

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

Volkert Dethlefsen und Hein von Westernhagen, 1982

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 (Anonymous 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-schlickig) als ökologisch sensibles Gebiet bezeichnet, indem als Reaktion auf Sauerstoffmangel bereits eine erhebliche Faunenverarmung registriert werden konnte (Rachor 1977). Wegen des bereits 1980 und 1981 festgestellten ausgedehnten Sauerstoffmangel im Bodenwasser der Deutschen Bucht erscheint es nicht ausgeschlossen, dass sich Vorfälle, wie sie 1976 vor der amerikanischen Ostküste beschrieben worden sind (Swanson und Sindermann 1979), mit Massensterben von Benthosorganismen in der Deutschen Bucht wiederholen konnten. 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 FK „Solea“ vom 10.08. bis 18.08.1982, die zweite mit FK „Friedrich Heincke“ vom 30.08. bis 06.09.1982, unternommen. Der Stationsabstand betrug fünf bis zehn Seemeilen. Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- Hydrographie: - Temperatur (Sonde)
- Sauerstoff (Sonde Winkler)
- Salzgehalt (Sonde, Titration)
- pH-Wert
- Fischerei: - Schleppnetzfisherei mit
Kabeljaugrundsleppnetz („Solea“)
sowie Schollennetz („Friedrich Heincke“)
- Unterwasserfernseh-
kamera: - Unterwasserfernsehkamera mit
Bildschirm und separater Fotokamera
für Einzelaufnahmen

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

Ergebnisse

Reise FK „Solea“ vom 10.08. bis 18.08.1982

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 küstennah gelegenen Stationen. In allen übrigen Gebieten war der Sauerstoffgehalt des bodennahen Wassers zumindest leicht reduziert.

Temperaturmessungen zeigten auf den Stationen mit sauerstoffreduziertem 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 Grundschieppnetzholts auf vier Fischereistationen sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Auf Stationen F1 und F2 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 Sauerstoffmangelstationen gefangenen Fische war jedoch sehr schlecht. Auf den Fischereistationen F3 und F4 wurden je 900 kg bzw. 720 kg Fische gefangen. Tote Tiere befanden sich nicht in diesen Fängen.

Nahe den Fischereistationen F1 und F2 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 (Leierfische, Steinpicker, Sandaal, Plattfische) identifiziert werden. Auf den während des Kameraeinsatzes gemachten Fotos war erkennbar, dass auch die Invertebratenfauna in Mitleidenschaft gezogen war. Es konnte 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 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 (TV2, TV3). In Tabelle 2 ist die Anzahl der Schlangensterne in normaler Haltung, in Sauerstoffmangelstellung und die Zahl der Toten von je 40 aufgezählten Fotos wiedergegeben. Die Verteilung (chi-square-Test) dieser drei Kategorien auf Stationen mit Sauerstoffmangel (TV1, TV4) und mit geringerer Zehrung (TV2, TV3) zeigte signifikante Unterschiede.

Reise FK „Friedrich Heincke“ vom 31.08. bis 06.09.1982

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'E ein Gebiet gefunden, in dem eine deutlich thermische Schichtung vorhanden war. Die Sauerstoffwerte lagen hier bei 1,7 ml/l bei 14,4°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 16 500 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 ½ Tage (Theede et al. 1969, Dries und Theede 1974). Wenn die Tiere abgestorben sind, zerfallen sie nach maximal zwei bis drei Tagen (eigene Beobachtungen im Experiment). Das bedeutet, dass die von uns beobachteten toten Schlangensterne (TV1 16 %, TV4 9 %) vor maximal drei 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 Sauerstoffmangel 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 Sauerstoffmessungen vorgenommen wurden (Pope und Portmann 1982).

Das tatsächliche Ausmaß der sauerstoffbedingten Mortalitäten lässt sich aufgrund unserer Untersuchungen nur schwer abschätzen. Hierbei sollte auch berücksichtigt werden, dass es durch das Überbordgeben von nicht verwendetem Beifang in der Fischerei zu erheblichen Mortalitäten von Fischen kommt, die nicht von sauerstoffbedingten Sterblichkeiten unterschieden werden konnten.

