

Faunenverarmung in einem Schlickgebiet in der Nähe Helgolands

E. RACHOR

*Institut für Meeresforschung Bremerhaven;
Bremerhaven, Bundesrepublik Deutschland*

ABSTRACT: Faunal impoverishment in a mud area near Helgoland. Variations in abundance and species composition of macro-zoobenthos were studied at a sublittoral muddy-bottom station in the inner part of the German Bight from 1969 to 1976. The fauna of this area can be included in the classical *Abra alba* community. A total of 98 species were found in 62 samples. Of these, only 4 species occurred in all samples: *Nucula nitidosa*, *Diastylis rathkei*, *Ophiura texturata* and *Nephtys hombergii*. Species richness has declined since 1969. Populations of several species disappeared in the investigated area and its surroundings. Other populations are shown to exhibit remarkable fluctuations in abundance with sometimes heavy spatfalls or sudden breakdowns in population density, mainly during late summer. The long-term trend of impoverishment of the fauna is attributed to the development of anaerobic conditions in the muddy sediment. Such conditions are favoured by stable, thermohaline stratifications of the water during summer, resulting in low oxygen levels and, probably, enrichment of hydrogen sulfide even in near-bottom water. Moreover, both continuous influx into the area of Elbe water, rich in suspended matter and nutrients and dumping of sewage sludge about 8 km east of the investigated area are considered to have increased the stress on the bottom fauna.

EINLEITUNG

Allein langfristig konzipierte, kontinuierliche Bestandserhebungen erlauben sichere Aussagen über längerdauernde Veränderungen in den Assoziationsstrukturen des marinen Benthos sowie über Trends in der Entwicklung von Populationen. Sie befreien von Zufälligkeiten, mit denen bei kurzfristig konzipierten Forschungen grundsätzlich zu rechnen ist.

In der Deutschen Bucht hat eine 25jährige Probenserie (1950–1974) von Ziegelmeier bisher sehr aufschlußreiche Ergebnisse über die Beeinträchtigung des Makrobenthos im Sublitoral vor der nordfriesischen Küste durch extrem kalte Winterperioden erbracht und zudem neue Einblicke in die Fragen der Wiederbesiedlung und der gegenseitigen Beeinflussung verschiedener Bodentiere gewährt (Ziegelmeier, 1963, 1964, 1970). Vom Institut für Meeresforschung in Bremerhaven werden die Bodentierbestände des Sublitorals der Deutschen Bucht seit 1966 untersucht, wobei zunächst von Stripp (1969a–c) eine detaillierte Beschreibung der Assoziationen im inneren Teil der Bucht erstellt wurde. Seit 1969 werden von uns an einigen Dauerstationen regelmäßig

Makrobenthos-Proben gesammelt, die u. a. Ergebnisse über die Beeinträchtigung von Benthospopulationen durch sturmbedingte Bodenerosion (Rachor & Gerlach, im Druck), über Produktionsleistungen einzelner Populationen (Klein et al., 1975; Rachor, 1976), über die Variationen von Muschelpopulationen (Rachor & Salzwedel, 1976) und über die Auswirkungen von Abwässern aus der Titandioxidproduktion (Rachor & Dethlefsen, 1974) erbrachten.

In einer Studie über Populationsdynamik und Produktivität der Muschel *Nucula nitidosa* Winckworth, 1930, (syn. *N. nitida* Sowerby, 1833, syn. *N. turgida* Leckenby & Marshall, 1875) aus dem Schlickgebiet südöstlich von Helgoland wurde darauf hingewiesen (Rachor, 1976), daß diese Population unter sub-optimalen Bedingungen lebt, was insbesondere im reduzierten Wachstum, im Rückgang der Siedlungsdichte und in einer Abnahme der Produktionsrate zum Ausdruck kommt. Die vorliegende Arbeit beschreibt den allgemeinen Rückgang des Makrobenthos am gleichen Ort und diskutiert diesen Sachverhalt insbesondere im Zusammenhang mit der sommerlichen Belastung des Milieus und den möglichen Auswirkungen von Klärschlammverklappungen in der Nähe des Untersuchungsgebietes.

UNTERSUCHUNGSGEBIET, MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchungsstation (Abb. 1) liegt in der Schlickregion südöstlich von Helgoland im Zentralgebiet der *Abra-alba*-Gemeinschaft (sensu Stripp, 1969b). Die Probenahme erfolgte in der Regel mit Bodengreifern nach van Veen, in Einzelfällen mit Kastengreifern nach Reineck (Tab. 1); weitere Einzelheiten über Probenahme und Probenbearbeitung sind in der Arbeit von Rachor (1976) mitgeteilt worden. Daten über die Station sind dort ebenfalls gegeben, so daß hier nur das Wesentliche zusammengefaßt und durch einige zusätzliche Angaben über die Hydrographie ergänzt wird:

Stationsort: 54°03' N und 08°05' E. Der Ort liegt etwa 8 bis 9 km westlich vom Verklappungsgebiet für Hamburger Klärschlämme.

Wassertiefe: 23 m. Im Bereich der Station steigt das Bodenprofil schwach von W nach E an.

Sediment: Feinsandiger Schlick (toniger Schluff mit Feinsandbeimengungen, vgl. Gadow, 1968). Dieses feine Sediment ist reich an organischem Detritus und schlecht durchlüftet. In der Regel findet man einen oxydierten Oberflächenbereich von 1 bis 20 mm Schichtdicke deutlich abgesetzt vom schwärzlich gefärbten, reduzierten Tiefenbereich. Der reduzierte Tiefenbereich fällt durch seinen unangenehmen, H₂S-dominierten Gestank auf. Gelegentlich wurden Einlagerungen und auch Überschichtungen durch Feinsand festgestellt, insbesondere nach den Wintern 1973/74 und 1975/76. Dieses kann durch Sedimentzufuhr nach sturmbedingten Erosionen im wattennahen Küstenbereich erklärt werden (Reineck, 1963, 1968).

Hydrographie: Eine allgemeine, zusammenfassende Beschreibung der Verhältnisse in der Deutschen Bucht ist von Goedecke (1968) gegeben worden. Das hier interessierende Untersuchungsgebiet vor den Flußmündungen von Elbe und Weser hat Lüneburg (1963) beschrieben. Danach liegt das Untersuchungsgebiet im Bereich der Konvergenzzone, des Mischungsgebietes von salzreichem, westlichem und nordwest-

lichem Nordseewasser und salzarmem, spezifisch leichterem Küstenwasser, das wesentlich von den Zuflüssen aus Elbe und Weser geprägt wird. Wichtig für ökologische Aussagen ist u. a. der Tatbestand, daß es im Bereich der Konvergenzzone regelmäßig zu einer ausgesprochenen thermohalinen Schichtung kommt, wobei in den Monaten April bis Juli maximale thermische Schichtungen auftreten. Die Konvergenzzone ist zudem ein Gebiet sehr hoher Nährstoffanreicherung, Planktonproduktion und auch Planktonzersetzung. Nach Goedecke kann diese Zone wegen der hohen Photosyntheserate auch durch hohe Sauerstoffwerte im Wasser gekennzeichnet werden (Übersättigung); das O₂-Überschußgebiet kann bis zum Boden reichen. Goedecke (1968), Lüneburg (1963) und Reineck (1963, 1967) stimmen darin überein, daß als eine Erklärung der schllickigen Sedimentbeschaffenheit das Ausfallen von Flußtrübe aus Elbe und Weser im Bereich der Konvergenzzone vor den Flußmündungen anzunehmen ist.

