

Aus dem  
Institut für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

---

**Zur Biologie von *Ensis directus* und *Spisula solida*  
(Mollusca: Bivalvia) in den Küstengewässern der östlichen  
Nordsee**

**Diplomarbeit  
vorgelegt von**

**Jennifer Dannheim**

**Februar 2002**

**Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät an der  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel**

---



# Inhaltsverzeichnis

<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>I</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>IV</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Position der Untersuchungsstationen</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Materialbeschaffung</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Bearbeitung und Auswertung der Dredgeproben</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Bearbeitung und Auswertung der Greiferproben</b>	<b>8</b>
2.4.1 Ökologische Indizes	10
2.4.2 Gemeinschaftsanalyse	11
2.4.3 <i>Ensis directus</i>	12
2.4.4 <i>Spisula solida</i>	13
<b>2.5 Bearbeitung und Auswertung der Detritus-Dredgeproben</b>	<b>13</b>
<b>3 ERGEBNISSE</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Die Benthosfauna im Untersuchungsgebiet</b>	<b>15</b>
3.1.1 Artenzahl, Abundanz, Diversität und Evenness im Untersuchungsgebiet	17
3.1.2 Diversität und Evenness der Regionen im zeitlichen Verlauf	18
3.1.3 Dominanz und Frequenz der Arten in den Regionen	23
<b>3.2 <i>Ensis directus</i></b>	<b>30</b>
3.2.1 Abundanz	30
3.2.2 Größenspektrum und Wachstum	33
<b>3.3 <i>Spisula solida</i></b>	<b>40</b>
3.3.1 Abundanz	40
3.3.2 Größenverhältnisse	43
<b>3.4 Detritus-Dredgefänge</b>	<b>46</b>
<b>4 DISKUSSION</b>	<b>50</b>
<b>4.1 Fehleranalyse der Materialbeschaffung</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Die Benthosfauna des Untersuchungsgebietes</b>	<b>52</b>
4.2.1 Die Feinsandzone der Amrumbank	53
4.2.2 Die Grobsandzone der Amrumbank	54
4.2.3 Die Mittelsandzone der Amrumbank und das <i>Spisula</i> -Sperrgebiet	55
4.2.4 Die Region vor Eiderstedt	56
4.2.5 Der Große Vogelsand	56
4.2.6 Räumliche und zeitliche Unterschiede der Diversität und Evenness in den einzelnen Regionen	57
<b>4.3 <i>Ensis directus</i></b>	<b>58</b>
4.3.1 Abundanz	58

4.3.2	Größenspektrum und Wachstum	59
4.3.3	Mortalität	62
<b>4.4</b>	<b><i>Spisula solida</i></b>	<b>64</b>
4.4.1	Abundanz	64
4.4.2	Größenverhältnisse	65
<b>5</b>	<b>FAZIT &amp; AUSBLICK</b>	<b>68</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>73</b>
<b>9</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>82</b>
	<b>ANHANG</b>	

## Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.1:** *Ensis directus* (Fundort: Station **AB 8** am 22.03.2000).
- Abb. 1.2:** Verbreitung von *Ensis directus* in den Küstengewässern der Nordsee (verändert nach LUCZAK et al. 1993).
- Abb. 1.3:** *Spisula solida* (Fundort: Station **AB 7** vom 22.05.2001).
- Abb. 2.1:** Stationskarte der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Stationen. Die rechte obere Ecke zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des *Spisula*-Sperrgebietes mit den Stationen Spi **1 – 9** (Zahlen 1 – 9).
- Abb. 3.1:** MDS-Plot der Abundanz der Arten an den Stationen. Die Buchstaben kennzeichnen die Cluster im Untersuchungsgebiet: A = Feinsandzone der Amrumbank; B = Eiderstedt; C = Vogelsand; D = Mittelsandzone der Amrumbank und *Spisula*-Sperrgebiet; E = Grobsandzone der Amrumbank.
- Abb. 3.2:** Dendrogramm (Complete linkage, vierte Wurzel) der Stationen auf der Amrumbank.
- Abb. 3.3:** Diversität und Evenness in der Feinsandzone der Amrumbank während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen nur der optischen Orientierung.
- Abb. 3.4:** Diversität und Evenness in der Mittelsandzone der Amrumbank während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.
- Abb. 3.5:** Diversität und Evenness in der Grobsandzone der Amrumbank während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.
- Abb. 3.6:** Diversität und Evenness im *Spisula*-Sperrgebiet während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.
- Abb. 3.7:** Diversität und Evenness im Gebiet vor Eiderstedt während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.
- Abb. 3.8:** Diversität und Evenness im Gebiet Vogelsand während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.
- Abb. 3.9:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % in der Feinsandzone der Amrumbank.

- Abb. 3.10:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % in der Mittelsandzone der Amrumbank.
- Abb. 3.11:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % in der Grobsandzone der Amrumbank.
- Abb. 3.12:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % im *Spisula*-Sperrgebiet.
- Abb. 3.13:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % vor Eiderstedt.
- Abb. 3.14:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % auf dem großen Vogelsand.
- Abb. 3.15:** Mittlere Abundanz [ $\text{m}^{-2}$ ] von *Ensis directus* als Kreisflächen dargestellt. Die rechte obere Ecke zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des *Spisula*-Sperrgebiets mit den Stationen Spi **1 – 6, 8** und **9** (Zahlen 1 – 6, 8 und 9). Schwarze Punkte markieren Stationen, an denen *Ensis directus* nicht vertreten war.
- Abb. 3.16:** Darstellung des Zusammenhangs von Längen und Breiten der vermessenen *Ensis directus* (N), sowie die dazugehörige Regressionsgerade und der Korrelationskoeffizient ( $r^2$ ).
- Abb. 3.17:** Längenverteilung von *Ensis directus* an der Station **AB 1** über den Zeitraum der Beprobung. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Jahrgänge von *Ensis directus*.
- Abb. 3.18:** Längenverteilung von *Ensis directus* an der Station **AB 8** über den Zeitraum der Beprobung. Der schwarze Pfeil kennzeichnet den Jahrgang von *Ensis directus*.
- Abb. 3.19:** Längenverteilung von *Ensis directus* im *Spisula*-Sperrgebiet über den Zeitraum der Beprobung. Der schwarze Pfeil kennzeichnet den Jahrgang von *Ensis directus*.
- Abb. 3.20:** Längenverteilung von *Ensis directus* in der Region vor Eiderstedt über den Zeitraum der Beprobung. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Jahrgänge von *Ensis directus*.
- Abb. 3.21:** Längenverteilung von *Ensis directus* in der Region Vogelsand von Oktober 2000 bis Juli 2001. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Jahrgänge von *Ensis directus*.
- Abb. 3.22:** Mittlere Abundanz [ $\text{m}^{-2}$ ] von *Spisula solida* als Kreisflächen dargestellt. Die rechte obere Ecke zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des *Spisula*-Sperrgebiets mit den Stationen Spi **2 – 4, 6** und **9** (Zahlen 2 – 4, 6 und 9). Schwarze Punkte markieren Stationen, an denen *Spisula solida* nicht vertreten war.
- Abb. 3.23:** Längenverteilung von *Spisula solida* aus den Greiferproben über den Zeitraum der Probennahme.

- Abb. 3.24:** Längenvergleich von *Spisula solida* aus den Proben der Dredge (**Reihe 1 – 3**) und hydraulischen Dredge (**Reihe 4 – 6**). **Reihe 1:** Alle *S. solida* der März 2000-Ausfahrt; **Reihe 2:** Alle *S. solida* der November 2000-Ausfahrt; **Reihe 3:** Amrumbank im Mai 2001; **Reihe 4:** *Spisula*-Sperrgebiet im November 2000; **Reihe 5:** Station **AB 1** im November 2000; **Reihe 6:** Station **AB 2** November 2000.
- Abb. 3.25:** Längenvergleich von *Spisula solida* aus Greiferproben, Dredge und hydraulischer Dredge. Alle Trogmuscheln sind im November 2000 im *Spisula*-Sperrgebiet und auf der Amrumbank gefangen worden.
- Abb. 3.26:** Anteile der Gruppen an der Zusammensetzung der Detritus-Dredgen im Mai 2001 in den verschiedenen Regionen.
- Abb. 3.27:** Zusammensetzung der Mollusca juv. der Detritus-Dredgen im Mai 2001 in den verschiedenen Regionen.
- Abb. 3.28:** Anteile der Gruppen an der Zusammensetzung der Detritus-Dredgen im Juli 2001 in den verschiedenen Regionen.
- Abb. 3.29:** Zusammensetzung der Mollusca juv. der Detritus-Dredgen im Juli 2001 in den verschiedenen Regionen.

## Tabellenverzeichnis

- Tab. 3.1:** Anzahl der Probennahmen, max. und min. Artenzahlen [AZ], max. und min. Abundanzen [m<sup>2</sup>], Diversität und Evenness, sowie Anteile der Hauptgruppen an der mittleren Arten- und Individuenzahl der Stationen zusammengefasst zu Regionen. (Differenzen zwischen der mittleren Arten- bzw. Individuenzahl und den einzelnen Hauptgruppen basieren auf Rundungsabweichungen.)
- Tab. 3.2:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten in der Feinsandzone der Amrumbank. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.
- Tab. 3.3:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten in der Mittelsandzone der Amrumbank. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.
- Tab. 3.4:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten in der Grobsandzone der Amrumbank. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.
- Tab. 3.5:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten im *Spisula*-Sperrgebiet. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.
- Tab. 3.6:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten vor Eiderstedt. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.
- Tab. 3.7:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten auf dem großen Vogelsand. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.
- Tab. 3.8:** Mittlere Abundanz von *Ensis directus* an den untersuchten Stationen.
- Tab. 3.9:** Abundanz von *Ensis directus* in den einzelnen Probemonaten. Felder, die keine Zahl enthalten, wurden in den entsprechenden Monaten nicht beprobt (-).
- Tab. 3.10:** Vergleich der mittleren Längen [mm] von *Ensis directus* der Kohorten im Untersuchungszeitraum. Die Tabelle enthält die zusätzlichen Jahrgänge 1997 und 1998, die aufgrund der Skaleneinteilung in den Abbildungen nicht zu sehen waren.
- Tab. 3.11:** Mittlere Abundanz von *Spisula solida* auf den untersuchten Stationen.
- Tab. 3.12:** Abundanz von *Spisula solida* in den einzelnen Probemonaten. Felder, die keine Zahl enthalten wurden in den entsprechenden Monaten nicht beprobt (-).



- 
- Tab. 4.1:** Vergleich der mittleren Abundanz und Frequenz in der Feinsand-Assoziation mit NIERMANN (1991) und SALZWEDEL et al. (1985).
- Tab. 4.2:** Vergleich der mittleren Abundanz und Frequenz in der Grobsand-Assoziation mit NIERMANN (1991) und SALZWEDEL et al. (1985).
- Tab. 4.3:** Vergleich der mittleren Längen [mm] von *Ensis directus* in der Nordsee. Verändert nach ARMONIES & REISE (1999).
- Tab. 4.4:** Vergleich der mittleren Längen von *Spisula solida* mit KOCK (1995) in Bezug auf verschiedene Probennahmegeräte.



# 1 Einleitung

Während in früheren Jahren die „Rohstoffe“ des Meeres für unerschöpflich galten, wird heutzutage der Ruf nach Nachhaltigkeit und Ökosystemverträglichkeit ihrer Ausbeutung immer lauter. Die Biologie der nutzbaren Arten, also das Wissen um Vorkommen, Reproduktion, Wachstum und Sterblichkeit, ist die Grundlage um nachhaltige Fischerei zu betreiben. Von den vielen Muschelarten der Nordsee, die sich für die kommerzielle Fischerei eignen, stehen *Ensis directus* und *Spisula solida* im Augenblick bei uns im Zentrum der Diskussion.

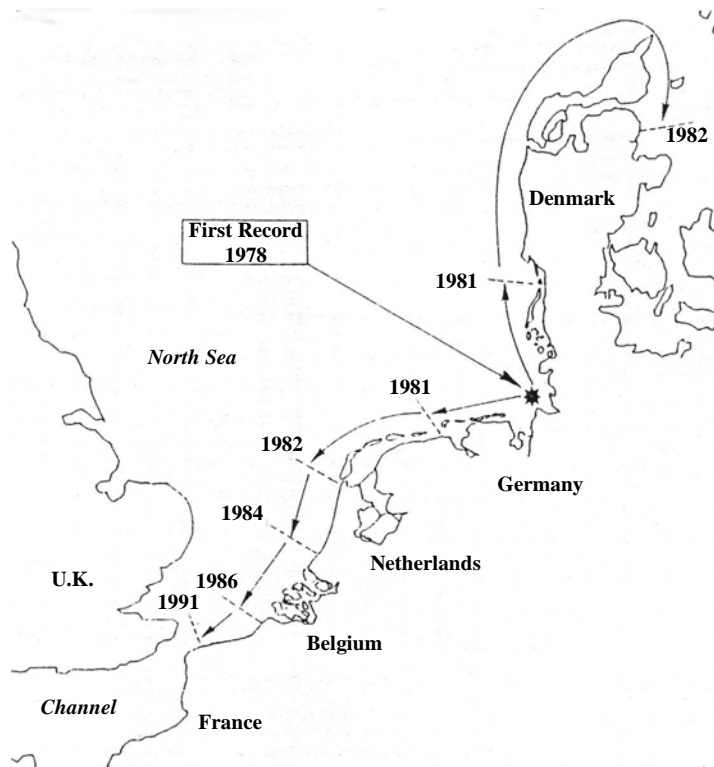
Ursprünglich stammt *Ensis directus* (CONRAD 1843), die amerikanische Schwertmuschel (Abb. 1.1), von der Ostküste Nordamerikas und ist im Westatlantik von Süd-Labrador bis South Carolina in Ästuaren und Buchten mit starker Strömung verbreitet (BOUSFIELD 1960). In der Deutschen Bucht ist *E. directus* ein typischer Vertreter des unteren Tidenbereichs und angrenzenden Flachwassers (VON COSEL et al. 1982, MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983, BEUKEMA & DEKKER 1995, ARMONIES & REISE 1999). Die Schwertmuschel sitzt nahezu senkrecht dicht unter der Sedimentoberfläche und ernährt sich filtrierend.



**Abb. 1.1:** *Ensis directus* (Fundort: Station **AB 8** am 22.03.2000).

Nach VAN URK (1964, 1972) sollte die Muschel eher *Ensis americanus* (BINNEY 1870) genannt werden, da *Ensis directus* eine fossile Art aus dem Miozän ist. Die charakteristischen Merkmale scheinen jedoch weit variabler zu sein, als zuvor angenommen (VON COSEL et al. 1982). Es ist nicht vollständig geklärt, ob *E. directus* und *E. americanus* wirklich zwei verschiedene Arten sind. In der Literatur werden beide Namen verwendet, *E. directus* jedoch weit häufiger. In dieser Arbeit wird ebenfalls der gebräuchlichere Name verwendet: *E. directus*.

Im Ballastwasser eines Frachtschiffes kamen Veliger-Larven von *E. directus* in der zweiten Hälfte des Jahres 1978 in die Nordsee. Die ersten Individuen wurden am 20.06.1979 in einem



**Abb. 1.2:** Verbreitung von *Ensis directus* in den Küstengewässern der Nordsee (verändert nach LUCZAK et al. 1993).

Greifer nördlich der Elbe 1 auf dem Großen Vogelsand entdeckt (VON COSEL et al. 1982). Die Ausbreitung über die Küstenregionen der Nordsee erfolgte, begünstigt durch die lange Larvalzeit (ESSINK 1985), sehr schnell (Abb. 1.2). 1981 erreichte *Ensis directus* mit der vorherrschenden nordöstlichen Strömung die Küste Dänemarks. Mittlerweile ist sie über das Skagerrak und Kattegat bis in die Kieler Bucht vorgedrungen. Auch gegen die Strömung, durch westliche Rückströmungen und den Tidenstrom erfolgte die Ausbreitung der Art rasant. Eben-

falls 1981 wurden die ersten Funde im Emsästuar bestätigt (ESSINK 1984, 1985), im August 1982 schlossen sich weitere Funde aus Schiermonnikoog (DE BOER & DE BRUYNE 1983, DE BRUYNE & DE BOER 1983) und Texel (SWENNEN 1984) an. Ende 1982 war das gesamte niederländische Wattenmeer besiedelt (ESSINK 1985). 1989 erreichte die Schwertmuschel die Küste Großbritanniens (HOWLETT 1990) und im Juni 1991 wurden die ersten Funde aus Frankreich bestätigt (LUCZAK & DEWARUMEZ 1992, LUCZAK et al. 1993, SEVERIJNS & GILLES 1993). 23 Jahre nach der Einwanderung ist *Ensis directus* ein bedeutender Bestandteil des Makrozoobenthos in der Deutschen Bucht geworden.

Die Gattung *Ensis* wird in einigen Ländern (Mittelmeerraum, England, Schottland, Irland und Chile) befishet, teils mit Handmethoden, aber auch mit hydraulischen Dredgen. An der kanadischen Küste gibt es lokale Fischereien auf *E. directus*. Aufgrund der hohen Bestände in der Deutschen Bucht stellt sich die Frage, ob eine kommerzielle Nutzung auch hier möglich ist. Eine Fischerei ist allerdings in deutschen Hoheitsgewässern derzeit nicht gestattet.

