, C.L.: Impact on clams and scallops. Part 1. Field survey assessments. In SWANSON, R.L.; SINDERMAN, C.J. (eds): Oxygen depletion and associated benthic mortalities in New York Bight, 1976 NOAA Prof. Pap. 11: 263 - 275, 1979
- SWANSON, R.L.; SINDERMAN, C.J.; HAN, G.: Oxygen depletion and the future: an evaluation. In SWANSON, R.L.; SINDERMAN, C.J. (eds): Oxygen depletion and associated benthic mortalities in New York Bight. 1976 NOAA Prof. Pap. 11: 1 - 345, 1979
- THEEDE, H.; PONAT, A.; HIROKI, K.; SCHLIEPER, C.: Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulphide. Mar. Biol. 2: 325 - 337, 1969

Volkert Dethlefsen
Bundesforschungsanstalt für Fischerei
Institut für Küsten- und Binnenfischerei
Toxikologisches Laboratorium Cuxhaven

Hein von Westernhagen
Biologische Anstalt Helgoland
Hamburg