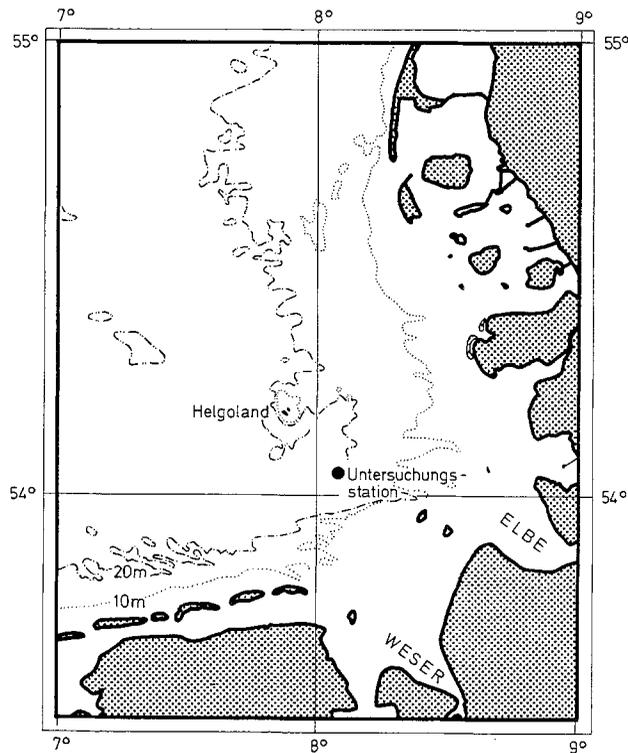


Abb. 1: Lage der Untersuchungsstation in der Deutschen Bucht

ERGEBNISSE

In den Jahren 1969 bis 1976 wurden an insgesamt 62 Terminen Proben an der Schlickstation genommen; dabei wurden 98 Arten gefunden. 32 Arten sind in mehr als 10 % der Proben vorhanden. Eine Auswahl von Ergebnissen der Aufsammlungen ist in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1

Sommerliche und spätsommerliche Abundanzwerte (Individuen pro m²) der häufigeren Makrobenthos-Arten an der Untersuchungsstation im Zeitraum 1969 bis 1976. Die Zahlen von Juli 1966 sind der Arbeit von Stripp (1969b, Tab. 15) entnommen. In den Jahren 1973–1974 wurden nur wenige Proben genommen, so daß die Tabelle hier Lücken aufweist; zum besseren Vergleich ist die Januar-Probe von 1974 aufgenommen worden. Zur Dokumentation der besonders auffälligen Befunde von 1976 sind die Werte für die vier Monate April, Juni, August und September aufgeführt. Es wurde Wert darauf gelegt, nur vergleichbare Proben aufzuführen.

Proben-Nr.	(71)	19	26	86	98	
Datum	F (%)	4 Juli 1966	8 Aug. 1969	14 Sept. 1969	6 Aug. 1970	6 Okt. 1970
Greifer-Typ		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Greifer-Anzahl		2	5	5	5	5
<i>Nucula nitidosa</i> Winckworth	100,0	365	872	694	712	460
<i>Diastylis rathkei</i> (Kröyer)	98,4	500	58	48	80	36
<i>Ophiura texturata</i> Lamarck	100,0	—	222	22	26	24
<i>Nephtys hombergii</i> Savigny	100,0	75	94	110	84	48
<i>Mysella bidentata</i> Montagu	79,0	15	18	4	14	14
<i>Abra alba</i> (Wood)	77,4	10	270	138	78	6
<i>Echiurus echiurus</i> (Pallas)	66,1	10	354	274	150	68
<i>Harmothoe sarsi sarsi</i> (Kinberg)	64,5	—	104	132	114	56
<i>Pholoe minuta</i> (Fabricius)	61,3	—	2	18	6	18
<i>Phoronis spec.</i>	56,5	—	6	2	—	54
<i>Ophiura albida</i> Forbes	ca. 54	5	2	36	2	—
<i>Anaitides groenlandica</i> (Oersted)	48,4	5	—	—	—	—
<i>Gattyana cirrosa</i> (Pallas)	45,2	10	46	26	20	2
<i>Abra nitida</i> (O. F. Müller)	41,9	5	250	214	—	—
<i>Crangon crangon</i> (Linné)	35,5	—	4	—	—	—
<i>Scalibregma inflatum</i> Rathke	32,3	5	602	436	556	—
<i>Polydora ciliata</i> (Johnston)	22,6	—	30	50	14	88
<i>Pectinaria koreni</i> Malmgren	19,4	10	16	10	4	—
<i>Scoloplos armiger</i> (O. F. Müller)	19,4	—	18	18	—	—
<i>Nereis virens</i> Sars	17,7	—	—	—	—	—
<i>Ampelisca brevicornis</i> Da Costa	17,7	—	—	—	2	—
<i>Ophelina acuminata</i> Oersted	16,1	—	8	16	—	—
<i>Goniada maculata</i> Oersted	16,1	5	—	2	—	—
<i>Eteone longa</i> (Fabricius)	14,5	—	—	—	—	—
<i>Ampharete acutifrons</i> (Grube)	14,5	—	6	—	—	—
<i>Owenia fusiformis</i> Delle Chiaje	12,9	—	14	2	—	6
<i>Capitomastus minimus</i> (Langerhans)	12,9	—	—	—	2	—
<i>Lanice conchilega</i> (Pallas)	11,3	—	16	6	—	—
<i>Spiophanes bombyx</i> (Claparède)	11,3	—	74	66	—	—
<i>Tellina fabula</i> Gmelin	11,3	—	2	—	—	—
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède)	11,3	—	—	—	—	4
<i>Diastylis bradyi</i> Norman	11,3	—	—	—	—	—
Individuenzahl der selteneren Arten	(≤ 10)	35	128	142	4	14
Gesamt-Individuenzahl		1060	3216	2466	1868	898
Anzahl der selteneren Arten		3	8	7	2	5
Gesamt-Artenzahl		16	32	29	18	19
Reduzierte Artenzahl		(16)	27	25	13	14
Diversität (H')		2,04	3,40	3,45	2,54	2,63

Tabelle 1

ren (in der Regel 5 van-Veen-Greifer von 0,1 m² Fläche; lediglich im Juni 1975 sind Werte von kleinen Reineck-Kastengreifern mit 1/60 m² Fläche angegeben). F = Häufigkeit, bezogen auf die Gesamtheit aller 62 Proben; 0,1 = van-Veen-Greifer von 0,1 m² Fläche; KG = kleiner Reineck-Kastengreifer. In den Zahlenwerten von *Ophiura texturata* sind sämtliche nicht identifizierbaren Jungtiere der Gattung *Ophiura* enthalten. (Aus Platzgründen kann die Gesamtheit der Daten aller 62 Proben an dieser Stelle nicht wiedergegeben werden; die Zahlen sind in Tabellen zusammengestellt und können vom Autor angefordert werden)

163	168	252	272	290	297	343	VH-39	508	334	518	763	807
29	14	14	5	21	4	20	10	24	23	22	17	9
Juli 1971	Sept. 1971	Juni 1972	Okt. 1972	Aug. 1973	Jan. 1974	Sept. 1974	Juni 1975	Nov. 1975	Apr. 1976	Juni 1976	Aug. 1976	Sept. 1976
0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	KG	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
5	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	8
106	116	198	356	216	307	134	330	416	2	28	48	165
80	80	1398	744	1214	170	280	770	34	6	420	98	174
12	32	12	46	88	345	854	230	392	8	8	404	457
2	24	54	48	50	55	52	160	66	12	12	8	34
32	42	8	4	6	1	—	—	—	—	—	34	3
30	—	50	16	6	—	46	380	2	—	140	114	3
26	14	82	8	2	—	—	—	—	—	4	8	—
32	16	50	8	2	—	—	—	—	—	2	—	—
10	12	—	2	—	—	—	—	—	—	6	306	2
30	32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	—
—	—	—	8	2	9	2	—	—	—	—	22	40
2	—	—	—	—	1	—	20	—	—	20	22	—
—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	1	—	—	—	—	14	—	2
6	4	—	2	16	4	—	—	4	—	—	8	3
50	—	174	—	2	—	—	—	—	—	—	—	—
—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	38	2	—
—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	2	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—
—	—	204	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	4	—
—	—	6	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4088	112	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2	12	—
—	—	2	—	—	—	—	—	—	—	112	6	—
—	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	4	4	—	16	1	—	10	6	—	6	54	6
442	402	2246	1242	1628	895	1368	1900	920	28	4906	1264	889
1	2	2	—	6	1	—	1	2	—	3	11	2
17	16	16	11	18	11	6	7	8	4	19	28	12
12	11	11	9	7	5	6	6	4	4	13	21	8
3,34	3,15	2,02	1,59	1,38	1,92	1,58	2,21	1,60	1,79	1,08	3,39	1,96