*Spisula solida* (LINNÉ 1758), die dickschalige Trogmuschel (Abb. 1.3), wird bei uns seit 1992 mit hydraulischen Dredgen kommerziell befishet. In diesem Jahr wurden große Bestände von *Spisula solida* westlich von Amrum entdeckt (SEAMAN & RUTH 1997). Nachdem der Eiswinter 1995/96 die Bestände in der Deutschen Bucht vernichtet hat, kam die Trogmuschelfische-

rei jedoch zum Erliegen (SEAMAN & RUTH 1998). Die Anlandungen reduzierten sich drastisch (VON WESTERNHAGEN 1997). *S. solida* wird heute vor allem von niederländischen Fischern in den dänischen Küstengewässern (Horns Rev), in Spanien und Portugal befishet. Vergleichbar mit der *Spisula solida*-Fischerei in dänischen Gewässern ist in der Nordsee nur die Fischerei auf *Spisula subtruncata* an der niederländischen Küste. *S. solida* ist mit einem Alter von 2 – 3 Jahren und einer Länge von 35 mm kommerziell nutzbar. Die Verbreitung reicht vom Nordat-



Abb. 1.3: *Spisula solida* (Fundort: Station AB 7 vom 22.05.2001).

lantik bis Marokko. Während sie andernorts bis 160 m Wassertiefe lebt, ist sie in der Deutschen Bucht lokal konzentriert vorwiegend auf Grobsand zwischen 10 – 50 m Tiefe anzutreffen (MEIXNER 1993). *S. solida* sitzt dicht unter der Sedimentoberfläche und ernährt sich filternd. In der Nordsee bestehen innerhalb der Taxonomie der Gattung *Spisula* immer noch Unklarheiten (Vergleich: ZIEGELMEIER 1957, WILLMANN 1989, HAYWARD 1995a, DE KLUIJVER et al. 2000a).

Über die Makrozoobenthosfauna der Deutschen Bucht sind in den letzten 50 Jahren viele mehrjährige Untersuchungen durchgeführt worden (KRÖNKE & BERGFELD 2001). *S. solida* ist als Teil der Molluskenfauna der Deutschen Bucht in diesen Untersuchungen enthalten; gezielte Bestandsuntersuchungen sind jedoch rar (MEIXNER 1993, 1994, KOCK 1995). *E. directus* wurde seit der Einwanderung 1978 nur lokal untersucht (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983, SWENNEN et al. 1985, DÖRJES 1992, BEUKEMA & DEKKER 1995, ARMONIES & REISE 1999). Mit dieser Arbeit soll an die bestehenden Untersuchungen in der Deutschen Bucht angeknüpft werden. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf den Mollusken und den mit ihnen assoziiert lebenden Arten. Die Daten dieser Diplomarbeit wurden innerhalb eines Projektes<sup>1</sup> in enger Zusammenarbeit mit Herrn Dr. H. Rumohr (Projektleiter) erhoben. Sie liefert damit Teile der biologischen Grundlage für das Projekt, sowie aktuelle Daten zur Verbreitung, Größenstruktur und Lebensweise der Populationen von *E. directus* und *S. solida*.

<sup>1</sup> Titel: „Untersuchungen zur Nachhaltigkeit der Schwertmuschel (*Ensis directus/americanus*) und der dickschaligen Trogmuschel (*Spisula solida*) – Fischerei in schleswig-holsteinischen Küstengewässern.“; Laufzeit Januar 2000 – Dezember 2001).

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der

- Untersuchung der Makrozoobenthosgemeinschaft in den Küstengewässern der östlichen Nordsee. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf *Ensis directus* und *Spisula solida*, sowie den mit ihnen assoziiert auftretenden Arten gerichtet.
  - Darstellung der Abundanzen und Artenzahlen, Dominanz und Frequenz, sowie der Diversität und Evenness
  
- Bestandsanalyse von *Ensis directus* und *Spisula solida* in den Küstengewässern der östlichen Nordsee.
  - Größenstruktur der Bestände
  - Berechnung der Wachstums- und Mortalitätsraten beider Arten
  - Untersuchung der Höhe der Rekrutierung

## 2 Material und Methoden

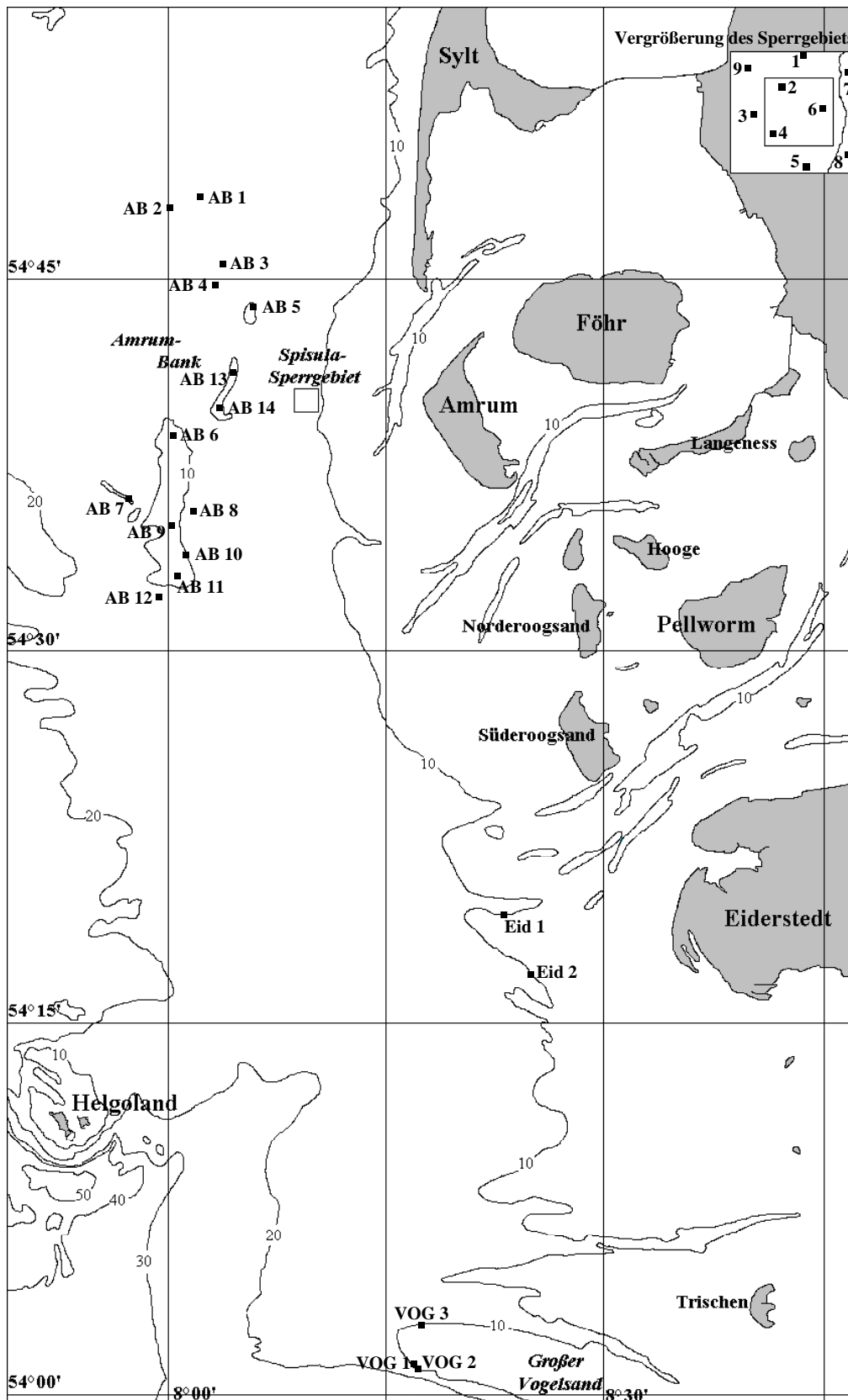
### 2.1 Position der Untersuchungsstationen

Das Untersuchungsgebiet wurde nach dem wahrscheinlichen Vorkommen der Arten *Ensis directus* und *Spisula solida* ausgewählt. Die genauen Positionen der Stationen wurden einer Liste entnommen, die Maarten Ruth (Fischereiamt Kiel) auf der Basis von Dredgefängen kommerzieller Muschelfischer im Jahr 1994 erstellt hat (unveröffentlichte Daten). Einer Veröffentlichung von DÖRJES (1992) wurden drei Stationen auf dem Vogelsand in der Elbmündung entnommen (**VOG 1, VOG 2 & VOG 3**). Eine Stationsliste findet sich im Anhang (Tab. A-1).

Vier Bereiche lassen sich innerhalb des Untersuchungsgebietes unterteilen (Abb. 2.1). Der Erste umfasst den Bereich der Amrumbank (Stationen AB 1 – 14) und richtet sich in erster Priorität nach dem Vorkommen von *Spisula solida*, daneben aber auch nach dem von *Ensis directus*. Im Bereich der Amrumbank wurden schon mehrfach Untersuchungen zu *Spisula solida* durchgeführt bzw. ihr Vorkommen dort bestätigt (SALZWEDEL et al. 1985, MEIXNER 1993 & 1994, KOCK 1995). Das zweite Gebiet orientiert sich an dem *Spisula*-Sperrgebiet, das von Ruth 1994 als Testgebiet vorgeschlagen wurde. Es dient als Schutzgebiet der Abschätzung des Bestandes von *Spisula solida* und somit als Referenz zur Abschätzung der Auswirkungen von hydraulischer Muschelfischerei. Die Eckkoordinaten des Testgebietes vor Holtknobsloch sind:

54° 40,30 N	08° 09,00 E
54° 40,30 N	08° 10,45 E
54° 39,50 N	08° 10,45 E
54° 39,50 N	08° 09,00 E

Es umfasst die Stationen **Spi 1 – 9**. Weitere Stationen (**Eid 1** und **Eid 2**) befinden sich vor Eiderstedt im Bereich Süderhever. Das vierte Gebiet besteht aus den Stationen **VOG 1, VOG 2** und **VOG 3** auf dem Großen Vogelsand. Die Stationen bei Süderhever und auf dem Großen Vogelsand richten sich nach dem wahrscheinlichen Vorkommen von *Ensis directus*.



**Abb. 2.1:** Stationskarte der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Stationen. Die rechte obere Ecke zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des *Spisula*-Sperrgebietes mit den Stationen *Spi 1 – 9* (Zahlen 1 – 9).



## 2.2 Materialbeschaffung

Die Proben wurden im Rahmen mehrerer Ausfahrten mit dem Forschungskutter „Littorina“ (Institut für Meereskunde, Kiel) und dem Forschungsschiff „Südfall“ (Forschungs- und Technologiezentrum Westküste, Büsum) beschafft. Für die Probennahme in sandigen Sedimenten eignet sich nach RUMOHR (1999) der 70 kg Van-Veen-Backengreifer. Dieser Greifer besitzt eine zureichende Eindringtiefe in das Sediment, die der Tiefe des Vorkommens der Benthosorganismen entspricht. Der Backengreifer beprobt eine Fläche von 0,1 m<sup>2</sup>. An jeder Station wurden 5 Greifer genommen, wobei die Stationen, die im Juli beprobt wurden, eine Ausnahme bilden; hier wurden 3 Greifer pro Station genommen.

An fast allen Stationen (Ausnahme Stationen im Juli 2001) wurde die botanische Dredge vom Typ „Kieler Kinderwagen“ verwendet, die mit einer Geschwindigkeit von zwei Knoten drei Minuten über den Boden geschleppt wurde. Die Dredge (Breite: 1 m, Höhe: 40 cm) besteht aus einem 3 m langem grobmaschigen Außennetz und einem Innennetz von 0,5 cm Maschenweite.

An einigen Stationen (Anhang Tab. A-1) wurden Proben mit der Detritus-Dredge nach OCKELMANN (1964) (75 x 50 x 16 cm) mit einer Maschenweite des Netzes von 500 µm genommen. Die Dredge wurde ca. eine Minute bei 1 – 2 Knoten geschleppt um frischgesiedelte Bodenstadien von Muscheln zu erbeuten.

## 2.3 Bearbeitung und Auswertung der Dredgeproben

An Bord wurde der Inhalt der Dredge in große Wannen überführt und mit dem bloßen Auge grob analysiert. In Stationsprotokollen wurde die Häufigkeit der vorkommenden Arten in semiquantitativen Mengenklassen erfasst (*keine, wenige, mehrere, viele* und *massenhaft*). Weiterhin wurden die Dredgefänge fotografisch dokumentiert. Die Fotos sind im Dia-Archiv der Arbeitsgruppe Benthosökologie (Dr. H. Rumohr) des Instituts für Meereskunde an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel archiviert. Die Fotos dienen sowohl der Dokumentation des Beifanges, als auch der Erfassung von Arten die mit dem Greifer nur schwer oder gar nicht zu erhalten sind. An einigen Stationen (Anhang Tab. A-1) wurden Unterproben der Dredge genommen, die in 1-Liter-Kautexflaschen mit 4 %igem Formalin-Borax-Seewassergemisch fixiert wurden. Im Labor wurden die Unterproben der Dredge über einem 500 µm-Sieb gewaschen (RUMOHR 1999). Danach wurden die Arten in Sortierschalen unter dem Binokular (Leica MS 5) bei 6,5-10facher Vergrößerung nachbestimmt und die Ergebnisse protokolliert.

Innerhalb dieser Arbeit wurde die Darstellung der Fauna nur anhand der Greiferproben erarbeitet. Auf die Einbeziehung der Dredge-Fänge wurde verzichtet, da das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf den Arten *Ensis directus* und *Spisula solida* liegt. Die Ergebnisse der Dredgefänge von Bord sind ebenfalls in der Arbeitsgruppe Benthosökologie archiviert. Eine Ausnahme bilden die Fänge der Ausfahrten im März und November 2000, hier wurden alle Individuen von *Spisula solida* aus den Dredgen gesammelt. Im Mai 2001 wurde auf der Amrumbank entlang des 8. Längengrades (von 54° 38,80 bis 54° 37,00) gezielt nur auf *Spisula solida* gedredgt. Nach der fotografischen Dokumentation der Dredge wurden die Individuen von *Spisula solida* aussortiert und fixiert. Die restlichen Tiere wurden protokolliert und danach verworfen.

## 2.4 Bearbeitung und Auswertung der Greiferproben

An Bord wurde das Sediment durch die Inspektionsklappen des Greifers betrachtet und die Sedimentbeschaffenheit im Protokoll vermerkt (Anhang Tab. A-1). Der gesamte Inhalt jedes Greifers wurde in Wannen gespült und mit Seewasser über ein 1000 µm bzw. 2000 µm-Sieb geschlemmt (Anhang Tab. A-1). Der Überstand aus dem Sieb wurde in 1-Liter-Kautexflaschen überführt und in einem 4 %igen Formalin-Borax-Seewassergemisch fixiert.

Für die Auswertung im Labor wurden die Proben über einem 500 µm-Sieb gespült (RUMOHR 1999) und so von Sediment- und Formalinresten befreit. Anschließend folgte die portionsweise Überführung in eine Sortierschale und die Vorsortierung unter dem Binokular (Leica M 3; 6,4fache Vergrößerung) in Petrischalen. Danach wurden die Arten unter dem Binokular (Leica M 3, Leica MZ 8) bei bis zu 50facher Vergrößerung gezählt, bestimmt und die Ergebnisse protokolliert (Anhang Tab. A-2). Teilweise wurden Arten unter dem Mikroskop (Olympus BH-2) mit bis zu 400facher Vergrößerung bestimmt. Dies gilt für die Gattungen *Spio* (Spionida, Polychaeta), *Capitella* (Capitellida, Polychaeta), *Malmgreniella* (Phyllodocida, Polychaeta), *Atylus* (Amphipoda, Crustacea), *Pontocrates* (Amphipoda, Crustacea) und *Synchelidium* (Amphipoda, Crustacea).

Für jeden Greifer wurde eine Liste angefertigt, die die gefundenen Arten und die jeweilige Anzahl der Individuen dokumentiert (Anhang Tab. A-2). Einige Taxa wurden nicht bis zur Art bestimmt:

### Polychaeta

Die Arten der Gattung *Capitella* werden anhand der Genitalhaken im 8. und 9. Borstensegment, sowie der Kapillarborsten der 3 – 4 bzw. 6 – 7 Borstensegmente bestimmt (HARTMANN-SCHRÖDER 1996). Bei einer zu geringen Größe der Tiere wurde auf eine genaue Bestimmung verzichtet.

Bei kleinen Individuen der Gattung *Eumida* wurde keine Artbestimmung vorgenommen. Die Arten werden anhand der Gestalt der Dorsalcirren und der Ventralcirren bestimmt, sowie dem Größenverhältnis der Ventralcirren zum Neuropod (HARTMANN-SCHRÖDER 1996). Bei kleinen Exemplaren ist daher die Bestimmung der Art zu spekulativ.

Individuen der Gattung *Nephtys* unter 20 mm Körperlänge wurden nicht näher bestimmt.

Innerhalb der Gattung *Spio* unterscheidet man die Arten anhand des Beginns des Auftretens von Hakenborsten am Neuropod (DE KLUIJVER et al. 2000B). Da einige Individuen nicht vollständig vorhanden waren, war die Bestimmung bis zur Art nicht möglich.

### Crustacea

In der Nordsee kommen folgende Arten der Gattung *Bathyporeia* vor: *B. guilliamsoniana*, *B. pelagica*, *B. elegans*, *B. tenuipes*, *B. pilosa*, *B. sarsi*, *B. nana* (LINCOLN 1979; HAYWARD 1995b). Nach LINCOLN (1979) sind die Arten schwer voneinander zu unterscheiden, daher wurde in dieser Arbeit auf eine genaue Bestimmung verzichtet.

Bei Mysidaceae juv. und Portunidae juv. wurde ebenfalls auf die Artbestimmung verzichtet. Die Individuen waren zu klein um die Bestimmungsmerkmale eindeutig zu identifizieren.

### Sonstige

Alle Tiergruppen, die nicht zu den Gruppen Polychaeta, Bivalvia und Crustacea gehören, wurden unter der Gruppe „Sonstige“ zusammengefasst. Bei den Gruppen Plathelminthes, Nematoda, Nemertini, Anthozoa und Oligochaeta wurde keine Artbestimmung vorgenommen. Dies beruht darauf, dass in der Literatur kaum Daten über die vorkommenden Arten dieser Gruppen vorhanden sind. Daher wurde auch in dieser Arbeit auf eine genaue Bestimmung der Taxa verzichtet. Kleine Individuen der Ophiuroideae wurden aufgrund der geringen Körpergröße ebenfalls nicht bis zur Art bestimmt.

Nach der Aufnahme der Daten wurden die Tiere in Rollrandgläser bzw. größere Tiere in Kautexflaschen überführt und mit 4%igem Formalin-Borax-Gemisch zur weiteren Verwahrung fixiert.