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 (Jorgensen 1980).

Wo sind die Ursachen für die katastrophale Entwicklung im Sauerstoffgehalt des Bodenwassers der deutschen Bucht zu suchen? Voraussetzung 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 Sauerstoffzehrung 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 (Anonymous 1981). Werden diese pflanzlichen Plankter nicht völlig vom Zooplankton 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 sauerstoffzehrendes Material?) in den Sandrippeln beobachtet werden. Der großflächig angetroffene Sauerstoffmangel 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 (Sauerstoffgehalt 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 Sauerstoffmangel).

Soll die Deutsche Bucht als halbwegs intaktes Ökosystem überleben, muss jeder verantwortlich Denkende darauf hinarbeiten, die Einleitung großer Mengen anthropogener Schadstoffe in dieses Meeresgebiet umgehend zu reduzieren.

Literatur

Andersin, A.-B., Lassig, J., Parkkonen, L., Sandler, H. 1978. The decline of macrofauna in the deeper parts of the Baltic proper and the Gulf of Finland. – Kieler Meeresforsch. Sondern. 4: 23-52

Anonymous 1981. Jahresbericht 1980. Biologische Anstalt Helgoland. – Biol. Anst. Helgoland Hamburg 24: 57-58

Azarovitz, T.R., Byrne, C.J., Silverman, M., Freeman, B.L., Smith, W.C., Turner, S.C., Halgre, P.A., Festa, P.J. 1979. Effects on fish and lobster. In: Oxygen depletion and associated benthic mortalities in New York Bight, 1976. Swanson, R.L. and C.J. Sindermann (eds.) NoAA Prof. Pap. 11: 295-314

Dries, R.-R., Theede, H. 1974. Sauerstoffmangelresistenz mariner Bodenevertebraten aus der westlichen Ostsee. – Mar. Biol. 25: 327-333

Gehrke, J. 1916. Über die Sauerstoffverhältnisse der Nordsee. – Ann. Hydrogr. marit. Meteorol. 44: 177-193

Jonge, V.N. de, Postma, H. 1974. Phosphorous compounds in the Dutch Wadden Sea. – Netherland J. Sea Res. 8: 139-153

Jorgensen, B.B. 1980. Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish Fjord, and its effects on the benthic community. – Oikos 34: 68-76

Pope, J.J., Portmann, J.E. 1982. Unusually low fish catches west of Jutland – September 1981. – ICES C.M.1982/E:12

Postma, H. 1973. Transport and budget of organic matter in the North Sea. In: D. Goldberg (ed.): North Sea, Science. – MIT Press, London, 326-334

Postma, H. 1978. 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

Rachor, E. 1977. Faunenverarmung in einem Schlickgebiet in der Nähe Helgolands. – Helgoländer wiss. Meeresunters. 30: 633-657

- Rachor, E. 1980. The inner German Bight – an ecological sensitive area as indicated by the bottom fauna. – *Helgoländer Meeresunters.* 33: 522-530
- Ropes, J.W., Merrill, A.S., Murawski, S.A., Chang, S., Mackenzie, C.L. 1979. Impact on clams and scallops. Part 1. Field survey assessments. In: R.L. Swanson, C.J. Sindermann (eds.): *Oxygen depletion and associated benthic mortalities in New York Bight, 1976.* – NOAA Prof. Pap. 11: 263-275
- Swanson, R.L., Sindermann, C.J., Han, G. 1979. Oxygen depletion and the future: an evaluation. In: Swanson, R.L., C.J. Sinderman (eds.): *Oxygen depletion and associated benthic mortalities in New York Bight, 1976.* – NOAA Prof. Pap. 11: 1-345
- Theede, H., Ponat, A., Hiroki, K., Schlieper, C. 1969. Studies on the resistance of marine bottom invertebrates to oxygen-deficiency and hydrogen sulphide. – *Mar. Biol.* 2: 325-337