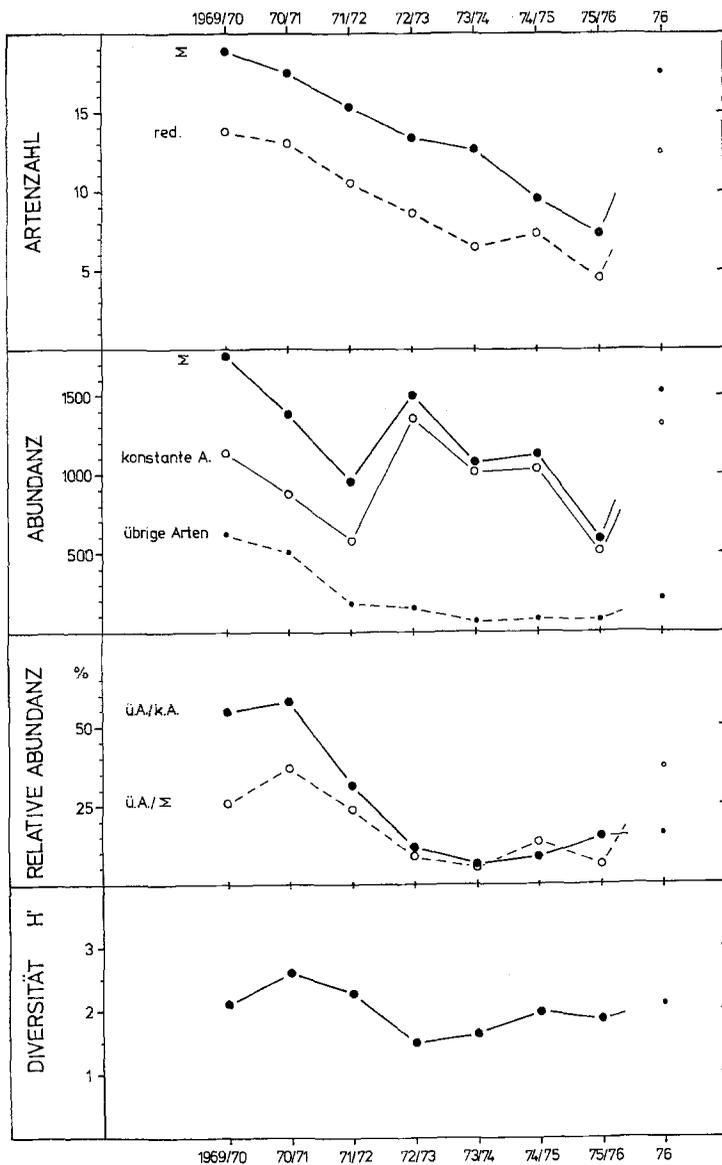


Abb. 2: Jahresmittelwerte der Artenzahl, Abundanz und Diversität an der Untersuchungsstation, Entwicklung von 1969 bis 1976. Σ = Gesamtzahl; red. = reduzierte Artenzahl (ohne Einzelfunde und ohne die mit Bodengreifern schwer erfassbaren Arten); k.A. = konstante Arten (*Nucula nitidosa*, *Diastylis rathkei*, *Ophiura texturata* und *Nephtys hombergii*); ü.A. = übrige Arten. Die Werte sind jeweils für den Zeitraum Mai bis April gemittelt; für 1976 reichen die Zahlen jedoch nur bis zum September (kleinere Symbole)

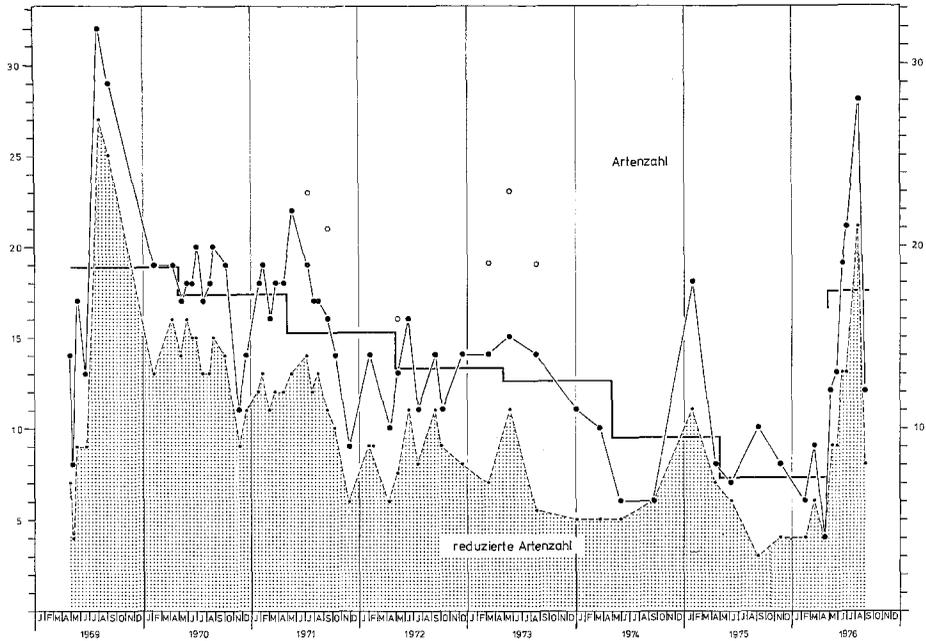


Abb. 3: Artenzahl (Einzelwerte für sämtliche Proben), Entwicklung von 1969 bis 1976. Offene Kreise = Werte aus sehr umfangreichen Proben (wenigstens 10 Greifer); stufenförmige Kurve = Jahresmittelwerte

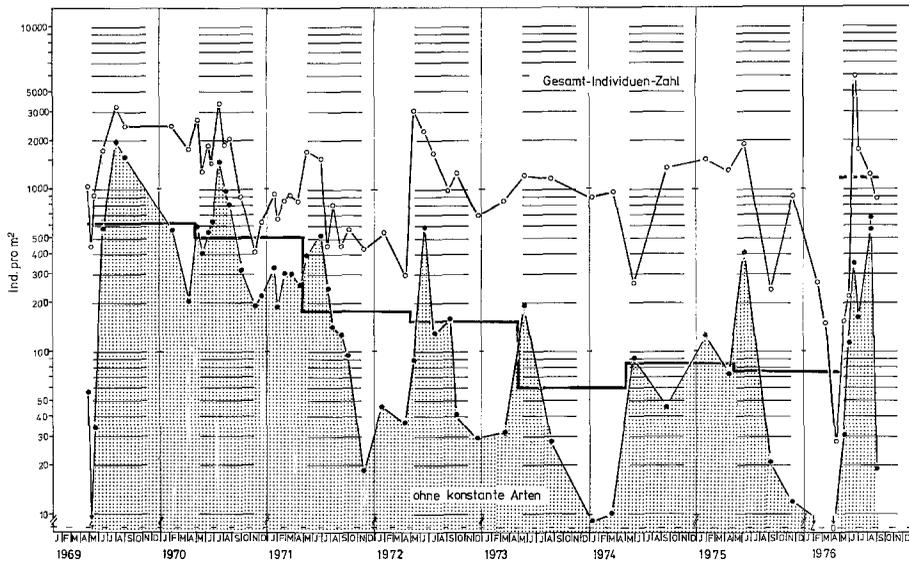


Abb. 4: Gesamt-Abundanz und Abundanz der nicht konstanten Arten (Einzelwerte für sämtliche Proben), Entwicklung von 1969 bis 1976. Stufenförmige Kurve = Jahresmittelwerte ohne konstante Arten

Vier Arten sind mit großer Konstanz gefunden worden (in 98,4 und 100 % aller Proben): *Nucula nitidosa*, *Diastylis rathkei*, *Ophiura texturata* und *Nephtys hombergii*. Sie dominieren nach Zahl und Gewicht und machen im Schnitt aller Proben 77 % aller Individuen aus.

Der Zahlenanteil der weniger konstanten Arten schwankt zwischen 0 (April 1976) und 93 % (Juli 1976); das Jahresmittel dieses Zahlenanteils zeigt jedoch insgesamt eine fallende Tendenz mit einem geringen Anstieg in der Periode Mai 1974 bis April 1975 und einem starken Anstieg im frühen Sommer 1976 (Abb. 2). Etwa gleichsinnig verlaufen die Änderungen in der Diversität (H' = Species-Diversität nach der Shannon-Wiener-Funktion, Pielou, 1969); allerdings ist 1976 in der Diversität der Anstieg auf Grund der Massenentwicklung von *Lanice conchilega* weniger ausgeprägt.

Dieser Trend zur Verarmung der Makrofauna wird am deutlichsten durch die Darstellung der Artenzahl wiedergegeben. Betrachtet man nur die Jahresmittel (Mai bis April), so sinkt die Artenzahl von fast 19 in der Periode 1969/70 auf nahezu 7 in 1975/76. Auch wenn man alle Einzelfunde von Arten in einer Probe wegläßt und darüber hinaus solche Tiere, die mit Bodengreifern nicht sicher erfassbar sind (z. B. Crustacea wie Crangon und Mysidacea), zeigt diese "reduzierte Artenzahl" den gleichen starken Trend. Hier ist zu erwähnen, daß im Jahre 1966 mit nur zwei Bodengreifern an der gleichen Stelle 16 Arten registriert wurden (Stripp, 1969b), 1967 nördlich davon 18 Arten (Dörjes, 1968). Bei der Betrachtung der Einzelwerte fallen die durch Jahreszeiten und auch Probenumfang bedingten Schwankungen in der Artenzahl sehr auf. Als charakteristisch kann ein Jahresgang angesehen werden, in dem im frühen Sommer die Artenzahl ansteigt (insbesondere 1969, 1970, 1973, 1975 und 1976) und dann auch noch im Sommer (August–September) wieder stark abnimmt (sehr deutlich 1971). Auch nach der starken Zunahme der Artenzahl im Sommer 1976 ist schon im September wieder ein niedriger Wert in der Nähe des Mittelwertes des vorhergehenden Jahres erreicht worden (Abb. 3).