### 2.4.1 Ökologische Indizes

Aus den Daten der aufgestellten Artenlisten wurden die Gesamtabundanzen und Gesamtartenzahlen der einzelnen Stationen und der verschiedenen Hauptgruppen Polychaeta, Bivalvia, Crustacea und Sonstige ermittelt. Die Berechnungen der Abundanzen basieren auf fünf und drei (Probennahme Juli 2001) Greifern mit einer Grundfläche von 0,1 m<sup>2</sup>. Die Werte wurden einheitlich auf 1 m<sup>2</sup> umgerechnet.

Weiterhin wurden die mittleren Abundanzen berechnet. Diese entsprechen dem arithmetischen Mittel aus der Summe der Stationen, wobei auch Stationen berücksichtigt sind, auf denen eine Art nicht vorkam („0“-Werte). Die mittleren Abundanzen wurden anschließend für die Berechnung verschiedener ökologischer Indizes verwendet, mit deren Hilfe die Fauna des Untersuchungsgebietes charakterisiert wird.

#### Diversität

Die Diversität der Regionen wurde mit Hilfe des Shannon-Wiener-Index ( $H'$ ) ermittelt. Sie charakterisiert sowohl die Artenzahl als auch die Ausgewogenheit der Verteilung der Individuen auf die Arten (GRAY 1984):

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left( \frac{n_i}{N} \right) \times \log_2 \left( \frac{n_i}{N} \right)$$

Hierbei ist  $N$  die Gesamtindividuenzahl der Probe,  $n_i$  die Individuenzahl der Art  $i$  und  $S$  die Gesamtartenzahl.

#### Evenness

Die Ausgewogenheit in der Verteilung der Individuen auf die Arten spiegelt sich in der Evenness oder Äquidität ( $J$ ) wieder (GRAY 1984).

$$J = \frac{H'}{H_{\max}} \quad \text{mit } H_{\max} = \log_2(S)$$

### Frequenz

Aus den Artenlisten der Stationen wurde die Frequenz ( $F$ ) der vorkommenden Arten bestimmt. Dieser Index gibt den Anteil der Proben an, in dem eine Art vorkommt. Die Frequenz wird als Maß für die Regelmäßigkeit des Auftretens von Arten verwendet.

$$F = \frac{\text{Anzahl der Proben mit dem gewünschten Merkmal}}{\text{Gesamtzahl der Proben}}$$

### Dominanz

Die Dominanz ( $D$ ) gibt den Anteil der Individuen einer Art an der Gesamtanzahl der Individuen an. Sie zeigt damit, welche Art in der Region hinsichtlich ihrer Individuenzahl überwiegt.

$$D = \frac{\text{Anzahl der Individuen einer Art}}{\text{Anzahl der Individuen aller Arten}}$$

## 2.4.2 Gemeinschaftsanalyse

Die Clusteranalyse ist eine Methode, um Stationen mit ähnlicher Faunenzusammensetzung abzugrenzen. Mit Hilfe der ermittelten Abundanzen und dem Computerprogramm BIODIVERSITY PRO (THE NATURAL HISTORY MUSEUM & THE SCOTTISH ASSOCIATION FOR MARINE SCIENCE. LONDON 1997) wurde eine Ähnlichkeitsmatrix und ein Dendrogramm (*Complete linkage*) für das Gebiet der Amrumbank erstellt. Diese geben die faunistischen Ähnlichkeiten der Proben wieder, die mit Hilfe des BRAY-CURTIS-Index (BRAY & CURTIS 1957) ermittelt wurden. Um den Einfluss extrem abundanter Arten auf die Berechnung der Ähnlichkeiten geringer zu gewichten, wurden die Abundanzwerte vorher mit der vierten Wurzel transformiert (CLARKE & WARWICK 1994).

$$D_{1,2} = \frac{\sum_{j=1}^s \text{abs}(x_{1j} - y_{2j})}{\sum_{j=1}^s (x_{1j} + y_{2j})}$$

$D_{1,2}$  ist die Ähnlichkeit zwischen zwei Proben,  $x_{1j}$  die transformierte Abundanz der Art  $j$  in der Probe 1, und  $x_{2j}$  die transformierte Abundanz der Art  $j$  in der Probe 2.  $S$  entspricht der Gesamtartenzahl.

Eine alternative Darstellung der Ähnlichkeitsstruktur ist die Multidimensionale Skalierung (MDS). Hierzu wurde das Computerprogramm PRIMER verwendet. Die Anordnung der Stationen basiert dabei auf der oben genannten Ähnlichkeitsmatrix. In der Darstellung entspricht die Entfernung zwischen den Stationen der Ähnlichkeit. Der Stressfaktor gibt die Güte der Anpassung an zwei Dimensionen wieder: Ein Wert von 0 entspricht einer optimalen Repräsentation, 0,1 einer guten und 0,2 einer mittleren Anpassung (CLARKE & WARWICK 1994). Die Daten wurden für den MDS-Plot nicht transformiert. Eine Extremsituation stellen die Probenahmen im Juli 2001 dar (Larveneinfall von *Ensis directus*); sie wurden daher nicht in die Berechnungen einbezogen.

### 2.4.3 *Ensis directus*

Aus den für die Greifer erstellten Artenlisten wurden die mittleren (arithmetisches Mittel) Abundanzen von *Ensis directus*  $m^{-2}$  berechnet.

Die Individuen wurden mit einer Schieblehre vermessen und die Längen und Breiten (in mm) von *Ensis directus* protokolliert (pro Greifer maximal 100 Individuen). Die juvenilen *Ensis directus* der Stationen **AB 1**, **VOG 1** und **VOG 2** des Juli 2001 wurden mit einer Mikrometerschiene unter dem Binokular (Leica MS 5) bei 6,5facher Vergrößerung vermessen. Große Individuen von *Ensis directus* wurden häufig durch die Probennahme mit dem Greifer abgeschnitten. Die Individuen sitzen dicht an der Oberfläche, sind bei Erschütterung jedoch in der Lage, sich tiefer in das Sediment zurückzuziehen (DREW 1907; WILLMANN 1989, KENCHINGTON et al. 1998). Bei diesen Individuen konnte daher nur die Breite gemessen werden.

Aus den Messwerten wurde ein Längen-Breiten-Plot erstellt, die Regressionsgerade ermittelt und mit deren Hilfe die Längen der nicht vollständigen Muscheln berechnet. Zur Analyse der Größen von *Ensis directus* und ihrem Wachstum im Untersuchungsgebiet wurden die Muscheln anhand ihrer Länge in Klassen (Größenbereich der Klassen: 4 mm) eingeteilt (Anhang Tab. A-3). Für deutlich zu erkennende Kohorten wurde die mittlere Länge in mm ( $\pm$  Standardabweichung) der Muscheln bestimmt.

Die mittlere Wachstumsrate wurde wie folgt berechnet: Zwischen den einzelnen Probemonaten wurde der Zuwachs der mittleren Längen der Kohorten notiert und durch die Anzahl der

Tage zwischen den Probennahmen dividiert (Wachstumsrate in  $\text{mm Tag}^{-1}$ ). Durch die Multiplikation mit 30 (Tagen) erhält man die monatliche Wachstumsrate ( $\text{mm Monat}^{-1}$ ). In die Berechnung wurden nur deutlich zu erkennende Kohorten einbezogen. Aus den ermittelten Wachstumsraten lässt sich die Zuordnung von Längensklassen zu bestimmten Jahrgängen mit guter Sicherheit vornehmen. Die mittlere Mortalität pro Monat (%) beziehungsweise Mortalität pro Jahr (%) wurde in gleicher Weise wie die mittlere Wachstumsrate ermittelt. Als Grundlage dient die Jahrgangsstärke (Anzahl der Individuen in der modalen Längensklasse in %) zwischen den Probennahmeterminen.

#### 2.4.4 *Spisula solida*

Die absoluten und mittleren Abundanzen von *Spisula solida* beruhen ebenfalls auf den aus den Greiferproben erstellten Listen. Auch hier entsprechen die Zahlen einem Vorkommen auf einem  $\text{m}^2$ . Für die Längenuntersuchungen der Trogmuscheln aus den Greifern wurden diese anlehnend an Kapitel 2.4.3 in Größenklassen eingeteilt (Anhang Tab. A-4); gleiches gilt für die Muscheln aus der in Kapitel 2.3 erwähnten Dredge.

Im November 2000 wurden zusätzlich *Spisula solida* mit einem kommerziellen Muschelfischer gefangen. Die Muscheln stammen von der Station **AB 1** und **2** auf der Amrumbank, sowie dem *Spisula*-Sperrgebiet. *Spisula solida* wurde hier mit einer hydraulischen Dredge befischt. Der Fang läuft über ein Fließband, auf dem sowohl kleinere Individuen als auch teilweise Beifang aussortiert werden. Von diesem Fließband wurden Unterproben des Fanges in 1-Liter-Kautexflaschen überführt und fixiert. Im Labor wurden die Muscheln vermessen und zur weiteren Auswertung in 4 mm-Größenklassen eingeteilt (Anhang Tab. A-4).

## 2.5 Bearbeitung und Auswertung der Detritus-Dredgeproben

Mit einer Ockelmann-Dredge wurde versucht frischgesiedelte Muscheln zu fangen. Die Dredge wurde circa eine Minute bei 1 – 2 Knoten geschleppt (Kapitel 2.2). An Bord wurde der Inhalt der Dredge mit einem Schlauch bzw. einer Spritzflasche über einen Trichter in eine 1-Liter-Kautexflasche überführt und mit 4 %igem Formalin-Borax-Seewassergemisch fixiert. Im Labor wurden die Proben mit Bengalrosa angefärbt und in einem Gerät zur Vorsortierung von Benthosproben nach PAULY (1973) eine halbe Stunde gewaschen. Das Prinzip dieses Gerätes beruht auf der kontinuierlichen Elutriation der Probe. Wasser wird durch eine Wasserstrahlpumpe mit Luftbläschen angereichert und strömt von unten in die Probe, die sich in ei-

nem Trichter befindet, ein. Über den Rand des Trichters fließt das Wasser ab und nimmt die Organismen mit. Diese werden dann in Sieben verschiedener Größen aufgefangen. Große Bestandteile wurden über einem 1000 µm-Sieb aufgefangen und verworfen. Kleinere, leichte Bestandteile wie Larven, juvenile Tiere und Detritus, wurden in einem 63 µm-Sieb aufgefangen und in Petrischalen überführt.

Unter dem Binokular (Leica M 3) wurden bei 16 – 40facher Vergrößerung die in der Probe enthaltenen Tiere gezählt und bestimmt. Die Daten wurden protokolliert und die Proben danach zur weiteren Verwahrung in 50 ml-Kautexflaschen überführt und mit 4 %igem Formalin-Borax-Gemisch fixiert. Arten der Klasse Bivalvia wurden zur genauen Art- und Größenbestimmung der Probe entnommen und danach in Rollrandgläser mit 4 %igem Formalin-Borax-Gemisch fixiert.

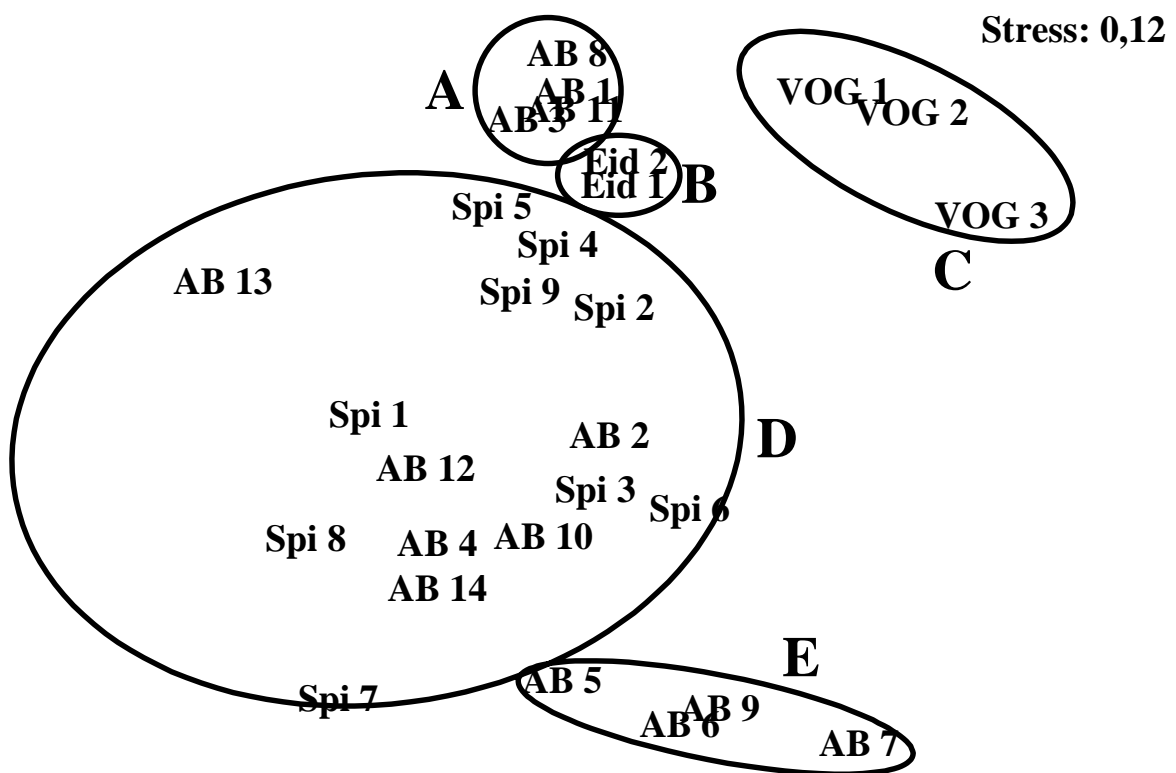
Für jede Detritus-Dredge wurde eine Liste angefertigt, in der die gefundenen Tiere und deren Anzahl dokumentiert wurden. Innerhalb der Gruppe der Bivalvia wurde zusätzlich das Größenspektrum der Muscheln unter dem Binokular (Leica M 3) bestimmt und protokolliert. Die Dredgefänge ermöglichen eine Analyse der Zusammensetzung von juvenilen Bodenstadien. Daher wurden in der Auswertung auch nur die prozentualen Anteile der Gruppen am Gesamtfang angegeben (Anhang Tab. A-5). Da mit den Detritus-Dredgefängen vor allem die frischgesiedelten Bivalvia dokumentiert werden sollen, wurde hier, soweit möglich, eine Artbestimmung vorgenommen. Die Gattung *Tellina* tritt im Untersuchungsgebiet mit den Arten *Tellina fabula* und *Tellina tenuis* auf. Innerhalb der Familie Cardiidae wurden ebenfalls zwei Arten im Untersuchungsgebiet gefunden (Anhang Tab. A-2). Aufgrund der geringen Größen der Muscheln war es nicht möglich eine eindeutige Artbestimmung anhand der charakteristischen Merkmale vorzunehmen. Einige kleine Muscheln konnten wegen der geringen Größe keiner Gattung zugeordnet werden und sind in der Gruppe Bivalvia indet. zusammengefasst. Mit einer Mikrometerschiene wurde der Größenbereich der Muscheln ermittelt und protokolliert.



### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Die Benthosfauna im Untersuchungsgebiet

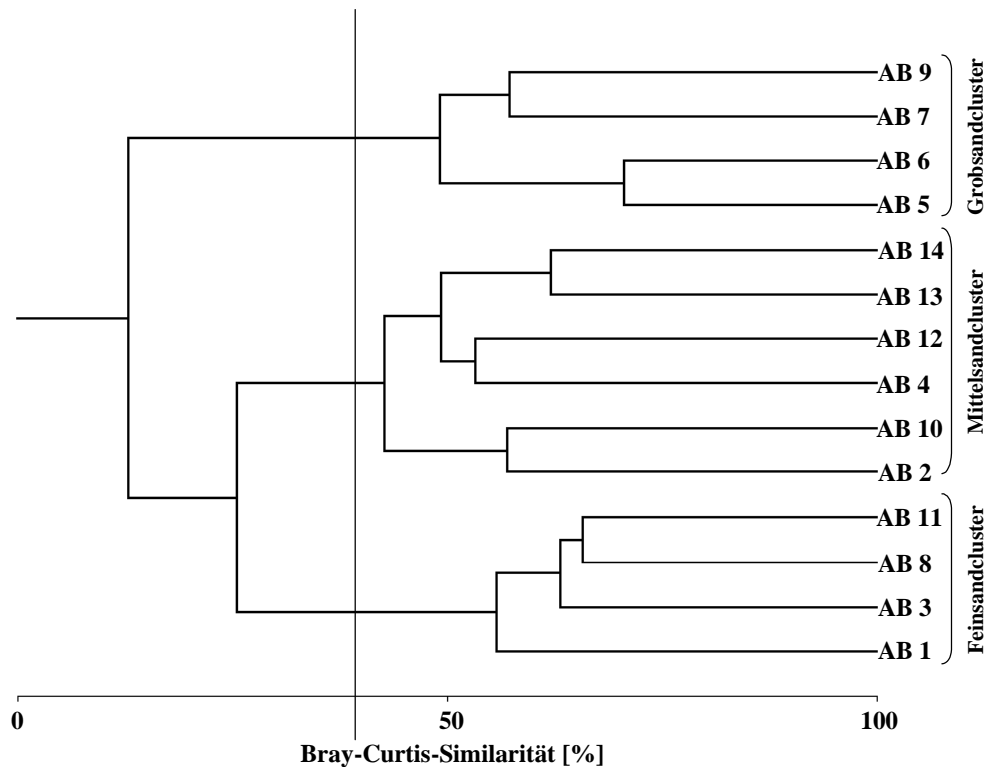
Insgesamt wurden während des Untersuchungszeitraums 28 Stationen (Anhang Tab. A-1) in vier geographisch zu unterscheidenden Regionen (Amrumbank, *Spisula*-Sperrgebiet, Eiderstedt und Vogelsand) beprobt. Anhand der ermittelten Abundanzen der Stationen wurde eine Gemeinschaftsanalyse durchgeführt. Im MDS-Plot kann man fünf Cluster (A – E) voneinander trennen (Abb. 3.1).



**Abb. 3.1:** MDS-Plot der Abundanz der Arten an den Stationen. Die Buchstaben kennzeichnen die Cluster im Untersuchungsgebiet: A = Feinsandzone der Amrumbank; B = Eiderstedt; C = Vogelsand; D = Mittelsandzone der Amrumbank und *Spisula*-Sperrgebiet; E = Grobsandzone der Amrumbank.

Der MDS-Plot zeigt weitestgehend die geographischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet. Die Stationen **Eid 1** und **2** vor Eiderstedt entsprechen dem Cluster B, **VOG 1 – 3** auf dem Großen Vogelsand dem Cluster C. Im Cluster D ist das *Spisula*-Sperrgebiet (Stationen **Spi 1 – 9**) enthalten. Die Station **Spi 7** und **AB 13** weisen die größten Entfernungen zu den anderen Stationen auf; beide sind nur einmal beprobt worden. **Spi 7** gehört topographisch zum *Spisula*-Sperrgebiet und wird daher dem Cluster D zugeordnet. Das größte Gebiet, die Am-

rumbank (14 Stationen) verteilt sich auf verschiedene Cluster (A, D und E). Um die Stationen eindeutig voneinander trennen zu können wurde zusätzlich eine Clusteranalyse der Amrumbank durchgeführt (Abb. 3.2).



**Abb. 3.2:** Dendrogramm (Complete linkage, vierte Wurzel) der Stationen auf der Amrumbank.

Bei einer Grenz-Similarität von 40 Prozent lassen sich deutlich drei Cluster unterscheiden, die durch verschiedene Artenzusammensetzungen gekennzeichnet sind und die Gemeinschaften des Grob-, Mittel- und Feinsandes auf der Amrumbank widerspiegeln (Anhang Tab. A-2). Die Stationen **AB 1, 3, 8** und **11** entsprechen der Feinsandzone der Amrumbank (Cluster A im MDS-Plot), **AB 2, 4, 10, 12, 13** und **14** der Mittelsandzone (Cluster D im MDS-Plot) und **AB 5, 6, 7** und **9** der Grobsandzone (Cluster E im MDS-Plot). Im weiteren Verlauf der Auswertung werden die Gemeinschaften getrennt dargestellt.

### 3.1.1 Artenzahl, Abundanz, Diversität und Evenness im Untersuchungsgebiet

Insgesamt wurden im untersuchten Gebiet 120 Taxa gefunden. Davon gehörten 46 zu der Gruppe der Polychaeta, 39 zu den Crustacea, 19 zu den Bivalvia und 16 zu der Gruppe der Sonstigen (davon 3 Arten von Echinodermata und 5 Pisces-Arten). In den Regionen wurden unterschiedlich häufig Proben genommen (Tab. 3.1). Die maximale Artenzahl ist auf der Amrumbank im Feinsandbereich mit 43 (**AB 1**, Mai 2001), die niedrigste Artenzahl im Mittelsandbereich mit 6 (**AB 10**, Mai 2001) zu finden. Die mittlere Artenzahl schwankt zwischen 12 (Grobsandzone) und 23 (Feinsandzone). Den Hauptanteil haben hierbei die Polychaeten mit 6 – 10 Taxa, die Gruppen Bivalvia und Crustacea bilden den zweitgrößten Anteil mit 2 – 6 Taxa. Die Gruppe der Sonstigen hat mit nur 1 – 2 Taxa einen geringen Anteil an der Artenzahl.

**Tab. 3.1:** Anzahl der Probennahmen, max. und min. Artenzahlen [AZ], max. und min. Abundanzen [ $m^2$ ], Diversität und Evenness, sowie Anteile der Hauptgruppen an der mittleren Arten- und Individuenzahl der Stationen zusammengefasst zu Regionen. (Differenzen zwischen der mittleren Arten- bzw. Individuenzahl und den einzelnen Hauptgruppen basieren auf Rundungsabweichungen.)

	Amrumbank			Spisula- Sperrgebiet	Eiderstedt	Vogelsand
	Feinsand	Mittelsand	Grobsand			
Anzahl der Probennahme	17	13	11	22	9	5
Maximale Artenzahl [AZ]	43	30	19	27	27	19
Minimale Artenzahl [AZ]	9	6	7	8	18	7
Mittlere Artenzahl [AZ]	23	18	12	14	22	14
Polychaeta [AZ]	10	9	7	8	10	6
Bivalvia [AZ]	5	3	2	3	5	6
Crustacea [AZ]	5	3	3	2	6	2
Sonstige [AZ]	2	2	1	1	1	1
Diversität	1,75	4,19	3,43	3,98	2,97	1,05
Evenness	0,27	0,69	0,64	0,66	0,49	0,20
Maximale Individuenzahl [ $m^2$ ]	13357	954	668	1220	3463	29467
Minimale Individuenzahl [ $m^2$ ]	36	26	40	40	344	106
Mittlere Individuenzahl [ $m^2$ ]	3051	221	139	252	969	7971
Polychaeta [ $m^2$ ]	588	157	97	143	268	826
Bivalvia [ $m^2$ ]	2343	31	19	82	651	7128
Crustacea [ $m^2$ ]	32	29	12	23	39	4
Sonstige [ $m^2$ ]	88	5	10	5	10	13

Die maximalen Individuenzahlen streuen sehr weit zwischen 29467 (**VOG 2**, Juli 2001) und 668 Individuen  $m^{-2}$  (**AB 7**, Mai 2001). Die minimale Abundanz liegt zwischen 26 (**AB 10**, Mai 2001) und 344 Individuen  $m^{-2}$  (**Eid 1**, Mai 2001). Die mittleren Abundanzwerte schwanken zwischen 139 (Grobsandcluster) und 7971 (Vogelsand) Individuen  $m^{-2}$ . Die extrem hohen

maximalen Abundanzen sowie die relativ hohen mittleren Abundanzen basieren auf der hohen Dichte der Bivalvia. So sind auf der Amrumbank im Feinsandbereich im Mittel 2343 Bivalvia  $\text{m}^{-2}$  zu verzeichnen und im Bereich des Vogelsandes sogar 7128 Bivalvia  $\text{m}^{-2}$  (Anhang Tab. A-2). Diese hohen Werte beruhen allein auf dem Vorkommen von *Ensis directus*. Im Juli 2001 sind an der Station **AB 1** allein 10796 Individuen  $\text{m}^{-2}$  dieser Muschelart zu verzeichnen (Anhang Tab. A-2). Ähnliche Verhältnisse liegen in der Region Vogelsand vor (Juli 2001: 25513 *Ensis directus*  $\text{m}^{-2}$ ). Auch die maximale Individuenzahl von 3463 Individuen  $\text{m}^{-2}$  in der Region Eiderstedt beruht auf den Abundanzwerten von *Ensis directus* (**Eid 1**, Juli 2001).

Den zweitgrößten Anteil an der Abundanz hat die Gruppe der Polychaeten. Hier schwanken die mittleren Individuenzahlen zwischen 97 und 826  $\text{m}^{-2}$ . Die mittleren Abundanzen von 826 Polychaeten  $\text{m}^{-2}$  in der Region Vogelsand und 588 Polychaeten  $\text{m}^{-2}$  im Amrumbank Feinsandbereich werden von wenigen Arten dominiert. Im Bereich des Vogelsandes ist vor allem die Art *Lanice conchilega* in hohen Siedlungsdichten vertreten (**VOG 2**, Juli 2001: 2767  $\text{m}^{-2}$ ). Im Feinsandcluster der Amrumbank sind es die Arten *Spiophanes bombyx* (**AB 1**, August 2000 bzw. Juli 2001: 1544 bzw. 1030  $\text{m}^{-2}$ ) und *Lanice conchilega* (**AB 1**, Juli 2001: 1030  $\text{m}^{-2}$ ).

Die Gruppen der Crustacea und der Sonstigen haben nur einen geringen Anteil an den Abundanzwerten. Im Verhältnis zu den hohen Anteilen der Polychaeten und der Bivalvia, ist ihr Einfluss auf die Individuenzahlen  $\text{m}^{-2}$  vernachlässigbar.

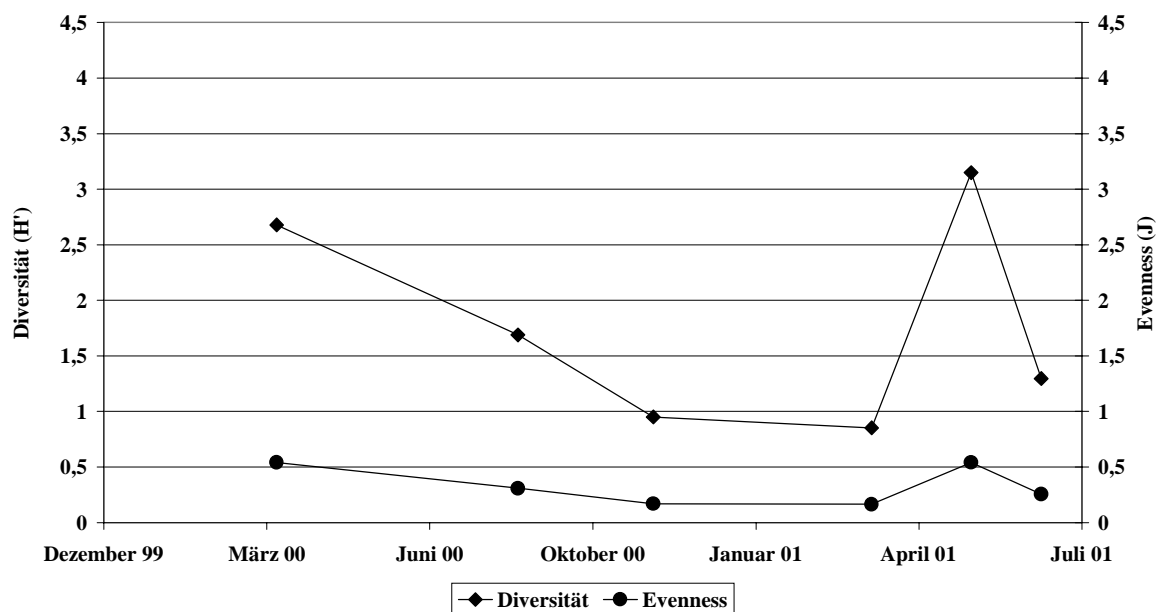
Hohe Diversitäts- und Evennesswerte sind in der Mittelsandzone der Amrumbank zu finden. In dieser Region ist eine hohe Artenzahl vorhanden auf die die Individuen relativ gleichmäßig verteilt sind. Niedrige Werte sind im Bereich des Vogelsandes zu verzeichnen ( $D = 1,05$ ;  $J = 0,20$ ), das heißt viele Individuen sind auf wenige Arten verteilt. Dies spiegelt die schon beschriebene sehr hohe Dominanz von *Ensis directus* wieder. Gleiches gilt für die Diversität und Evenness im Feinsandbereich der Amrumbank.

### 3.1.2 Diversität und Evenness der Regionen im zeitlichen Verlauf

Im Verlauf eines Jahres schwanken die Werte der Arten- und Individuenzahl, wodurch sich auch die Diversität und Evenness ändern. Diese beiden ökologischen Indizes sind in Abb. 3.2 – 3.7 graphisch über den gesamten zeitlichen Verlauf der Beprobung dargestellt. Zu den Probennahmeterminen sind in einer Region zum Teil unterschiedliche Stationen beprobt worden. Damit die einzelnen Regionen zu jedem Probennahmetermin annähernd aus den glei-

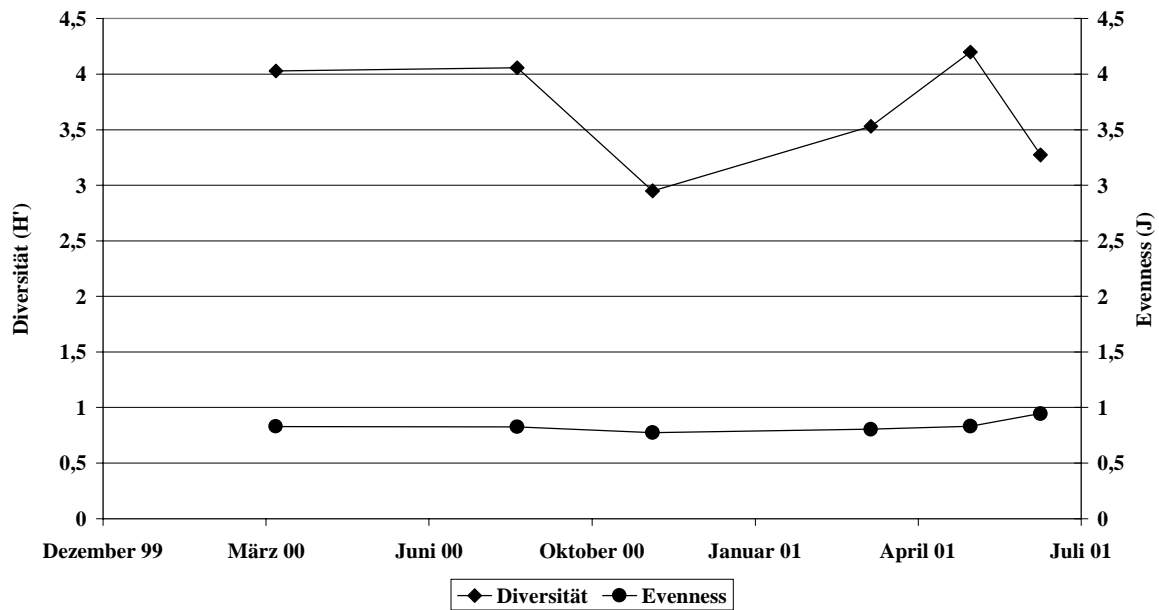
chen Stationen bestehen und vergleichbar sind, wurden einige Stationen in die Berechnungen der Diversität und Evenness nicht mit einbezogen. So sind bei den folgenden Abbildungen im Amrumbank-Feinsandbereich die Station **AB 3** und im Mittelsandbereich die Stationen **AB 12, 13** und **14** nicht berücksichtigt worden. Die Station **AB 3** wurde zweimal, die anderen drei Stationen jeweils nur einmal beprobt. Gleiches gilt für die Stationen **Spi 7** und **8** im *Spi-sula*-Sperrgebiet.

In der Feinsandzone der Amrumbank wird der Abfall der Diversität (von 2,68 bis 0,85) als auch der Evenness (von 0,54 bis 0,16) von März 2000 bis März 2001 deutlich (Abb. 3.3). Ab Mai 2001 ist ein schneller Anstieg für die Diversität (Max. von 3,15) und die Evenness (0,54) zu verzeichnen. Im Juli 2001 fallen die Werte wieder auf 1,30 bzw. 0,26 ab.

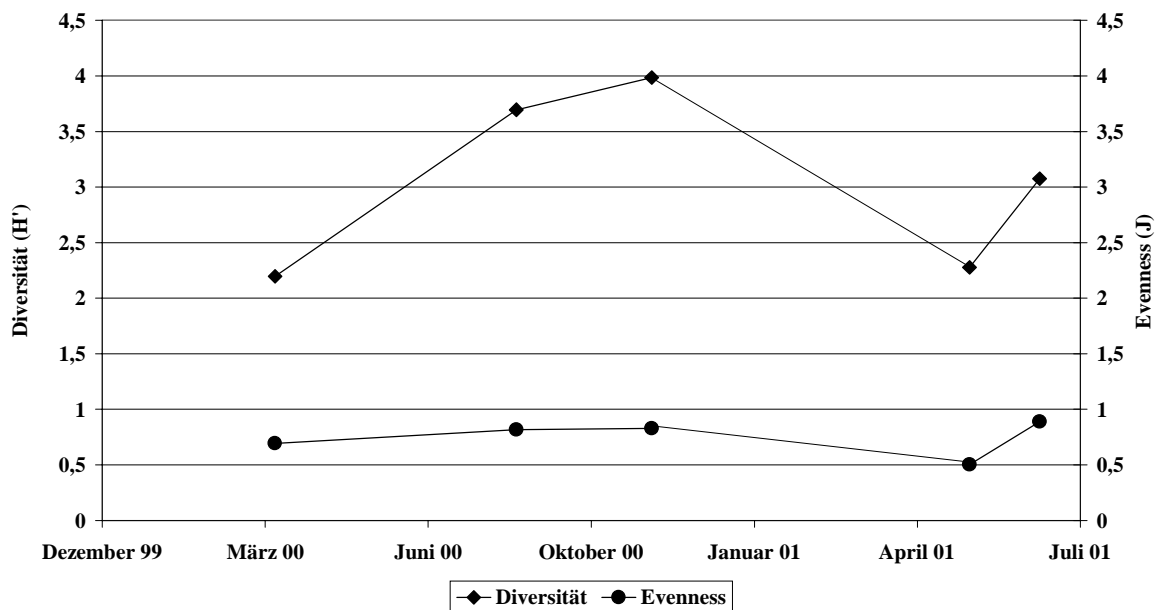


**Abb. 3.3:** Diversität und Evenness in der Feinsandzone der Amrumbank während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen nur der optischen Orientierung.

Die Werte der Diversität und der Evenness in der Mittelsandzone (Abb. 3.4) liegen im Allgemeinen höher als in der Feinsandzone der Amrumbank. Im März und August 2000 sind die Diversität (4,03 und 4,06) sowie die Evenness (beide 0,83) konstant. Zu einem leichten Abfall kommt es im November 2000, vor allem der Diversität (2,95). Die Werte steigen im weiteren Verlauf wieder an und erreichen im Mai 2001 die des Vorjahres. Die Diversität sinkt erneut bis Juli 2001 ab (3,27) während die Evenness ansteigt (0,95).



**Abb. 3.4:** Diversität und Evenness in der Mittelsandzone der Amrumbank während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.