Auch in der Gesamt-Abundanz ist insgesamt ein Rückgang zu verzeichnen, und zwar zunächst stark auf Kosten der weniger konstanten Arten, ab 1973 aber auch bei den konstanten Arten (Abb. 2 und 4).

Die Abundanzentwicklung der konstanten Arten ist im Detail in Abbildung 5–8 dargestellt. Für die langlebige, dominierende Muschel *Nucula nitidosa* ist ein langsamer Rückgang feststellbar, der nur durch die immer wieder erfolgenden Brutschübe überlagert ist – die Art ist im Untersuchungsgebiet vor allem Herbst- und Winterlaicher (Rachor, 1976). Im April 1976 wurde ein absolutes Abundanzminimum mit 2 Individuen pro m² erreicht; danach kam es durch die nachgewachsene Brut zu einer gewissen Erholung. Die Jahres-Produktion ging von mehr als 18 kcal pro m² in der Periode 1970/71 auf weniger als 3 kcal in der Periode 1973/74 zurück (Rachor, 1976).

Die Siedlungsdichte des Schlangensterne *Ophiura texturata* nahm von 1969 bis zum Frühjahr 1973 stark ab; dann kam es zu einer kräftigen Erholung, die nur im Frühling und Frühsommer 1976 durch einen auffälligen Rückgang unterbrochen ist.

Die Cumacee *Diastylis rathkei* ist durch deutliche jahreszeitliche Zyklen in der Abundanz gekennzeichnet; die Zahlen steigen im Mai–Juni nach Schlüpfen der Brut stark an. Ein durchgehender, abnehmender Trend ist nicht feststellbar, eher eine gewisse Zunahme ab Sommer 1972.

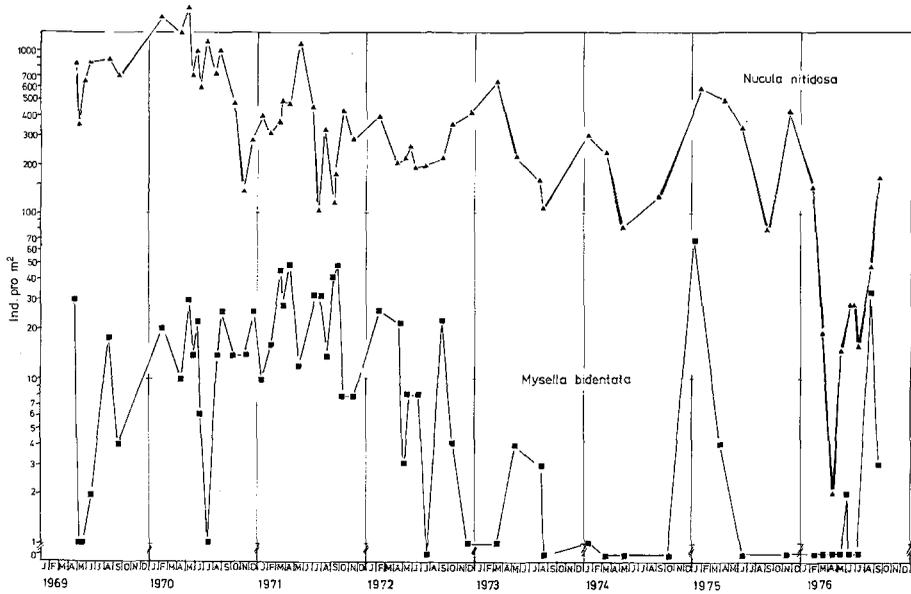


Abb. 5: Abundanz von *Nucula nitidosa* und *Mysella bidentata* (Bivalvia), Entwicklung von 1969 bis 1976

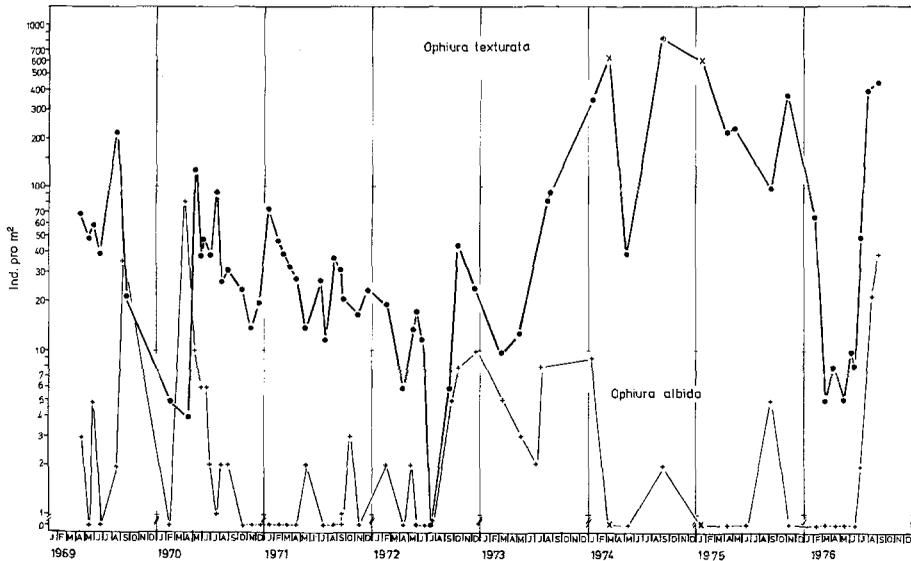


Abb. 6: Abundanz von *Ophiura texturata* und *O. albida* (Echinodermata), Entwicklung von 1969 bis 1976

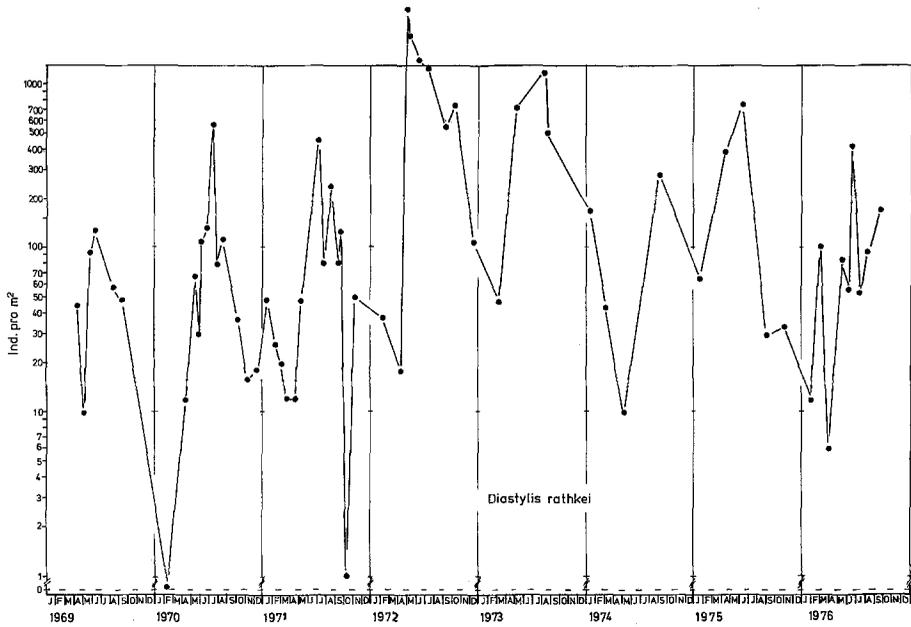


Abb. 7: Abundanz von *Diastylis rathkei* (Crustacea), Entwicklung von 1969 bis 1976