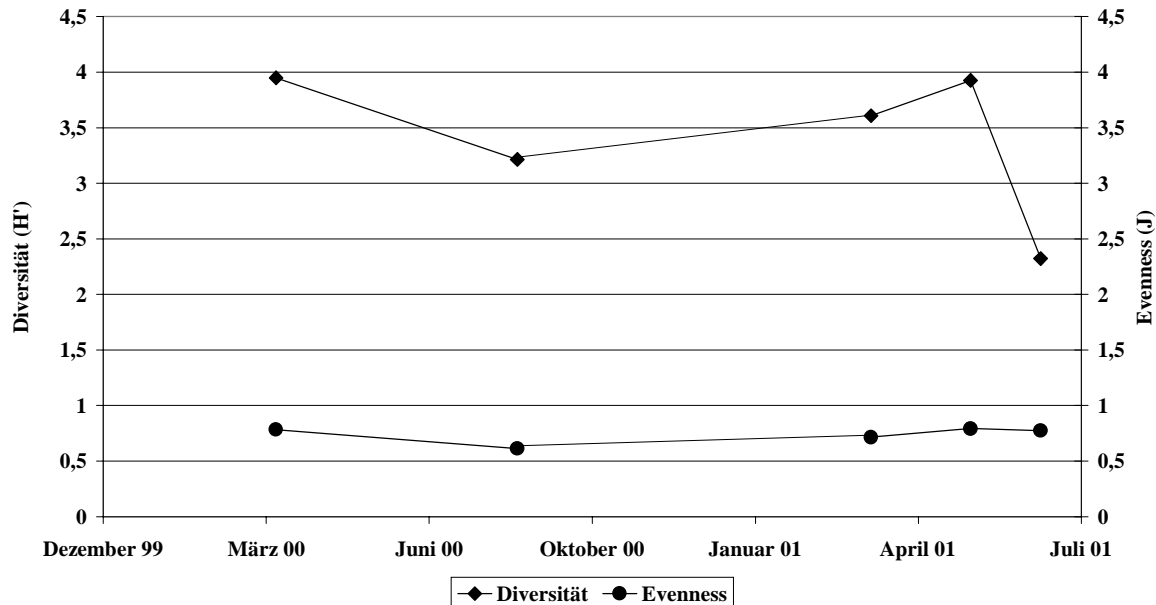


**Abb. 3.5:** Diversität und Evenness in der Grobsandzone der Amrumbank während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.

Im Grobsandbereich der Amrumbank (Abb. 3.5) steigen die Werte bis zum November 2000 an (Diversität von 2,20 auf 4,00; Evenness von 0,70 auf 0,83). Anschließend ist bis zum Mai 2001 wieder ein Abfall zu verzeichnen ( $H' = 2,28$ ;  $J = 0,50$ ). Während in allen anderen Regi-

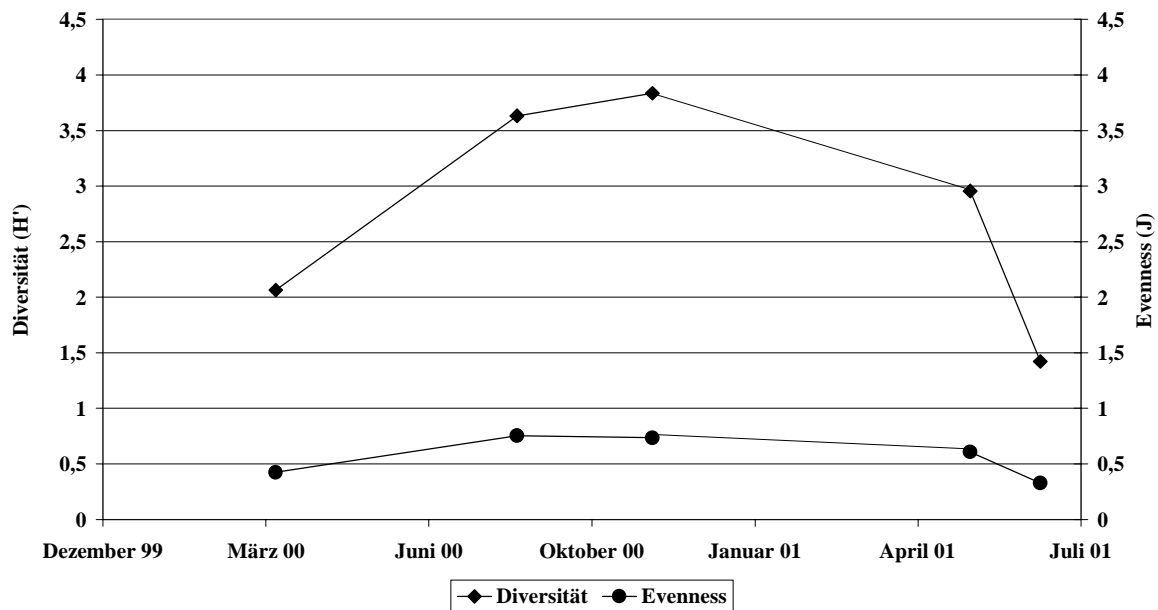
onen die Diversität und Evenness von Mai bis Juli 2001 abnehmen, steigen beide Werte im Grobsandbereich an ( $H' = 3,08$ ;  $J = 0,89$ ).

Im *Spisula*-Sperrgebiet (Abb. 3.6) sinken Diversität und Evenness von März 2000 bis August 2000 von 3,95 auf 3,22 bzw. 0,78 auf 0,61. Im Frühjahr 2001 steigen die Werte an und sinken zum Juli hin wieder. Im Juli 2001 beträgt die Diversität 2,32 und die Evenness 0,77.



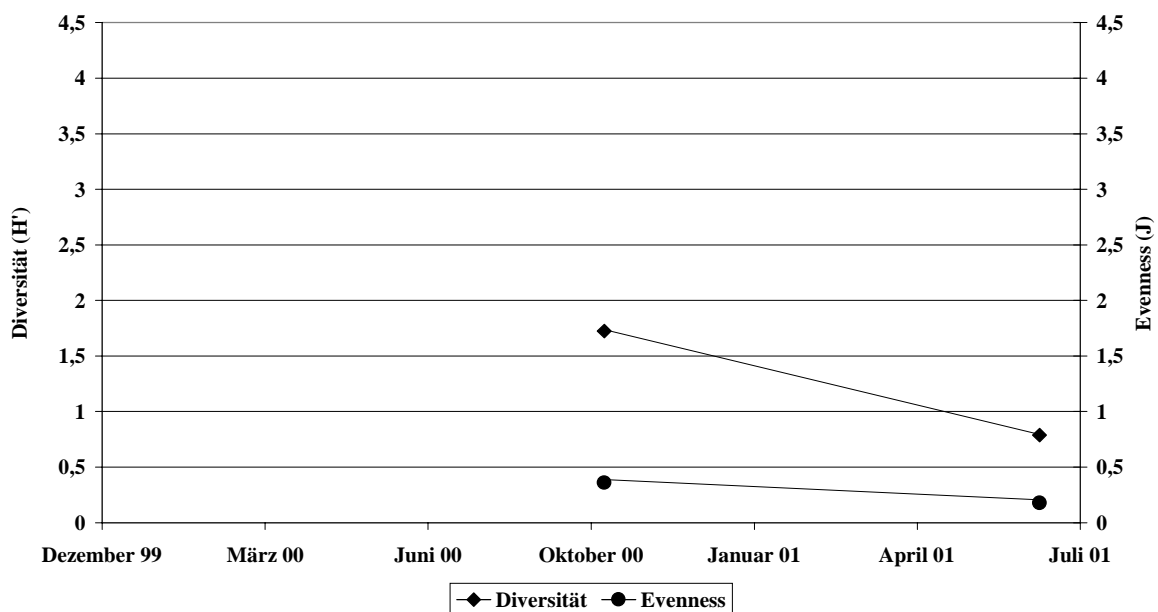
**Abb. 3.6:** Diversität und Evenness im *Spisula*-Sperrgebiet während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.

Die Diversität in der Region vor Eiderstedt steigt von März 2000 ( $H' = 2,06$ ) bis November 2000 ( $H' = 3,84$ ) an (Abb. 3.7). Anschließend sinken die Werte vor allem zwischen Mai 2001 und Juli 2001 relativ stark. Im Juli wird nur noch eine Diversität von 1,42 erreicht. Die Evenness zeigt ebenso wie die Diversität einen ungefähren Bogenverlauf. Der höchste Wert wird im August 2000 mit  $J = 0,76$  erreicht, der niedrigste im Juli 2001 mit  $J = 0,34$ .



**Abb. 3.7:** Diversität und Evenness im Gebiet vor Eiderstedt während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.

Die Stationen des Vogelsandes sind zweimal beprobt worden (Abb. 3.8), daher ist hier nur ein Vergleich der beiden Probenmonate möglich. Diversität und Evenness sind im Oktober 2000 ( $H' = 1,72$ ;  $J = 0,36$ ) höher als im Juli 2001 ( $H' = 0,79$ ;  $J = 0,18$ ). Die Werte im Gebiet des Vogelsandes sind die niedrigsten, die während der Untersuchung auftraten. Diese geringen Werte basieren auf dem massenhaften Vorkommen von juvenilen *Ensis directus* im Juli 2001.



**Abb. 3.8:** Diversität und Evenness im Gebiet Vogelsand während des Untersuchungszeitraums (März 2000 – Juli 2001). Die Linien zwischen den Punkten dienen der optischen Orientierung.



Aus den sechs Abbildungen wird deutlich, dass die höchsten Werte der Diversität im November 2000 (Grobsandbereich, Eiderstedt) bzw. in den weiteren Regionen (Feinsandbereich, Mittelsandbereich, Sperrgebiet und Vogelsand) im März 2001 zu finden sind. In allen Regionen (Ausnahme: Grobsandbereich) sinken die Werte der Diversität zum Juli ab.

### 3.1.3 Dominanz und Frequenz der Arten in den Regionen

Die Dominanz und die Frequenz der vorkommenden Arten sind weitere wichtige Indizes um eine Gemeinschaft zu charakterisieren. Zu den regelmäßig im Untersuchungsgebiet vorkommenden Arten gehören *Nephtys cirrosa*, *Ophelia limacina* und *Ensis directus* (Frequenz: 70,1 %), *Nephtys caeca* und *Spisula solida* ( $F = 63,6$  %), sowie *Magelona mirabilis* und *Scoloplos armiger* ( $F = 58,4$  %).

Im Untersuchungsgebiet dominieren die Gruppen Bivalvia und Polychaeta gegenüber den Crustacea und Echinodermata. Die mit Abstand dominanteste Art im gesamten Untersuchungsgebiet ist *Ensis directus* (Dominanz: 70,3 %). Ihr folgen die Arten *Lanice conchilega* (4,5 %), *Spiophanes bombyx* (4,2 %), *Magelona mirabilis* (4,1 %) und *Tellina fabula* (2,8 %). Zwischen den aus dem MDS-Plot und der Clusteranalyse ermittelten Regionen bestehen große Unterschiede in den Dominanzverhältnissen und Frequenzen der Arten, die im Folgenden dargestellt werden.

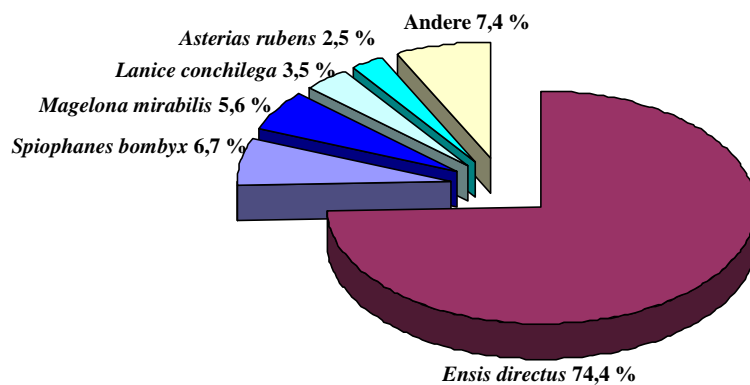
Die Arten *Ensis directus*, *Spiophanes bombyx*, *Magelona mirabilis* und *Lanice conchilega*, sowie *Asterias rubens* dominieren in der Feinsandzone der Amrumbank (Tab. 3.2). Sie haben einen Anteil von 93 % an den mittleren Besiedlungsdichten (Abb. 3.9) und zeigen eine mittlere Abundanz von mehr als 70 m<sup>-2</sup>. Ebenfalls hoch sind die Frequenzen von *Ensis directus*, *Spiophanes bombyx* und *Magelona mirabilis* (alle über 70 %), diese Arten sind also nicht nur dominant, sondern kommen auch regelmäßig an den beprobten Stationen vor. *Spiophanes bombyx* und *Lanice conchilega* sind röhrenbauende Polychaeten (HARTMANN-SCHRÖDER 1996), die häufig zusammen mit *Ensis directus* auf Feinsandhabitaten „Rasen“ bilden. Die Dominanz von *Asterias rubens* entsteht durch ausschließlich juvenile Individuen. Allein an der Station **AB 1** (Mai 2001) beträgt die Abundanz 1280 m<sup>-2</sup>.

**Tab. 3.2:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten in der Feinsandzone der Amrumbank. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.

Art	Dominanz [%]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]
<i>Ensis directus</i>	74,4	76,5	2271
<i>Spiophanes bombyx</i>	6,7	70,6	204
<i>Magelona mirabilis</i>	5,6	76,5	170
<i>Lanice conchilega</i>	3,5	47,1	105
<i>Asterias rubens</i>	2,5	11,8	76
<i>Tellina fabula</i>	1,2	76,5	38
<i>Nephtys cirrosa</i>	1,0	100,0	30
<i>Bathyporeia</i> sp.	0,4	76,5	13
<i>Pectinaria koreni</i>	0,4	5,9	12
<i>Mysella bidentata</i>	0,4	76,5	11
<i>Nephtys hombergii</i>	0,3	70,6	10
<i>Nephtys caeca</i>	0,2	76,5	6
<i>Malmgreniella glabra</i>	0,2	5,9	6
<i>Scolelepis bonnieri</i>	0,2	35,3	6
<i>Tellina tenuis</i>	0,2	70,6	6

Die zweitdominanteste Muschel in der Feinsandzone ist *Tellina fabula*, die regelmäßig ( $F = 76,5\%$ ) in diesem Gebiet vorkommt. *Nephtys cirrosa* war an allen Stationen vertreten, jedoch beträgt die Dominanz dieser Art nur 1,0 % und ist daher von geringer Bedeutung. Weitere Taxa mit hohen Fre-

quenzen sind *Bathyporeia* sp., die einzige Crustacea-Art, die in diesem Gebiet dominant ist, sowie die Polychaeten *Nephtys caeca* und *Nephtys hombergii*.



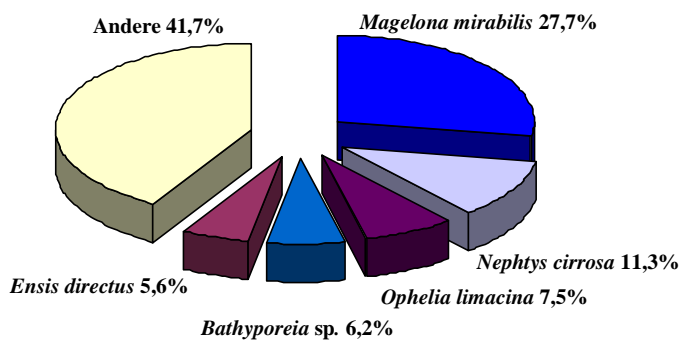
**Abb. 3.9:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % in der Feinsandzone der Amrumbank.

Die Dominanzverhältnisse in der Mittelsandzone der Amrumbank sind schwächer ausgeprägt als in der Feinsandzone (Tab. 3.3). *Magelona mirabilis* als dominanteste Art hat nur einen Anteil von 28 % an der mittleren Abundanz, gefolgt von *Nephtys cirrosa* und *Ophelia limacina* mit einer Dominanz von 11 bzw. 8 % (Abb. 3.10). Es wird deutlich, dass in dieser Region nicht eine Art dominant ist, sondern die Individuen gleichmäßiger auf verschiedene Arten verteilt sind. Dies zeigen ebenfalls die Diversitäts- und Evennesswerte (Kapitel 3.1.2). *Magelona mirabilis* als dominanteste Art weist eine mittlere Abundanz von nur 61 Tieren m<sup>2</sup> auf.

**Tab. 3.3:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten in der Mittelsandzone der Amrumbank. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.

Art	Dominanz [%]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>-2</sup> ]
<i>Magelona mirabilis</i>	27,7	61,5	61
<i>Nephtys cirrosa</i>	11,3	84,6	25
<i>Ophelia limacina</i>	7,5	92,3	17
<i>Bathyporeia</i> sp.	6,2	46,2	14
<i>Ensis directus</i>	5,6	46,2	12
<i>Spio gonioccephala</i>	4,8	61,5	11
<i>Tellina tenuis</i>	3,4	84,6	8
<i>Spisula solida</i>	3,4	76,9	8
<i>Goniadella bobretzkii</i>	2,8	61,5	6
<i>Scolelepis bonnieri</i>	2,4	76,9	5
<i>Nephtys longosetosa</i>	2,2	92,3	5
<i>Spiophanes bombyx</i>	2,0	38,5	4
<i>Scoloplos armiger</i>	1,7	46,2	4
<i>Nephtys caeca</i>	1,5	69,2	3
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	1,4	46,2	3

Auch die folgenden Arten haben im Vergleich zu der Amrumbank-Feinsandzone eine vergleichsweise geringe mittlere Abundanz (*Nephtys cirrosa*: 25 m<sup>-2</sup>; *Ophelia limacina*: 17 m<sup>-2</sup>, *Bathyporeia* sp.: 14 m<sup>-2</sup>). Gleiches gilt für die Dominanz (5,6 %) und mittlere Abundanz (12 Individuen m<sup>-2</sup>) von *Ensis directus* im Mittelsandbereich der Amrumbank. In dieser Region



**Abb. 3.10:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % in der Mittelsandzone der Amrumbank.

kommen sowohl Tiere vor, die im Feinsandbereich gefunden worden sind (zum Beispiel *Magelona mirabilis*, *Ensis directus* und *Spiophanes bombyx*) als auch Arten der Grobsandzone (Beispiele: *Spisula solida* und *Goniadella bobretzkii*). Im MDS-Plot (Abb. 3.1) wird durch die Entfernungen der einzelnen

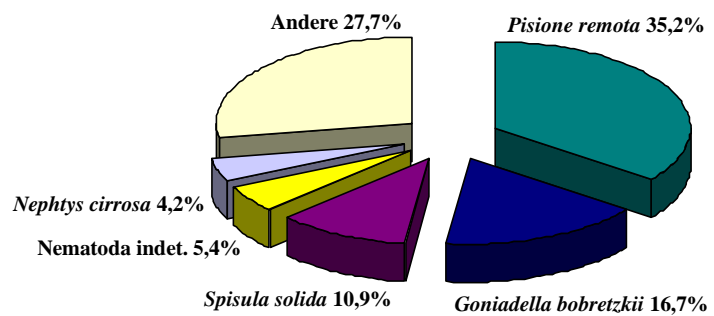
Stationen zum Feinsand- beziehungsweise Grobsandbereich diese Aussage ebenfalls unterstrichen. Die Art mit der höchsten Frequenz ist *Ophelia limacina* (92,3 %). *Nephtys cirrosa* und *Tellina tenuis* haben eine Frequenz von 84,6 %, *Scolelepis bonnieri* und *Spisula solida* eine Frequenz von 76,9 %.

In der Grobsandzone der Amrumbank dominieren die Arten *Pisone remota*, *Goniadella bobretzkii* und *Spisula solida* (Tab. 3.4).

**Tab. 3.4:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten in der Grobsandzone der Amrumbank. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.

Art	Dominanz [%]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]
<i>Pisone remota</i>	35,2	90,9	49
<i>Goniadella bobretzkii</i>	16,7	90,9	23
<i>Spisula solida</i>	10,9	100,0	15
Nematoda indet.	5,4	27,3	7
<i>Nephtys cirrosa</i>	4,2	63,6	6
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	4,1	72,7	6
<i>Ophelia limacina</i>	3,4	81,8	5
<i>Nephtys longosetosa</i>	2,8	90,9	4
<i>Orbinia sertulata</i>	2,4	54,6	3
<i>Thracia papyracea</i>	1,9	45,5	3
<i>Spio filicornis</i>	1,5	27,3	2
<i>Haustorius arenarius</i>	1,4	36,4	2
<i>Spio goniocephala</i>	1,3	54,5	2
<i>Bathyporeia</i> sp.	1,0	27,3	1
<i>Branchiostoma lanceolatum</i>	1,0	27,3	1

Zusammen haben sie einen Anteil von 62,8 % (Abb. 3.11). Die mittlere Abundanz dieser drei Arten liegt bei über 14 m<sup>2</sup>. Die nächstdominante Gruppe der freilebenden Nematoda tritt mit einer mittleren Abundanz von 7 m<sup>2</sup> auf, der Hälfte der Abundanz von *Spisula solida*. Ähnlich wie im Mittelsandbereich gibt es keine Art, die massenhaft vorkommt.



**Abb. 3.11:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % in der Grobsandzone der Amrumbank.

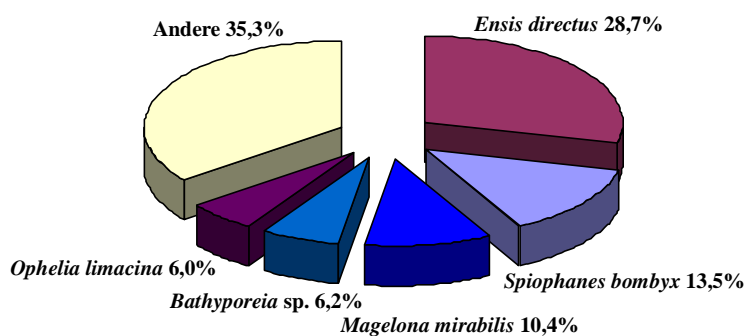
*Pisone remota*, *Goniadella bobretzkii* und *Spisula solida* sind nicht nur dominante Arten, sondern treten auch sehr regelmäßig in diesem Sediment auf (Tab. 3.4). Weitere regelmäßig vorkommende Arten sind *Ophelia limacina* und *Nephtys longosetosa* mit einer Frequenz von 81,82 bzw. 90,91 %. Ebenfalls erwähnenswerte Arten sind *Thracia papyracea*, *Haustorius*

*arenarius*, *Spio filicornis* und *Branchiostoma lanceolatum*, da sie nur in der Grobsandzone gefunden worden sind.

Im *Spisula*-Sperrgebiet sind, wie im Feinsandbereich der Amrumbank *Ensis directus*, *Spiophanes bombyx* und *Magelona mirabilis* die dominantesten Arten (Tab. 3.5). Die Dominanz ist jedoch weniger ausgeprägt; *Ensis directus* weist nur einen Wert von 29 % auf. Auch der Abstand zu den nächstdominanten Arten ist geringer (*Spiophanes bombyx*: 14 %).

**Tab. 3.5:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten im *Spisula*-Sperrgebiet. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.

Art	Dominanz [%]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]
<i>Ensis directus</i>	28,7	90,9	71
<i>Spiophanes bombyx</i>	13,5	45,5	34
<i>Magelona mirabilis</i>	10,4	63,6	26
<i>Bathyporeia</i> sp.	6,2	36,4	15
<i>Ophelia limacina</i>	6,0	90,9	15
<i>Nephtys cirrosa</i>	5,0	72,7	12
<i>Spio goniocephala</i>	5,0	54,5	12
<i>Scoloplos armiger</i>	3,4	81,8	8
<i>Spio martinensis</i>	3,1	13,6	8
<i>Goniadella bobretzkii</i>	2,2	36,4	5
<i>Nephtys caeca</i>	1,5	72,7	4
<i>Macoma balthica</i>	1,4	54,5	3
<i>Spisula solida</i>	1,4	50,0	3
<i>Nephtys longosetosa</i>	1,1	59,1	3
<i>Pisione remota</i>	0,8	22,7	2



**Abb. 3.12:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % im *Spisula*-Sperrgebiet.

Im Gegensatz zum Feinsandbereich der Amrumbank ist keine Art absolut dominant (Abb. 3.12). Die mittleren Abundanzen weisen ebenfalls eine relativ gleichmäßige Verteilung der Individuen auf die Arten auf (Tab. 3.5).

Wie im Mittelsandbereich der Amrumbank sind im Sperrgebiet Arten dominant, die im Feinsandbereich, als auch in der Grobsandzone bereits erwähnt wurden (Beispiele: *Goniadella bobretzkii*, *Pisione remota*, *Spisula solida*). Die Dominanz und

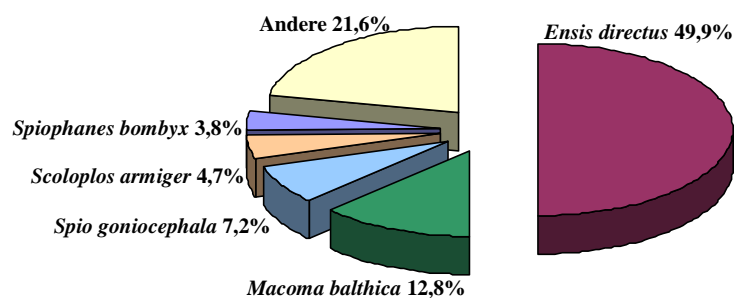
Frequenz der in der Feinsandzone genannten Arten ist im *Spisula*-Sperrgebiet jedoch höher (Tab. 3.5). Dies wird im MDS-Plot (Abb. 3.1) besonders deutlich: die Stationen **Spi 2, 4, 5** und **9** liegen innerhalb des Clusters näher an der Feinsandzone, während **Spi 3, 6, 7** und **8** eine geringere Entfernung zum Grobsandbereich aufweisen.

*Ensis directus* dominiert auch die Fauna in der Region vor Eiderstedt (Tab. 3.6), gefolgt von der Muschelart *Macoma balthica* und dem Polychaeten *Spio goniocephala* (Abb. 3.13).

**Tab. 3.6:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten vor Eiderstedt. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.

Art	Dominanz [%]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]
<i>Ensis directus</i>	49,9	100,0	483
<i>Macoma balthica</i>	12,8	100,0	124
<i>Spio goniocephala</i>	7,2	44,4	70
<i>Scoloplos armiger</i>	4,7	100,0	45
<i>Spiophanes bombyx</i>	3,8	100,0	37
<i>Spio martinensis</i>	3,3	88,9	32
<i>Nephtys hombergii</i>	3,0	100,0	29
<i>Mysella bidentata</i>	2,3	88,9	22
<i>Bathyporeia</i> sp.	1,9	77,8	18
<i>Magelona mirabilis</i>	1,9	77,8	18
<i>Abra alba</i>	0,8	44,4	8
<i>Nephtys</i> sp.	0,6	33,3	6
<i>Capitella capitata</i>	0,6	55,6	6
<i>Tellina fabula</i>	0,6	44,4	5
Ophiuroideae juv.	0,5	22,2	5

Dies zeigen auch die Zahlen der mittleren Abundanzen, da die höchste Individuenzahl bei *Ensis directus* und *Macoma balthica* zu verzeichnen ist (438 bzw. 124 m<sup>2</sup>). In der Region vor Eiderstedt sind einige Arten an jeder beprobten Station und zu allen Jahreszeiten zu finden (*En-*



**Abb. 3.13:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % vor Eiderstedt.

*sis directus*, *Macoma balthica*, *Scoloplos armiger*, *Spiophanes bombyx* und *Nephtys hombergii*). Die Arten *Spio martinensis* und *Mysella bidentata* zeigen ebenfalls eine hohe Frequenz (88,9 %). In dieser Region leben

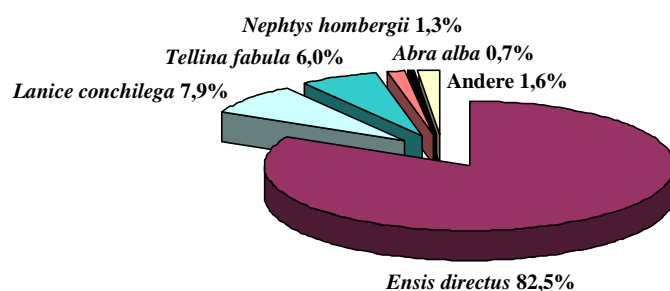
zum einen Arten, die im Feinsandbereich der Amrumbank gefunden worden sind (*Ensis directus*, *Spiophanes bombyx*, *Tellina fabula* und *Nephtys hombergii*), zum anderen Arten, die bekanntermaßen im Feinsand bzw. Schlicksand leben (*Macoma balthica*, *Mysella bidentata*, *Abra alba* und *Capitella capitata*).

Auch die Bodenfauna des Großen Vogelsandes ist geprägt durch die deutliche Dominanz von *Ensis directus* (Tab. 3.7; Abb. 3.14). Die mittlere Abundanz dieser Art beträgt 6575 Individuen m<sup>-2</sup>.

**Tab. 3.7:** Dominanz, Frequenz und mittlere Abundanz der 15 dominantesten Arten auf dem großen Vogelsand. Die in der Tabelle dargestellten Linien dienen der Orientierung.

Art	Dominanz [%]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>-2</sup> ]
<i>Ensis directus</i>	82,5	100,0	6575
<i>Lanice conchilega</i>	7,9	60,0	626
<i>Tellina fabula</i>	6,0	100,0	478
<i>Nephtys hombergii</i>	1,3	100,0	105
<i>Abra alba</i>	0,7	80,0	58
<i>Spio martinensis</i>	0,5	60,0	37
<i>Magelona mirabilis</i>	0,3	60,0	25
<i>Spiophanes bombyx</i>	0,2	80,0	20
<i>Ophiura ophiura</i>	0,1	80,0	11
<i>Capitella capitata</i>	0,1	40,0	8
<i>Macoma balthica</i>	0,1	60,0	4
<i>Cerastoderma edule</i>	0,1	20,0	4
<i>Mytilus edulis</i>	0,0	20,0	3
<i>Mysella bidentata</i>	0,0	60,0	2
<i>Capitella giardi</i>	0,0	20,0	2

Allein an den Stationen **VOG 1** und **2** sind im Juli 2001 6880 bzw. 25513 Individuen m<sup>-2</sup> gefunden worden. Die Muscheln waren nahezu alle juvenil. Der Abstand zur nächstdominanten Art *Lanice conchilega* ist sehr groß (Abb. 3.14). Die fünf dominantesten Arten sind typische Vertreter des Fein- und Schlick-



**Abb. 3.14:** Darstellung der fünf dominantesten Arten in % auf dem großen Vogelsand.

sandes. Dies gilt ebenfalls für die anderen Arten dieser Region. *Ensis directus*, *Tellina fabula*

und *Nephtys hombergii* wurden an jeder Station gefunden (Tab. 3.7). *Abra alba* und *Spiophanes bombyx* treten mit einer Frequenz von 80 % auf. Die Stationen des Vogelsandes zeigen eine ähnliche Zusammensetzung wie die vor Eiderstedt. Es sind sowohl Arten vertreten, die feinsandige-schlicksandige Habitats bevorzugen (*Abra alba*, *Capitella capitata*, *Macoma balthica*, *Mysella bidentata* und *Capitella giardi*) als auch die schon mehrfach erwähnten dominanten Arten des Feinsandes. Der Unterschied zu der Region vor Eiderstedt besteht jedoch vor allem in der enormen Dominanz von *Ensis directus*.

## 3.2 *Ensis directus*

### 3.2.1 Abundanz

Die mittlere Abundanz von *Ensis directus* streut zwischen 1 und 12846 m<sup>-2</sup> (Tab. 3.8). Im gesamten Untersuchungsgebiet beträgt sie 925 m<sup>-2</sup>. Die höchste mittlere Abundanz ist auf dem

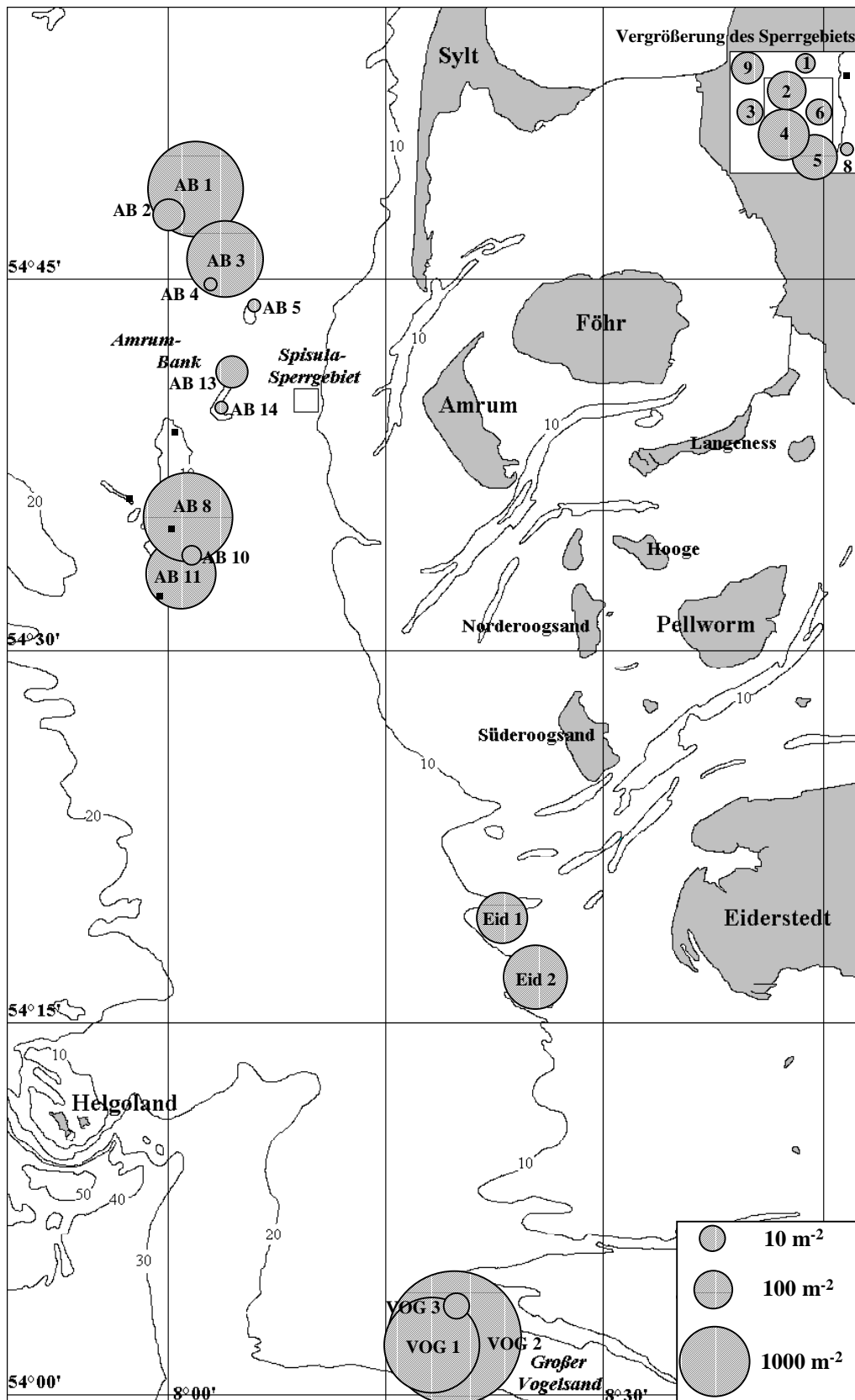
**Tab. 3.8:** Mittlere Abundanz von *Ensis directus* an den untersuchten Stationen.

Station	Mittlere Abundanz [m <sup>-2</sup> ]
AB 1	3608
AB 2	47
AB 3	1145
AB 4	1
AB 5	2
AB 8	2138
AB 10	7
AB 11	998
AB 13	26
AB 14	2
Spi 1	5
Spi 2	99
Spi 3	14
Spi 4	217
Spi 5	159
Spi 6	15
Spi 8	2
Spi 9	52
Eid 1	206
Eid 2	705
VOG 1	3586
VOG 2	12846
VOG 3	10

Großen Vogelsand gefunden worden (5481 m<sup>-2</sup>). Auf der Amrumbank beträgt die mittlere Abundanz 570 m<sup>-2</sup> (Feinsandbereich: 1972 m<sup>-2</sup>, Mittelsandbereich: 14 m<sup>-2</sup>). In der Region vor Eiderstedt wurden 455 m<sup>-2</sup> gefunden, während im *Spisula*-Sperrgebiet eine wesentlich geringere Individuenzahl vorhanden ist. (63 m<sup>-2</sup>). Die Art wurde an fast allen Stationen gefunden (Abb. 3.15). Lediglich an den Stationen **AB 6**, **7** und **9** (alle Grobsandstationen), sowie **AB 12** und **Spi 7** wurden keine Individuen gefunden. Die höchste mittlere Abundanz ist an der Station **VOG 2** zu finden. Dieser Wert beruht auf der Zahlen von juvenilen *Ensis directus* (Juli 2001). Auch die Station **VOG 1** hat eine relativ hohe mittlere Abundanz von 3586 Individuen m<sup>-2</sup>, weitere sind an den Stationen **AB 1** (3608 m<sup>-2</sup>), **3** (1145 m<sup>-2</sup>), und **11** (998 m<sup>-2</sup>) vorhanden. Alle diese Stationen sind reine Feinsandstationen.