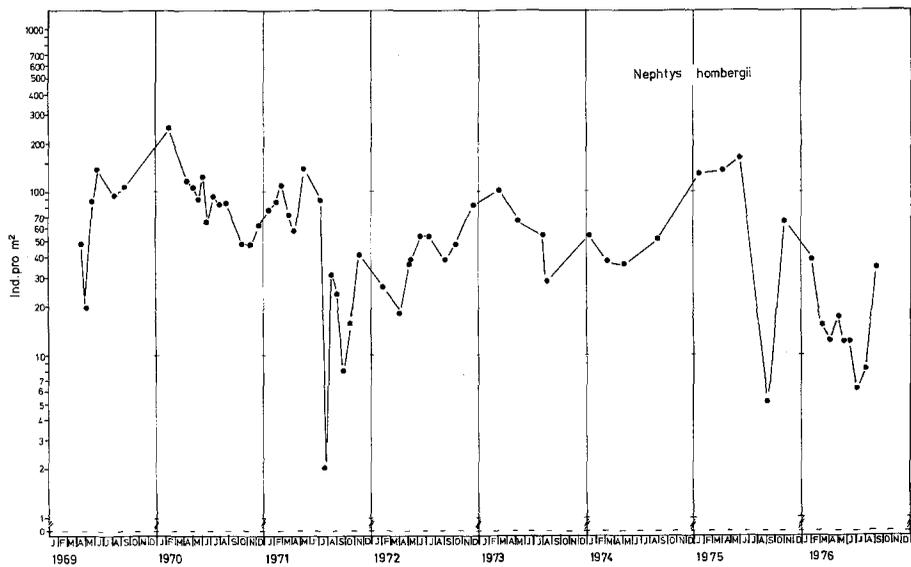


Abb. 8: Abundanz von *Nephtys hombergii* (Polychaeta), Entwicklung von 1969 bis 1976

Der Polychaet *Nephtys hombergii* zeigt keine deutlichen Langzeittrends. Die Dichtemaxima im Jahresgang liegen in den Wintermonaten und im Frühjahr. In den Sommern 1971, 1975 und 1976 sind starke Einbrüche in der Siedlungsdichte zu verzeichnen. Offensichtlich kommt es danach noch zu einer Neubesiedlung durch Jungtiere.

Bei den Arten geringer Konstanz ist das Bild nicht einheitlich, jedoch können Gruppen mit gleichartiger Abundanzentwicklung aufgezeigt werden:

(a) Arten mit anfangs gut entwickelten, konstanten Beständen, die im Spätsommer 1971 zusammenbrechen, sich in den beiden anschließenden Jahren trotz Wiederbesiedlung nicht erholen können und 1974 und 1975 fehlen. Im Frühsommer 1976 beginnt eine erneute Wiederbesiedlungsphase, doch brechen die neuen Bestände offensichtlich schon im Hochsommer wieder zusammen: *Echiurus echiurus*, *Harmothoe sarsi*, *Gattyana cirrosa*, *Pholoe minuta* (Abb. 9–12).

(b) Arten, deren Populationen erst nach 1972 stark in der Abundanz zurückgehen: *Mysella bidentata*, *Phoronis* spec. (vgl. Abb. 5 unten).

(c) *Abra alba* als stark fluktuierende Art mit gelegentlichen Massenentwicklungen und wiederholten Zusammenbrüchen der Population im Hochsommer (Abb. 13).

(d) Fluktuierende Arten mit mehr oder weniger hohen Besiedlungsdichten in den Sommern der ersten Jahre, die aber später fehlen: *Scalibregma inflatum*, *Polydora ciliata* (= *P. ligni*), *Pectinaria koreni* und mit Einschränkungen auch *Scoloplos armiger* als weiterer Polychaet sowie die Muschel *Abra nitida*. Es fällt auf, daß auch bei diesen Arten die Populationen vor allem im Hochsommer schwinden.

(e) Arten ohne Regelmäßigkeit in der Abundanzdynamik, jedoch mit zuweilen starken bis Massen-Entwicklungen im Frühsommer: *Ophelina acuminata* (1969, 1972) und *Lanice conchilega* (1976).

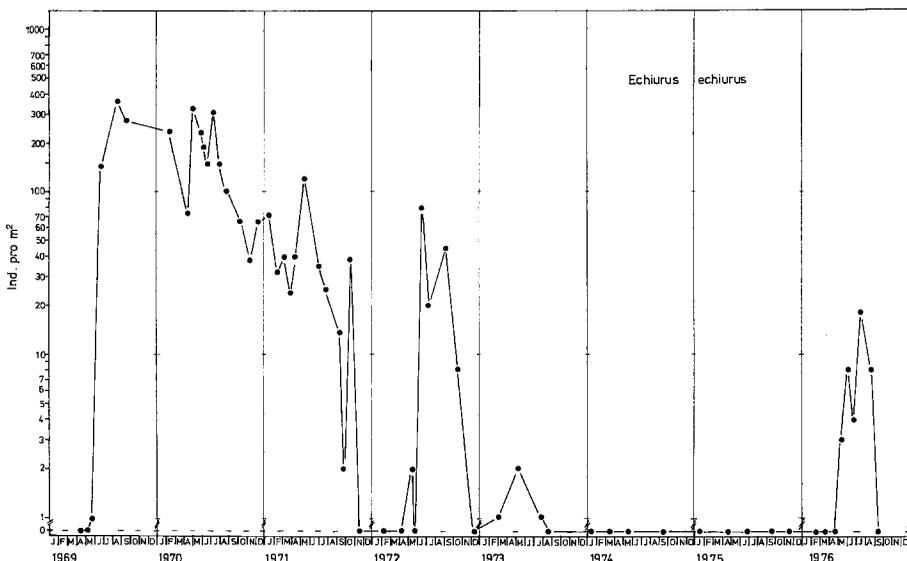


Abb. 9: Abundanz von *Echiurus echiurus* (Echiurida), Entwicklung von 1969 bis 1976

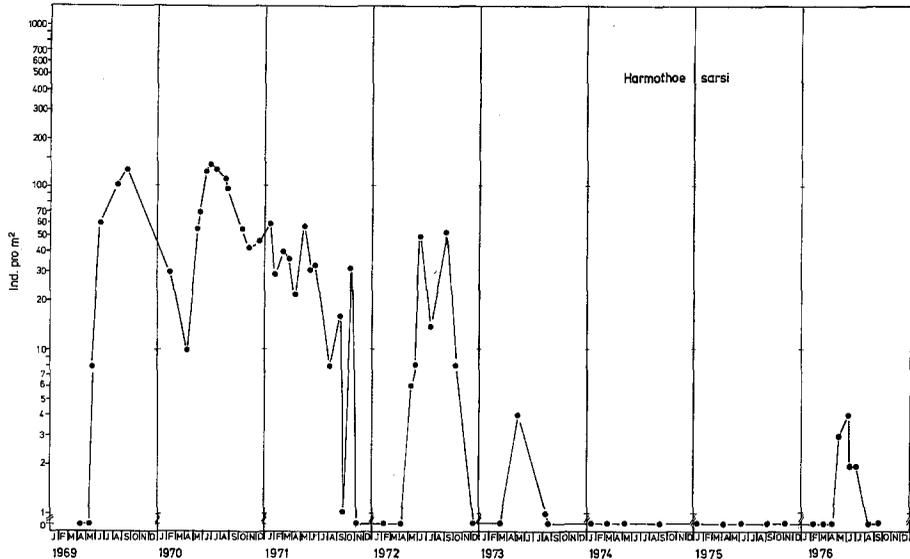


Abb. 10: Abundanz von *Harmothoe sarsi* (Polychaeta), Entwicklung von 1969 bis 1976