Hohe Besiedlungsdichten von *Ensis directus* wurden ebenfalls vor Eiderstedt gefunden. Hier beträgt die mittlere Individuendichte 705 (**Eid 2**) bzw. 206 (**Eid 1**) Individuen m<sup>-2</sup>.





**Abb. 3.15:** Mittlere Abundanz [ $\text{m}^{-2}$ ] von *Ensis directus* als Kreisflächen dargestellt. Die rechte obere Ecke zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des *Spisula*-Sperrgebiets mit den Stationen Spi 1 – 6, 8 und 9 (Zahlen 1 – 6, 8 und 9). Schwarze Punkte markieren Stationen, an denen *Ensis directus* nicht vertreten war.

Zusammenfassend wird deutlich, dass *Ensis directus* an den Feinsandstationen in zum Teil sehr hohen Abundanzen auftritt. Obwohl die Art feinsandige Habitats bevorzugt ist sie jedoch an fast allen anderen Stationen gefunden worden.

Die Individuenzahlen von *Ensis directus* an den einzelnen Stationen änderten sich im Verlauf der Beprobung (Tab. 3.9). Dies wird besonders an den Stationen deutlich, die eine hohe mittlere Abundanz aufweisen (**AB 1**, **AB 8**, **AB 3**, **AB 11**, **Eid 2**, **VOG 1** und **VOG 2**).

**Tab. 3.9:** Abundanz von *Ensis directus* in den einzelnen Probemonaten. Felder, die keine Zahl enthalten, wurden in den entsprechenden Monaten nicht beprobt (-).

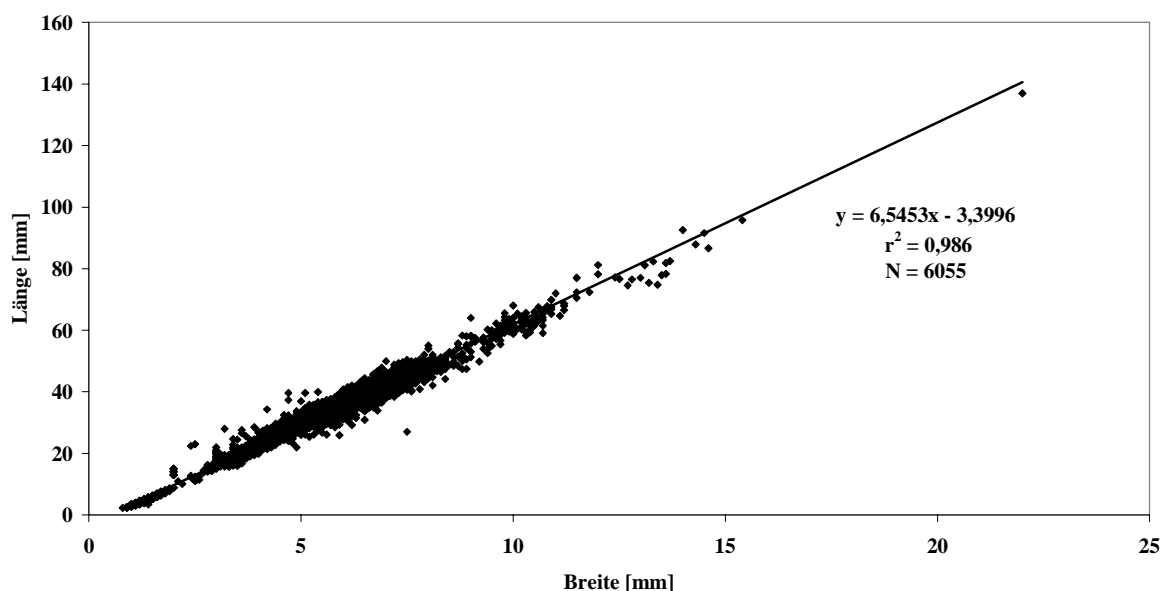
Station	Abundanz von <i>Ensis directus</i> [m <sup>2</sup> ]					
	März 2000	August 2000	Okt./Nov. 2000	März 2001	Mai 2001	Juli 2001
<b>AB 1</b>	28	6780	0	2946	1094	10797
<b>AB 2</b>	-	48	-	46	-	-
<b>AB 3</b>	30	-	-	2260	-	-
<b>AB 4</b>	2	-	-	-	0	-
<b>AB 5</b>	-	0	0	-	-	7
<b>AB 8</b>	2	-	5990	4018	14	667
<b>AB 10</b>	2	0	38	0	0	0
<b>AB 11</b>	-	0	3990	0	0	-
<b>AB 13</b>	-	-	-	-	26	-
<b>AB 14</b>	-	-	-	-	2	-
<b>Spi 1</b>	0	10	-	-	-	-
<b>Spi 2</b>	2	196	-	-	-	-
<b>Spi 3</b>	2	28	-	-	12	-
<b>Spi 4</b>	2	568	-	82	-	-
<b>Spi 5</b>	38	318	-	122	-	-
<b>Spi 6</b>	4	24	-	16	18	13
<b>Spi 8</b>	-	-	-	2	-	-
<b>Spi 9</b>	-	-	-	86	18	-
<b>Eid 1</b>	552	148	114	-	8	-
<b>Eid 2</b>	696	196	104	-	10	2520
<b>VOG 1</b>	-	-	292	-	-	6880
<b>VOG 2</b>	-	-	178	-	-	25513
<b>VOG 3</b>	-	-	10	-	-	-

Die Station **AB 1** weist im August 2000 eine Abundanz von 6780 m<sup>2</sup> auf. Im Oktober/November 2000 sind die Schwertmuscheln an dieser Station völlig verschwunden. Im März 2001 sind knapp 3000 m<sup>2</sup>, im Mai 2001 nur noch ca. 1000 m<sup>2</sup> vorhanden und im Juli steigt die Abundanz auf über 10000 *Ensis directus* m<sup>2</sup> an. Auch an der Station **AB 8** streuen die Abundanzwerte sehr weit. Im Oktober/November 2000 ist mit 5990 m<sup>2</sup> die höchste Abundanz gefunden worden. In der Zeit von März bis Mai 2001 sind die Abundanzen der Schwertmuschel zurückgegangen (März 2001: 4018 m<sup>2</sup>; Mai 2001: 14 m<sup>2</sup>). Im Juli 2001 steigt die Anzahl von *Ensis directus* wieder auf 667 Individuen m<sup>2</sup> an. An der Station **AB 11**

sind nur im November Individuen der Art *Ensis directus* gefangen worden. Zu allen anderen Probennahmezeiten wurde die Muschel nicht gefangen. Die Station **Eid 2** zeigt einen kontinuierlicheren Verlauf der Abundanzwerte. Im Jahr 2000 ist *Ensis directus* regelmäßig an dieser Station aufgetreten. Im Mai 2001 wurden nur 10 Individuen m<sup>2</sup> gefunden, im Juli 2001 dagegen schon wieder 2520 m<sup>2</sup>. Einen ähnlichen Verlauf zeigt die Station **Eid 1**. Obwohl die Stationen **VOG 1** und **2** nur zweimal beprobt worden sind, weisen sie einen großen Schwankungsbereich auf. An beiden Stationen sind im Oktober/November 2000 wesentlich geringere Werte zu finden (**VOG 1**: 292 und **VOG 2**: 178 m<sup>2</sup>) als im Juli 2001 (6880 bzw. 25513 m<sup>2</sup>). Auch die anderen Stationen weisen Schwankungen auf, diese treten durch die allgemein niedrigeren Werte jedoch nicht so deutlich hervor.

### 3.2.2 Größenspektrum und Wachstum

Große Individuen von *E. directus* wurden durch die Probennahme mit dem Greifer überwiegend abgeschnitten; daher wurden die Längen dieser Muscheln mit Hilfe einer Längen-Breiten-Beziehung berechnet (Abb. 3.16). Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen Breite und Länge. Nach VON COSEL et al. (1982) ist das Verhältnis von Länge zu Breite ein Bestimmungsmerkmal von *Ensis directus*. Dies wird auch durch den Korrelationskoeffizienten bestätigt, der mit  $r^2 = 0,986$  eine signifikante Korrelation zwischen Länge und Breite zeigt.



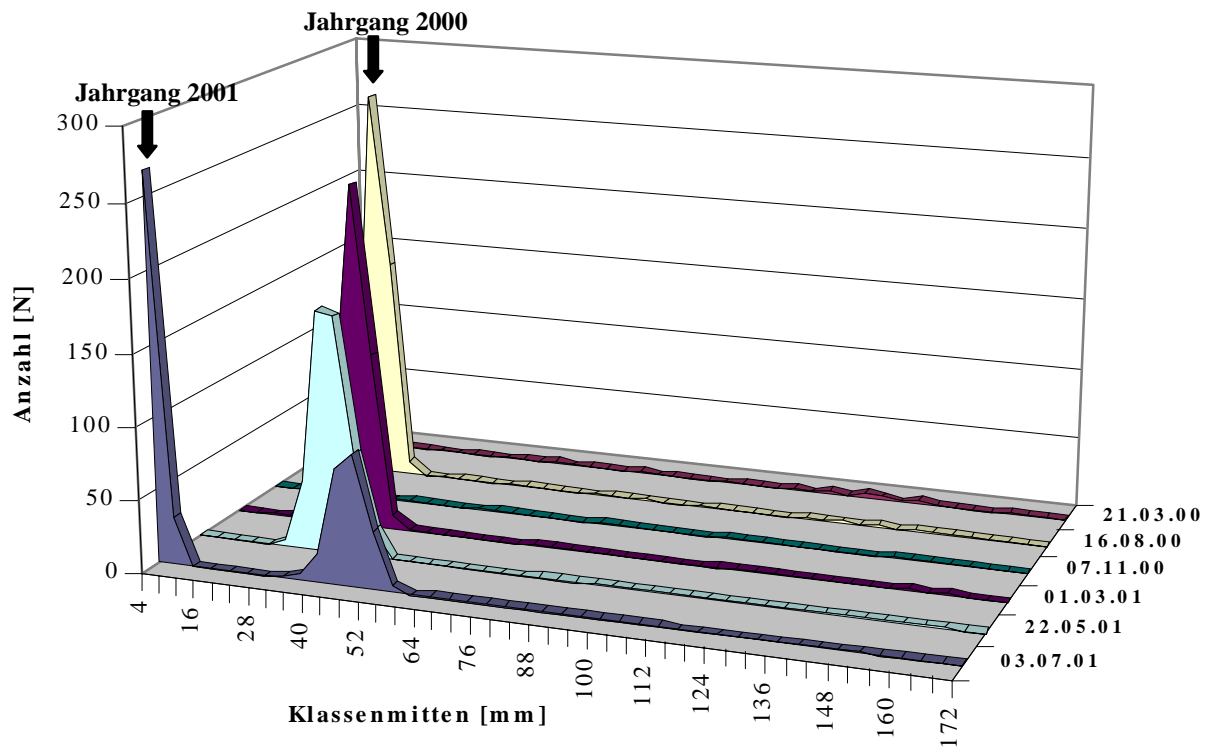
**Abb. 3.16:** Darstellung des Zusammenhangs von Längen und Breiten der vermessenen *Ensis directus* (N), sowie die dazugehörige Regressionsgerade und der Korrelationskoeffizient ( $r^2$ ).

Für die folgenden Graphiken sind die ermittelten Längen von *Ensis directus* in Größenklassen von 4 mm Breite zusammengefasst worden. In Kapitel 3.1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Amrumbank ein relativ großes Gebiet umfasst und unterschiedliche Sedimenttypen beinhaltet. Daher sind in diesem Kapitel nur die Stationen **AB 1** und **AB 8** exemplarisch dargestellt. Diese Feinsandstationen zeigen eine hohe Abundanz von *Ensis directus* und sind regelmäßig beprobt worden. Die Stationen im *Spisula*-Sperrgebiet, in der Region Eiderstedt und Vogelsand sind aufgrund ihrer geographischen Nähe und Homogenität zusammengefasst worden.

Abb. 3.17 zeigt die Längen-Häufigkeitsverteilung von *Ensis directus* an der Station **AB 1** über den gesamten Untersuchungszeitraum (März 2000 – Juli 2001). Der Jahrgang 2000 ist deutlich zu erkennen (rechter Pfeil). Am 16.08.00 umfasst er einen Größenbereich von 10 – 30 mm Muschellänge. (Die Größenangaben des Bereichs beziehen sich jeweils auf die untere bzw. obere Klassengrenze). Die mittlere Länge der Kohorte beträgt  $20,9 \pm 2,6$  mm. Am 01.03.01 verschiebt sie sich auf  $32,1 \pm 3,1$  mm. Am 22.05.01 hat sich der Größenbereich der Kohorte noch weiter nach oben geschoben (22 – 46 mm) und die mittlere Länge beträgt  $34,7 \pm 3,8$  mm. Die mittlere Wachstumsrate vom 16.08.00 – 01.03.01 beträgt  $2$  mm Monat<sup>-1</sup>, zwischen dem 01.03.01 und 22.05.01  $1$  mm Monat<sup>-1</sup>. Im Juli 2001 ist ein deutliches Wachstum der Muscheln zu verzeichnen; der Größenbereich der Kohorte liegt jetzt bei 30 – 58 mm und die Länge bei  $46,5 \pm 3,9$  mm. Damit ergibt sich vom 22.05.01 – 03.07.01 eine mittlere Wachstumsrate von  $8$  mm Monat<sup>-1</sup>. Im Juli 2001 ist die nächste Generation von *Ensis directus* in den Proben sichtbar. Der Größenbereich beträgt 2 – 10 mm und die mittlere Länge  $5,1 \pm 0,9$  mm.

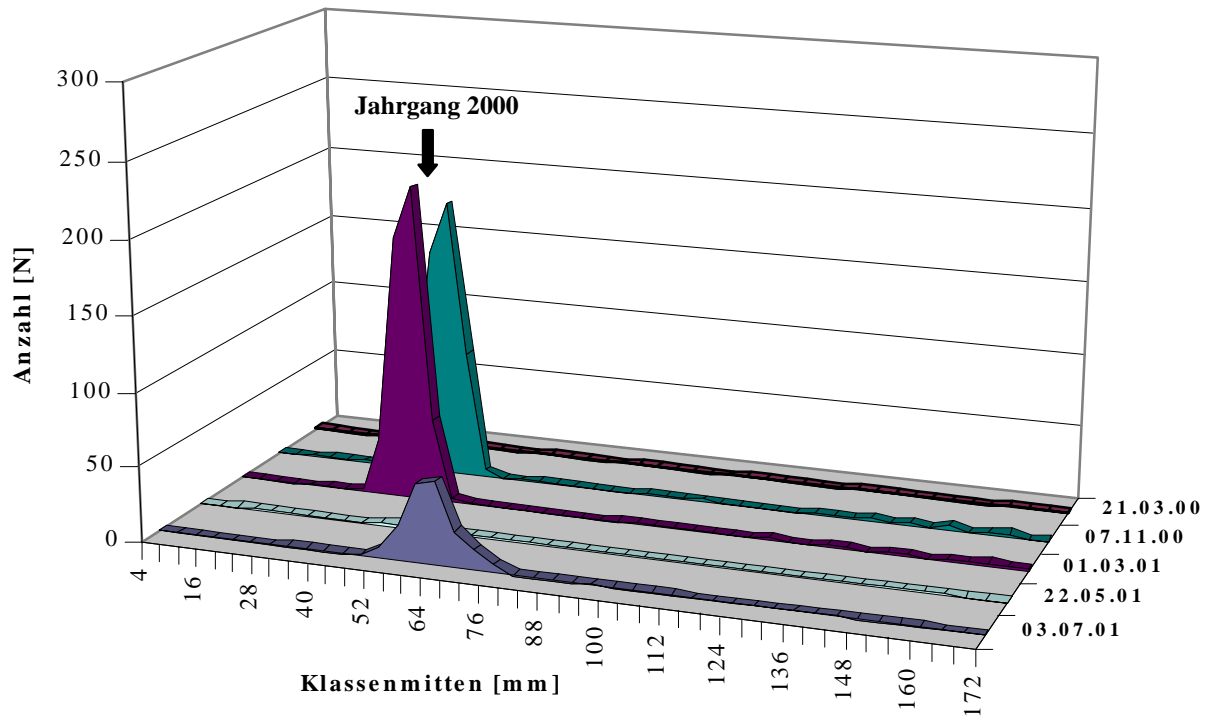
Weiterhin wird folgender Zusammenhang deutlich: je größer die Muscheln werden, desto geringer ist die Anzahl innerhalb der Kohorte (Abb. 3.16). Dies wird vor allem anhand des Jahrgangs 2000 sichtbar. Vom 16.08.00 – 01.03.01 nimmt die Anzahl der Muscheln innerhalb der häufigsten Längenklasse der Kohorte von 276 auf 240 Individuen ab, am 22.05.01 beträgt die Individuenzahl nur noch 167 und am 03.07.01 90. Die nächste Generation im Juli beinhaltet im Vergleich dazu 267 Individuen. Die Mortalität zwischen dem 16.08.00 und 01.03.01 beträgt  $2$  % Monat<sup>-1</sup>; vom 01.03.01 – 22.05.01  $11$  % Monat<sup>-1</sup>. Zwischen dem 22.05.01 und 03.07.01 steigt die Mortalität auf  $32$  % Monat<sup>-1</sup> an. Insgesamt beträgt die mittlere Mortalität für diesen Jahrgang  $77$  % Jahr<sup>-1</sup>.