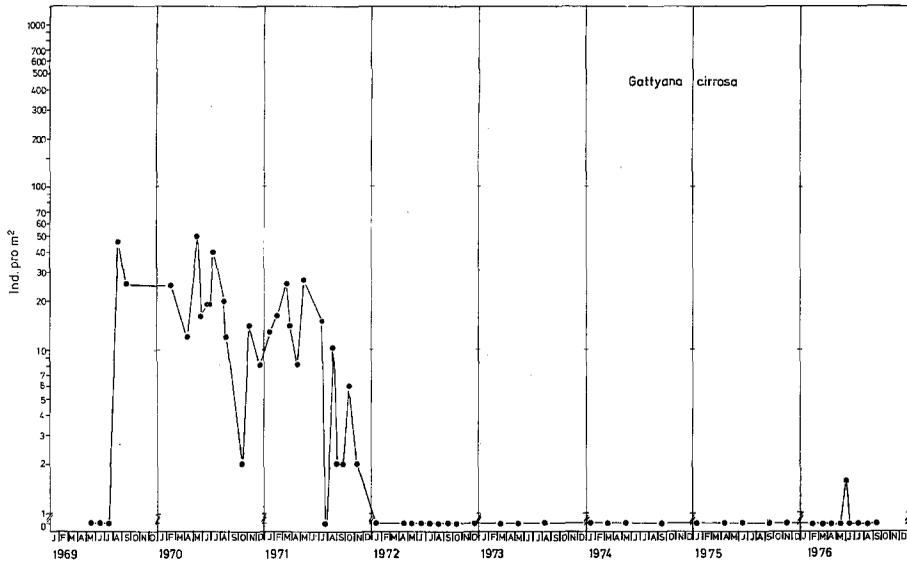
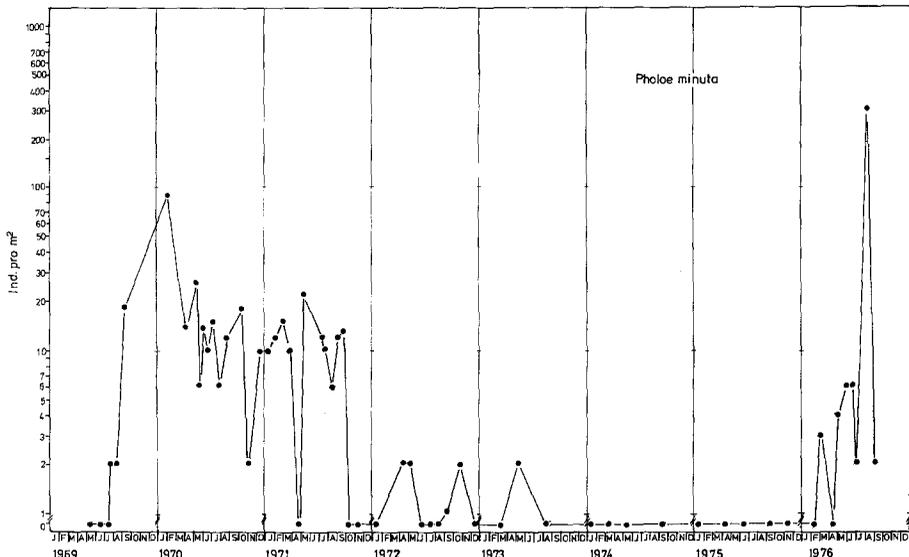
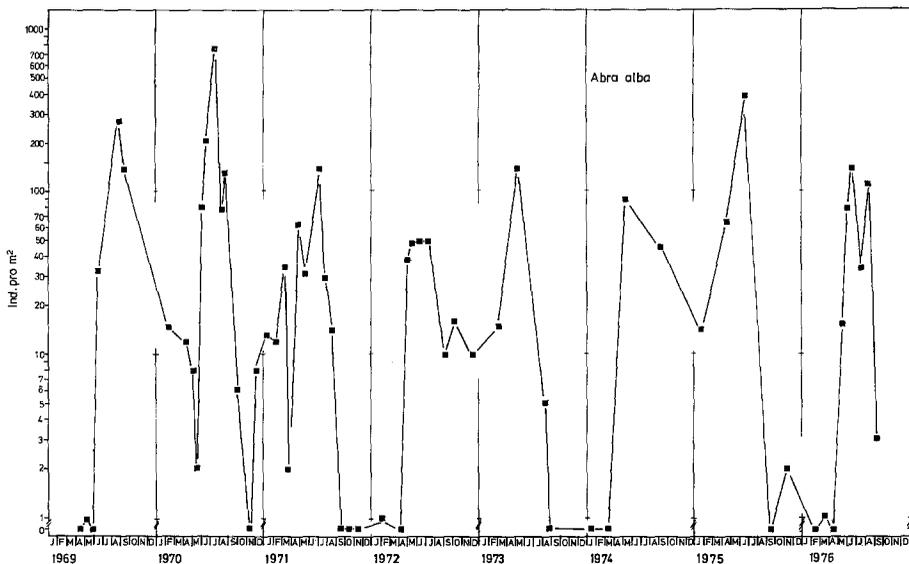


Abb. 11: Abundanz von *Gattyana cirrosa* (Polychaeta), Entwicklung von 1969 bis 1976

(f) Viele seltenere Arten, die insbesondere in den Sommermonaten das Areal zu besiedeln versuchen, z. B. *Ampharete acutifrons*, *Capitomastus minimus* und *Eteone longa*. Die noch 1966 bzw. 1967 als charakteristisch für das Gebiet angesehene Polychaetenart *Notomastus latericeus* (vgl. Dörjes, 1968; Stripp, 1969b) war im Untersuchungszeitraum 1969–1976 ohne Bedeutung (nur in zwei Proben vorhanden).

Abb. 12: Abundanz von *Pholoe minuta* (Polychaeta), Entwicklung von 1969 bis 1976Abb. 13: Abundanz von *Abra alba* (Bivalvia), Entwicklung von 1969 bis 1976

Durch stichprobenhafte Aufsammlungen in der Nachbarschaft des Untersuchungsgebietes wurde festgestellt, daß auch in der Umgebung der Station das Makrobenthos verarmt ist, insbesondere in den östlich angrenzenden Bereichen bis hin zur Verklappungsposition der Hamburger Klärschlämme. So wurden dort im Oktober 1972 nur noch die Arten *Nucula nitidosa*, *Diastylis rathkei*, *Ophiura texturata* und *O. albida*,

Nephtys hombergii und *Paramysis kervillei* mit insgesamt nur 647 Individuen pro m² gefunden, also ein identisch verarmtes Faunenspektrum wie an der Untersuchungsstation.

DISKUSSION

Schlickbiotope zählen zu den extremen Lebensräumen des marinen Benthals. Das feine Sediment ist besonders in Küstennähe reich an organischem Detritus, ist sehr kompakt und schlecht durchlüftet; in vielen Fällen kommt es zu starken Fäulnisprozessen, in deren Gefolge H₂S freigesetzt wird. Hagmeier (1925) hat die Fauna des hier untersuchten Schlickgebietes vor den Ästuarien der Deutschen Bucht in Anlehnung an Petersen (1914) als *Abra*- (= *Scrobicularia*-) *alba*-Gemeinschaft bezeichnet, und auch Stripp (1969b) ist diesem Vorbild gefolgt. Die Ähnlichkeit dieser *Abra-alba*-Coenose zur *Echinocardium-Filiformis*-Gemeinschaft ist schon von Remane (1940) betont worden; Jones (1950) führt sie als mögliche Modifikation dieser Gemeinschaft bei der "boreal offshore muddy sand association" auf. Insbesondere hebt sie sich durch ihre Artenarmut, nicht aber durch eigene Charakterarten von der *Echinocardium-Filiformis*-Gemeinschaft ab. Dörjes (1968) hat für die hier untersuchte, schlickbewohnende Assoziation den Namen *Echiurus-echiurus*-Coenose vorgeschlagen. Der von uns an der Untersuchungsstation und auch in ihrer Umgebung festgestellte Rückgang von *Echiurus echiurus* und ebenso sein Fehlen schon während der Untersuchungen von Hagmeier (1925) machen eine entsprechende Benennung fragwürdig. Die hohen Siedlungsdichten von *E. echiurus* während der Periode 1963–1971 (vgl. Reineck et al., 1967; Dörjes, 1968; Stripp, 1969b) sind wahrscheinlich kein normaler, andauernder Zustand, wenn auch vielleicht ein regelmäßig auftretendes Ereignis im untersuchten Schlickgebiet, etwa nach besonders kalten Wintern und Dezimierung der übrigen Fauna (Ziegelmeier, 1970).

Der Frage, ob es sich bei der hier untersuchten "klassischen" *Abra-alba*-Coenose um eine eigenständige Tiergemeinschaft (nach Glémarec, 1973, auch *Nucula-turgida-Abra-alba*-Gemeinschaft) oder nur eine Variante z. B. der *Echinocardium-Filiformis*-Gemeinschaft handelt, soll hier nicht weiter nachgegangen werden. Hier soll nur festgehalten werden, daß für Schlickböden grundsätzlich Artenarmut und starke Fluktuationen auch zeitweise charakteristischer, dominierender Arten angenommen werden müssen.

Rückgänge im Faunenbestand des Sublitorals der Deutschen Bucht sind als besondere Ereignisse vor allem von Ziegelmeier (1963, 1964, 1970) und auch von Rachor & Gerlach (im Druck) beschrieben worden. Ziegelmeier hat gezeigt, daß die Fauna während extrem kalter Winter sehr stark dezimiert werden und die Wiederherstellung einer ausgewogenen Assoziation mehrere Jahre dauern kann. Rachor & Gerlach haben insbesondere auf die Effekte von Sturmweatherlagen hingewiesen, wobei es zu direkter Schädigung der Bodentiere durch Erosion, Übersättigung und Verdriftung an ungünstige Standorte kommen kann. Außerdem ergeben sich im Gefolge von Sturmweatherlagen Umsortierungen und Veränderungen im Sediment, wodurch indirekte Einflüsse noch nicht hinreichend bekannter Art zustande kommen. So kann ein derartig verändertes Sediment z. B. attraktiv für driftende Larven werden, einen höheren oder

niedrigeren Gehalt an organischem Detritus und somit einen veränderten Nährwert erhalten und auch günstigere oder schlechtere O₂-Verhältnisse bieten. Reineck (1968) hat darauf hingewiesen, daß das hier untersuchte Schlickgebiet ebenfalls stark von Sturmweatherperioden beeinflusst wird. Dabei kann die oberste Schlicklage unter Zurücklassung von Schill erodiert und dieser dann von Sand überschüttet werden. Bei Wetterberuhigung wird darüber häufig sehr rasch das Absetzen von suspendiertem Schlick erfolgen, durch den Tiere wie *Nucula* nach oben flüchten. Derartige Veränderungen des Substrats werden ebenfalls direkte und indirekte Auswirkungen auf die Fauna haben.

Während unserer Untersuchungen wurden Einlagerungen von Feinsand insbesondere nach dem stürmischen Herbst 1973 im Januar und März 1974 und nach den Januarsturmfluten 1976 festgestellt. In einzelnen Bodengreifern wurden 1976 von Februar bis Ende Juni direkte Schlicksand-Überschüttungen an der Oberfläche gefunden, und der Boden war in diesen Fällen 2–3 cm tief oxydiert. Nachdem die Bod fauna schon im Sommer 1975 nach Arten- wie Individuenzahl auf einen Tiefststand gesunken war, ist es nicht verwunderlich, daß nach dem Winter mit seinen extremen Sedimentveränderungen das absolute Besiedlungsminimum registriert wurde (nur 4 Arten und 28 Individuen pro m² im April 1976). Die anschließende Neubesiedlung jedoch war auf Grund verbesserter Sedimenteigenschaften reichhaltig, allerdings nicht nachhaltig. Der Zusammenbruch dieser Besiedlungsphase ist offensichtlich im August erfolgt (vgl. Tab. 1).

Dieses führt uns zur Frage der kontinuierlichen Faunenverarmung im Untersuchungsgebiet. Es ist auffällig, daß verschiedene, individuenreiche Bestände insbesondere immer wieder in den Hochsommermonaten zusammengebrochen oder stark geschwunden sind: so vor allem die Arten *Echiurus echiurus*, *Harmothoe sarsi*, *Gattyana cirrosa* und *Pholoe minuta* schon im Sommer 1971 und nach der Wiederbesiedlung 1976 sowie auch die zusammen mit *Scalibregma inflatum* und *Pectinaria koreni* vorn aufgeführten Arten (Gruppe d) und vor allen Dingen *Abra alba*.

Diese wiederkehrenden sommerlichen Einbrüche haben insgesamt zur kontinuierlichen Verarmung der Fauna geführt. Anhaltende, durch hohe Temperaturen begünstigte Milieuschlechterungen im Boden selbst und auch im darüberstehenden Wasser sind anzunehmen, und zwar Sauerstoffzehrung und Entwicklung von Schwefelwasserstoff. Hierfür sprechen folgende Indizien und Tatsachen aus der Biologie der Bodentiere:

- (1) Das Sediment ist reich an organischem Detritus (Gadow & Schäfer, 1973).
- (2) Die oxydierte Oberflächenschicht des Sediments schrumpft in den Sommermonaten in der Regel auf weniger als 2 mm Schichtdicke zusammen.
- (3) Vorläufige hydrographische Messungen im Sommer 1976 bestätigen das Vorhandensein einer thermohalinen Schichtung im Untersuchungsgebiet, wobei im bodennahen Wasser Sauerstoffverarmung auftritt.
- (4) Im Sommer abgestorbene *Abra alba* hinterlassen ihre gut erhaltenen Schalen im Boden, so daß ein Wegfraß durch größere Räuber (Fische) auszuschließen ist. Nach Dries & Theede (1974) hat *Abra alba* bei 20° C eine geringe O₂-Mangelresistenz.
- (5) Die Muschel *Nucula nitidosa* dagegen ist offensichtlich gegenüber O₂-Mangel und H₂S-Bildung weniger empfindlich; sie kann bei Sommertemperaturen wenigstens

eine Woche lang bei O₂-Mangel überleben (Rachor, 1976). Das Aufrechterhalten einer Population wird zudem dadurch ermöglicht, daß sich die Tiere erst nach der Hochsommerperiode fortpflanzen. Dennoch ist auch bei *Nucula* die Abundanz rückläufig, wohl weil sie – im Gegensatz zu den anderen konstant gefundenen Arten – ganz an das Sediment gebunden ist.

(6) Die drei anderen konstanten Arten können auf Grund ihrer großen Vagilität und ihres Schwimm- und Driftvermögens ungünstigen Bodenverhältnissen ausweichen. So vermag *Nephtys hombergii* gut zu schwimmen und möglicherweise auch kurzfristig ungünstige O₂-Verhältnisse zu ertragen (die Art *N. ciliata* aus der Ostsee hat nach Dries & Theede bei 15° C eine LD₅₀-Zeit von fast vier Tagen). Möglicherweise ist *N. hombergii* durch mehrere Fortpflanzungsschübe im Jahr gut zum Überstehen auch ungünstiger Sommerperioden angepaßt. *Ophiura texturata* lebt an der Sedimentoberfläche und ist sehr vagil. Die Cumacee *Diastylis rathkei* kann aktiv schwimmend ins Wasser entweichen; ihre Brut entwickelt sich während der günstigeren Jahreszeit (Herbst und Winter) im Marsupium. Alle drei hier aufgeführten Arten können dank ihrer Vagilität auch sehr schnell von günstigeren Standorten aus ein aufgelassenes Areal wiederbesiedeln.

(7) Für ungünstige Bedingungen auch im bodennahen Wasser spricht der Tatbestand, daß auch Tiere geschädigt werden, die ihren Sauerstoffbedarf aus diesem Wasser decken können, etwa durch Einstrudeln von Wasser (*Abra*) oder durch kurzes Aufschwimmen (*Harmothoe*). Auch das Verschwinden von *Echiurus echiurus* und möglicherweise weiterer Arten kann dadurch erklärt werden: Normalerweise befördert *E. echiurus* nämlich durch seine Wühl- und besonders Pump-Tätigkeit sauerstoffreiches Wasser in den Boden hinein (Reineck et al., 1967) und kann dadurch gleichzeitig die mit ihm vergesellschafteten Tiere mit sauerstoffreichem Wasser versorgen.

Die hier beschriebene Faunenverarmung ist vergleichbar mit Erscheinungen aus belasteten Schlickbiotopen anderer Meeresgebiete. So sind aus der Ostsee Rückgänge in den tiefergelegenen *Abra-alba*-Coenosen auf Grund von Sauerstoffschwund schon lange bekannt (Remane, 1940). Aus der Lübecker Bucht hat Schulz (1968) Verhältnisse beschrieben, die mit den hier dargestellten gut übereinstimmen. Möglicherweise genügt als Erklärung für die abnehmenden Trends in verschiedenen Populationen und in der Artenmannigfaltigkeit die Belastung des Untersuchungsgebietes durch das zuströmende Elbwasser sowie übermäßige Planktonproduktion und -zersetzung im Mischgebiet der Konvergenzzone. Offensichtlich hat dann diese Belastung innerhalb der vergangenen Jahre noch zugenommen oder zumindest einen kritischen Wert überschritten.

In den Bereich des ausströmenden Elbwassers hinein werden nun allerdings schon seit Anfang der 60er Jahre die Klärschlämme der Hamburger biologischen Kläranlage per Schiff eingebracht. Im Monat sind es zur Zeit etwa 28 000 m³ Schlamm mit einem Feststoffgehalt von 6–10 % und einem Glühverlust von 50–54 %, d. h. etwa 1300 bis 1400 m³ oxydierbarer Feststoffe*. Es ist durchaus wahrscheinlich, daß derartige Mengen auch in einem gezeitenbeeinflussten, relativ offenen Meeresgebiet unter ungünstigen hydrographischen Bedingungen negative Auswirkungen auf die Bodenfauna mit sich

* Herrn Müller von den Hamburger Klärwerken sei für diese Angaben gedankt.

bringen, zumindest in einem solchen Gebiet wie der hier beschriebenen Konvergenzzone, in der sich die Wasserkörper übereinanderschieben und in der die feinen Trübstoffe sedimentieren.

Außerdem ist zu berücksichtigen, daß die Menge der verklappten Klärschlämme seit 1973 um etwa ein Drittel erhöht wurde und daß der Anteil gerade der feinen Trübstoffe gewachsen ist. Für einen negativen Einfluß der Schlammverklappungen sprechen auch die hin und wieder durchgeführten Vergleichsuntersuchungen in der Nachbarschaft der Dauerstation: Bis hin zur Verklappungsstelle wird östlich unserer Dauerstation nur noch ein gleichartig verarmtes Makrobenthos gefunden, während dagegen einige km westlich der Station noch eine artenreichere *Abra-alba*-Coenose existieren kann.

Caspers (DFG-Bericht 1975) berichtet über Massenentwicklungen von *Abra alba* im Bereich des Schlamm-Verklappungsgebietes. Da auch diese Massenentwicklungen wieder in Zusammenbrüchen der Populationen endeten, dürften die dort zu beobachteten Erscheinungen ähnlich sein wie an der von uns untersuchten Schlickstation. Auf Grund der suspensionsartigen Konsistenz des Klärschlammes ist anzunehmen, daß Auswirkungen durch Verdriften der feinen Trübe auch – oder sogar erst recht – in wenige km entfernten Arealen der Konvergenzzone auftreten. Möglicherweise wird schon im Wasser ein Abbau der suspendierten, leichter oxydierbaren organischen Substanzen beginnen, wodurch starke Sauerstoffzehrungen bei hohen Temperaturen erwartet werden können. Die stetige, vermehrte Zufuhr von organischer Substanz in das Bodensediment belastet das Benthos, und in den sommerlichen Perioden starker Stagnation kommt es zum Absterben der empfindlichen Glieder der Fauna. Gelegentliche Verbesserungen des Substrats, wie nach dem Wintersturm 1976, können eine Wiederbesiedlung im Frühsommer fördern, haben aber bisher keinen wirklichen Einschnitt in den nun schon mehrere Jahre laufenden Trend der Faunenverarmung gebracht.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Nach den hier vorgetragenen Ergebnissen ist deutlich, daß in der Hydrographie der inneren Deutschen Bucht noch viele Fragen offen sind, insbesondere über die Sauerstoff-Verhältnisse während ausgeprägter Phasen thermohaliner Schichtungen während der Sommermonate. Unsere im Detail z. T. noch vorläufigen Ergebnisse erlauben den Schluß, daß in den Bereichen der Konvergenzzone, in denen feine Trübstoffe und auch viel organische Substanz sedimentieren, in solchen Phasen eine starke O₂-Zehrung und damit eine Belastung des Ökosystems möglich ist. Es erscheint denklich, solche Gebiete für die Einbringung von Abfällen vorzusehen.

Selbst wenn einige der vergangenen Jahre durch wetterbedingte, hydrographische Besonderheiten aus der Regel gefallen sein sollten (etwa durch verstärkte und längerdauernde thermohaline Schichtungen im gleichen Seegebiet), bleiben diese Bedenken bestehen.

Danksagungen. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die Unterstützung der durchgeführten Arbeiten (Litoralforschung – Abwässer in Küstennähe), meinem Mit-

arbeiter, Herrn K.-H. Mantau, für die sorgfältige Mithilfe bei den Probenauswertungen und der Besatzung des Forschungsschiffes "Victor Hensen" für den Einsatz bei der Probenbeschaffung.

ZITIERTE LITERATUR

- Caspers, H. (Hrsg.), 1975. Pollution in coastal waters: an interim report of the priority programme of the German Research Society. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn-Bad Godesberg, 142 pp.
- Dries, R.-R. & Theede, H., 1974. Sauerstoffmangelresistenz mariner Bodenevertebraten aus der westlichen Ostsee. *Mar. Biol.* **25**, 327–333.
- Dörjes, J., 1968. Das Makrobenthos. *Senckenberg. leth.* **49**, 272–284.
- Gadow, S., 1968. Die Sedimente. *Senckenberg. leth.* **49**, 265–269.
- & Schäfer, A., 1973. Die Sedimente der Deutschen Bucht: Korngrößen, Tonmineralien und Schwermetalle. *Senckenberg. marit.* **5**, 165–178.
- Glémarec, M., 1973. The benthic communities of the European North Atlantic continental shelf. *Oceanogr. mar. Biol.* **11**, 263–289.
- Goedecke, E., 1968. Über die hydrographische Struktur der Deutschen Bucht im Hinblick auf die Verschmutzung in der Konvergenzzone. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **17**, 108–125.
- Hagmeier, A., 1925. Vorläufiger Bericht über die vorbereitenden Untersuchungen der Bodenfauna der Deutschen Bucht mit dem Petersen-Bodengreifer. *Ber. dt. wiss. Kommn Meeresforsch.* **1**, 247–272.
- Jones, N. S., 1950. Marine bottom communities. *Biol. Rev.* **25**, 283–313.
- Klein, G., Rachor, E. & Gerlach, S. A., 1975: Dynamics and productivity of two populations of the benthic tube-dwelling amphipod *Ampelisca brevicornis* (Costa) in Helgoland Bight. *Ophelia* **14**, 139–159.
- Lüneburg, H., 1963. Wassermischvorgänge vor der Weser- und Elbmündung. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* **8**, 111–141.
- Petersen, C. G. J., 1914. Valuation of the sea II. The animal communities of the sea-bottom and their importance for marine zoogeography. *Rep. Dan. biol. Stn* **21**, 1–44.
- Pielou, E. C., 1969. An introduction to mathematical ecology. Wiley-Interscience, New York, 286 pp.
- Rachor, E., 1976. Structure, dynamics and productivity of a population of *Nucula nitidosa* (Bivalvia, Protobranchiata) in the German Bight. *Ber. dt. wiss. Kommn Meeresforsch.* **24**, 296–331.
- & Dethlefsen, V., 1974. Effects of acid-iron waste disposal in the marine environment. *C.M.-ICES. E* **27**, 1–13.
- & Gerlach, S. A. Changes of macrobenthos in a sublittoral sand area of the German Bight, 1967–1975. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer* **172** (in press).
- & Salzwedel, H., 1976. Studies on population dynamics and productivity of some bivalves in the German Bight. In: *Proceedings of the 10th European Symposium on Marine Biology*. Ed. by G. Persoone & E. Jaspers. University Press, Wetteren, **2**, 575–588.
- Reineck, H.-E., 1963: Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee. *Abh. Senckenberg. naturforsch. Ges.* **505**, 1–138.
- 1967. Die Sedimente. *Senckenberg. leth.* **48**, 219–275.
- 1968. Die Sturmflutlagen. *Senckenberg. leth.* **49**, 270–272.
- Gutmann, W. F. & Hertweck, G., 1967. Das Schlickgebiet südlich Helgoland als Beispiel rezenter Schelfablagerungen. *Senckenberg. leth.* **48**, 219–275.
- Dörjes, J., Gadow, S. & Hertweck, G., 1968. Sedimentologie, Faunen zonierung und Faziesabfolge vor der Ostküste der inneren Deutschen Bucht. *Senckenberg. leth.* **49**, 261–309.
- Remane, A., 1940. Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee. *Tierwelt Nord- u. Ostsee* **1a**, 1–238.

- Schulz, S., 1968. Rückgang des Benthos in der Lübecker Bucht. *Mber. dt. Akad. Wiss. Berl.* **10**, 748–754.
- Stripp, K., 1969a. Jahreszeitliche Fluktuationen von Makrofauna und Meiofauna in der Helgoländer Bucht. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* **12**, 65–94.
- 1969b. Die Assoziationen des Benthos in der Helgoländer Bucht. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* **12**, 95–142.
- 1969c. Das Verhältnis von Makrofauna und Meiofauna in den Sedimenten der Helgoländer Bucht. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.* **12**, 143–148.
- Ziegelmeier, E., 1963. Das Makrobenthos im Ostteil der Deutschen Bucht nach qualitativen und quantitativen Bodengreiferuntersuchungen in der Zeit von 1949–1960. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh. (Sonderbd)* **1**, 101–114.
- 1964. Einwirkungen des kalten Winters 1962/63 auf das Makrobenthos im Ostteil der Deutschen Bucht. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **10**, 276–282.
- 1970: Über Massenvorkommen verschiedener makrobenthaler Wirbelloser während der Wiederbesiedlungsphase nach Schädigungen durch "katastrophale" Umwelteinflüsse. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **21**, 9–20.

Anschrift des Autors: Dr. E. Rachor
Institut für Meeresforschung Bremerhaven
Am Handelshafen 12
D-2850 Bremerhaven
Bundesrepublik Deutschland