An Station **AB 1** sind im November 2000 keine *Ensis directus* gefunden worden. Möglicherweise wurde die Station nicht genau mit dem Greifer beprobt und deshalb aufgrund der fleckhaften Verteilung keine Muscheln gefunden.



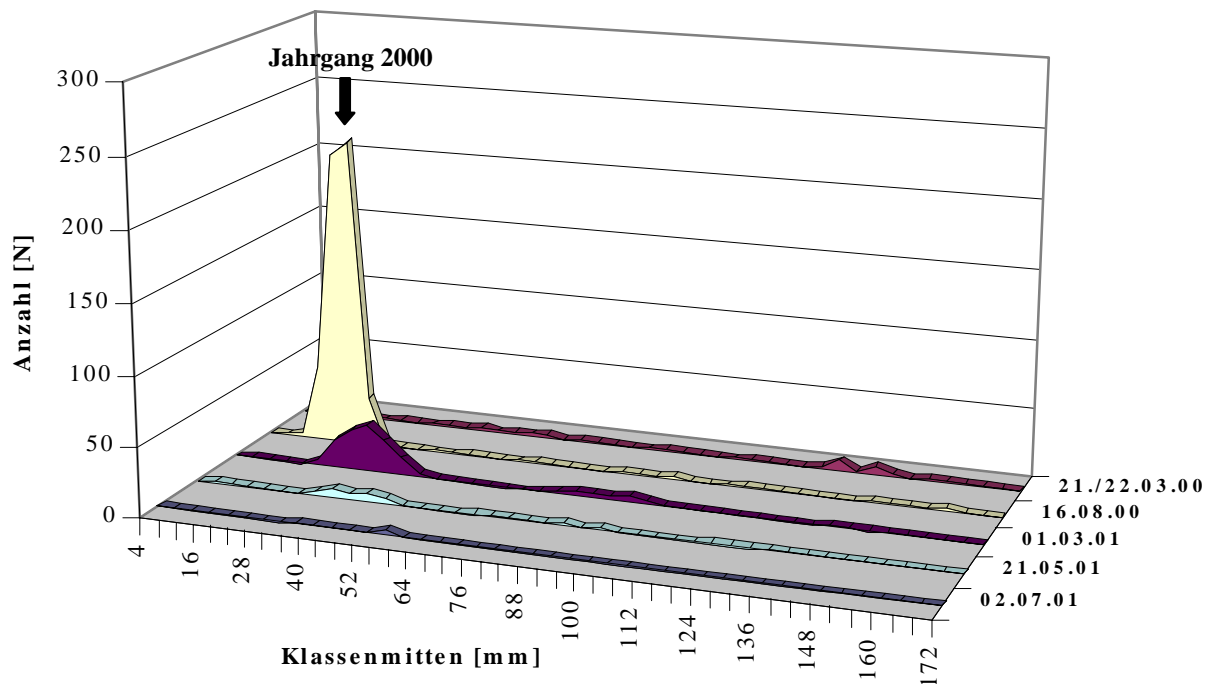
**Abb. 3.17:** Längenverteilung von *Ensis directus* an der Station **AB 1** über den Zeitraum der Beprobung. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Jahrgänge von *Ensis directus*.

An der Station **AB 8** ist nur eine Kohorte (Jahrgang 2000) deutlich zu erkennen (Abb. 3.18). Am 07.11.00 und 01.03.01 beträgt deren mittlere Länge  $42,6 \pm 3,7$  mm bzw.  $42,4 \pm 3,0$  mm (kleinere Werte im März 2001 beruhen auf Rundungsabweichungen.). In diesem Zeitraum sind die Muscheln demnach nicht gewachsen. Auch der Größenbereich der Kohorte ist annähernd gleich (22 bzw. 30 – 54 mm). Im Mai wurden wesentlich weniger *Ensis directus* gefunden, jedoch hat sich der Bereich in der Größenskala nach oben verschoben (42 – 58 mm). Im Juli 2001 liegt der Mittelwert der Länge bei  $62,7 \pm 5,2$  mm. Ebenso wie an der Station **AB 1** beträgt die Wachstumsrate vom 22.05.01 – 03.07.01  $8 \text{ mm Monat}^{-1}$ . Geht man davon aus, dass die Ergebnisse im März 2001 ein Artefakt der Probennahme sind, sieht man auch hier eine Abnahme der Individuen innerhalb der modalen Längensklasse (07.11.00 – 03.07.01 von 214 auf 56). Damit ergibt sich für diesen Zeitraum eine mittlere Mortalität von  $18 \text{ \% Monat}^{-1}$  für den Jahrgang 2000.



**Abb. 3.18:** Längenverteilung von *Ensis directus* an der Station AB 8 über den Zeitraum der Beprobung. Der schwarze Pfeil kennzeichnet den Jahrgang von *Ensis directus*.

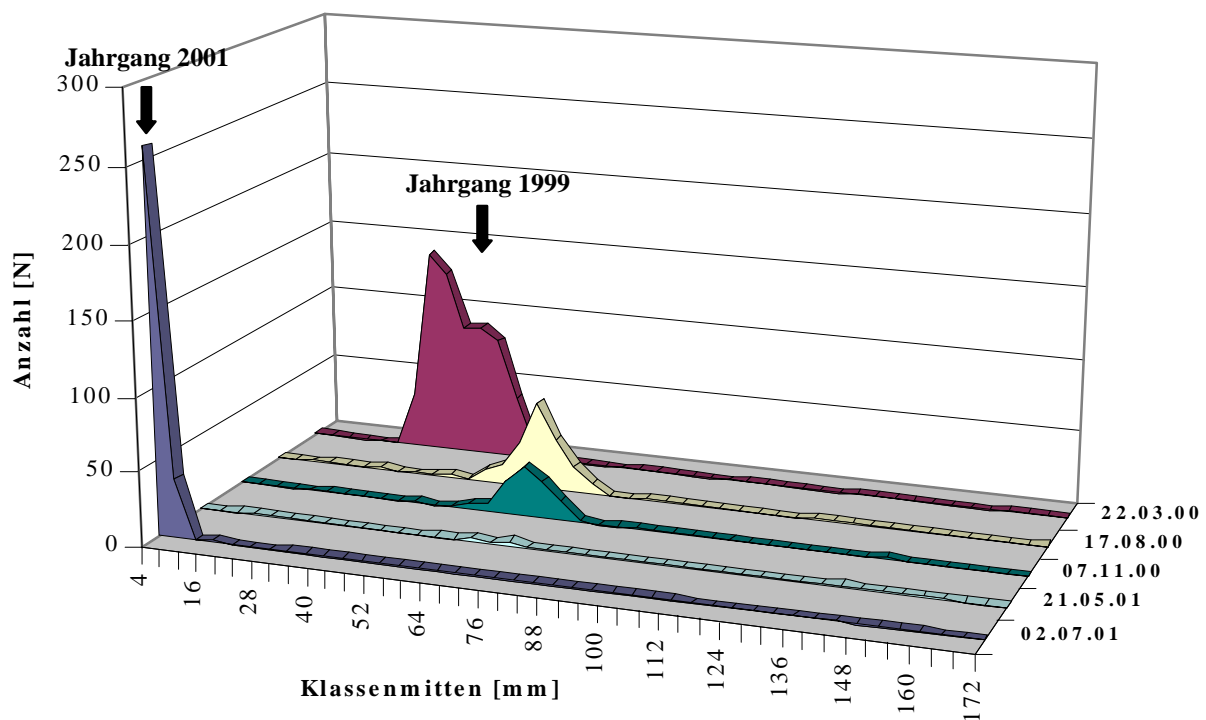
Abb. 3.19 zeigt die Längen-Häufigkeitsverteilungen im Bereich des *Spisula*-Sperrgebiets.



**Abb. 3.19:** Längenverteilung von *Ensis directus* im *Spisula*-Sperrgebiet über den Zeitraum der Beprobung. Der schwarze Pfeil kennzeichnet den Jahrgang von *Ensis directus*.

Auch dort ist die Kohorte 2000 eindeutig zu erkennen. Am 16.08.00 beträgt die mittlere Länge  $21,9 \pm 2,9$  mm (Größenbereich: 10 – 34 mm). Die modale Längenklasse ist mit 224 Individuen besetzt. Am 01.03.01 ist die häufigste Klasse des Jahrgangs nur noch mit 35 *Ensis directus* besetzt (Mortalität: 13 % Monat<sup>-1</sup>) und die mittlere Länge hat sich auf  $35,2 \pm 5,3$  mm (Größenbereich der Kohorte: 22 – 50 mm) verschoben. Am 22.05.01 sind in der häufigsten Klasse nur noch 6 Individuen vorhanden (Mortalität: 30 % Monat<sup>-1</sup>), mit einer mittleren Länge von  $40,3 \pm 4,6$  mm. Der Streubereich der Kohorte liegt zwischen 30 und 50 mm. Im Juli 2001 sind insgesamt nur 4 *Ensis directus* gefunden und vermessen worden. Alle vier hatten eine mittlere Länge von  $56,4 \pm 0,8$  mm und gehören sehr wahrscheinlich zum Jahrgang 2000. Während zwischen dem 01.03.01 und 22.05.01 nur ein mittlerer Längenzuwachs von 2 mm Monat<sup>-1</sup> erreicht wurde, steigt die Wachstumsrate zwischen dem 22.05.01 und 02.07.01 auf 12 mm Monat<sup>-1</sup>.

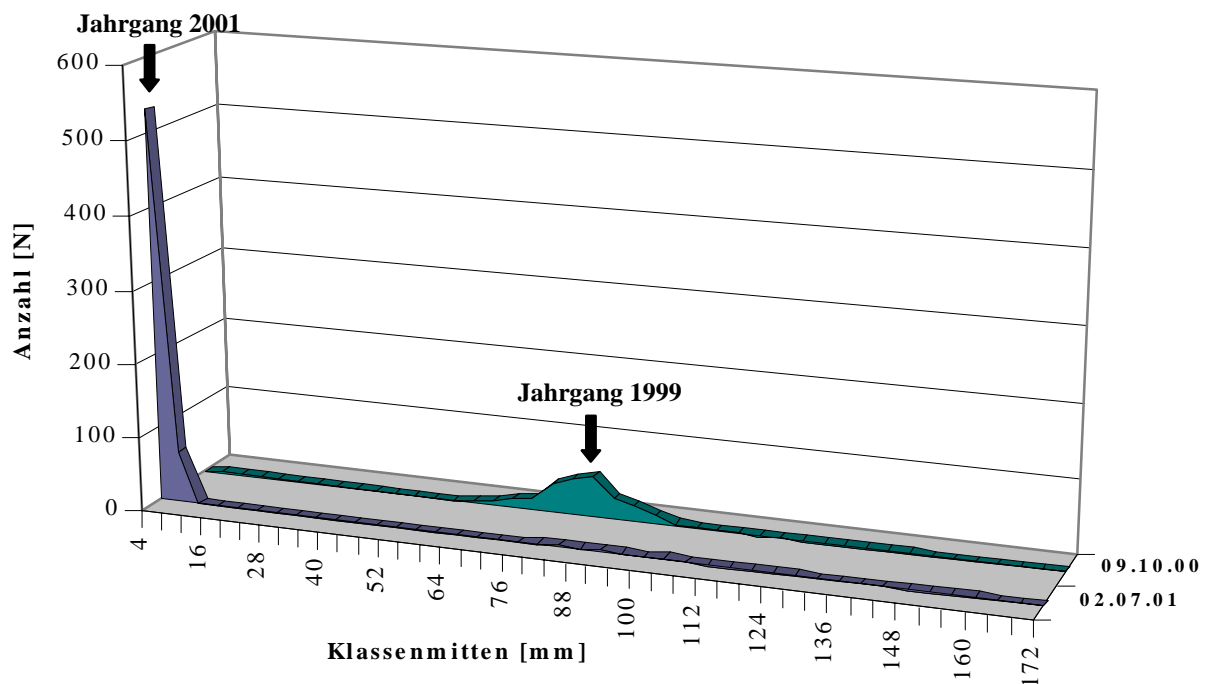
Die Stationen **Eid 1** und **Eid 2** besitzen annähernd die gleichen Längenverhältnisse über die Monate (Anhang Tab. A-3) und wurden daher zusammengefasst (Abb. 3.20). Am 22.03.00 liegt der Größenbereich der Kohorte (Jahrgang 1999) zwischen 26 – 66 mm, die mittlere Länge beträgt  $39,5 \pm 7,1$  mm.



**Abb. 3.20:** Längenverteilung von *Ensis directus* in der Region vor Eiderstedt über den Zeitraum der Beprobung. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Jahrgänge von *Ensis directus*.

Zum 17.08.00 verschiebt sich die Länge auf  $64,1 \pm 5,8$  mm (Größenbereich: 42 – 78 mm), zum 07.11.00 auf  $68,2 \pm 5,8$  mm (Größenbereich: 42 – 82 mm). Am 21.05.01 liegt die Größe der Muscheln zwischen 62 und 78 mm (mittlere Länge:  $69,6 \pm 4,9$  mm). Die mittlere Wachstumsrate beträgt zwischen dem 22.03.00 und 17.08.00  $5 \text{ mm Monat}^{-1}$ , während vom 17.08.00 – 07.11.00 nur  $2 \text{ mm Monat}^{-1}$  erreicht werden. Zwischen dem 22.03.00 und 17.08.00 sinkt die Individuenzahl der modalen Längensklasse von 141 auf 59 (Mortalitätsrate:  $12 \text{ \% Monat}^{-1}$ ); zwischen dem 17.08.00 – 07.11.00 auf 34 ( $15 \text{ \% Monat}^{-1}$ ) und bis zum 21.05.01 auf 3 Individuen ab ( $14 \text{ \% Monat}^{-1}$ ). Am 02.07.01 ist die Kohorte gar nicht mehr nachzuweisen. Die Mortalität der Kohorte beträgt insgesamt  $84 \text{ \% Jahr}^{-1}$ . Dafür ist auch vor Eiderstedt am 02.07.01 der Larveneinfall des Jahrgangs 2001 feststellbar (Abb. 3.19). Der Größenbereich der Kohorte liegt zwischen 2 – 18 mm (mittlere Länge:  $4,9 \pm 1,5$  mm). Die Kohorte umfasst 301 Individuen.

In der Region Vogelsand sind nur am 09.10.00 und 02.07.01 Proben genommen worden (Abb. 3.21). Im Oktober 2000 liegt die mittlere Länge der Kohorte 1999 mit 238 Individuen bei  $81,8 \pm 7,6$  mm (Größenbereich: 58 – 102 mm). Im Juli 2001 findet sich diese Kohorte jedoch kaum wieder.



**Abb. 3.21:** Längenverteilung von *Ensis directus* in der Region Vogelsand von Oktober 2000 bis Juli 2001. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Jahrgänge von *Ensis directus*.



In der Region Vogelsand ist die Rekrutierung des Jahrgangs 2001 am deutlichsten zu sehen. Insgesamt wurden 600 Individuen dieser Kohorte vermessen, wobei die Individuen im Mittel  $4,7 \pm 1,1$  mm lang sind. Das Größenspektrum innerhalb dieser Gruppe ist relativ klein (2 – 10 mm).

Tab. 3.10 gibt vergleichend die mittlere Länge der *Ensis directus* aus den ermittelten Kohorten an. Sie enthält zusätzliche Jahrgänge (1997 und 1998), die aufgrund der Skaleneinteilung beziehungsweise der geringen Abundanzen in den vorangegangenen Abbildungen nicht zu sehen waren. Innerhalb des Jahrgangs 2001 sind kaum Schwankungen der mittleren Längen zu sehen. Der Jahrgang 2000 weist eine Streuung von  $34,7 \pm 3,1$  mm (**AB 1**, 01.03.01) bis  $42,4 \pm 3,0$  mm (**AB 8**, 01.03.01) auf. Der Jahrgang 1999 zeigt den größten Streubereich mit  $39,5 \pm 7,1$  mm –  $59,5 \pm 6,7$  mm (Eiderstedt und *Spisula*-Sperrgebiet am 21./22.03.00).

Die Kohorten des Jahrgangs 1998 und 1997 (Station **AB 1** und **AB 8**, *Spisula*-Sperrgebiet) sind nur mit wenigen Individuen besetzt (Anhang Tab. A-3). Auch hier sind innerhalb des Jahrgangs 1998 im März 2000 Schwankungen der berechneten mittleren Länge zu sehen. Die größten *Ensis directus* sind am 01.03.01 gefunden worden, das Alter der Muscheln beträgt drei Jahre.

**Tab. 3.10:** Vergleich der mittleren Längen [mm] von *Ensis directus* der Kohorten im Untersuchungszeitraum. Die Tabelle enthält die zusätzlichen Jahrgänge 1997 und 1998, die aufgrund der Skaleneinteilung in den Abbildungen nicht zu sehen waren.

	Jahr- gang	21./22.03. 2000	16./17.08. 2000	09.10. 2000	07.11. 2000	01.03. 2001	21./22.05. 2001	02./03.07. 2001
<b>AB 1</b>	1998	$129,1 \pm 6,9$	-	-	-	-	-	-
	2000	-	$20,9 \pm 2,6$	-	-	$32,1 \pm 3,1$	$34,7 \pm 3,8$	$46,5 \pm 3,9$
	2001	-	-	-	-	-	-	$5,1 \pm 0,9$
<b>AB 8</b>	1997	-	-	-	$148,8 \pm 11,5$	$154,7 \pm 13,3$	-	-
	2000	-	-	-	$42,6 \pm 3,7$	$42,4 \pm 3,0$	$50,4 \pm 4,9$	$62,7 \pm 5,2$
<i>Spisula</i> - Sperr- gebiet	1998	$137,5 \pm 6,5$	-	-	-	-	-	-
	1999	$59,5 \pm 6,7$	-	-	-	$92,2 \pm 8,6$	-	-
	2000	-	$21,9 \pm 2,9$	-	-	$35,2 \pm 5,3$	$40,3 \pm 4,6$	$56,4 \pm 0,8$
Eider- stedt	1999	$39,5 \pm 7,1$	$64,1 \pm 5,8$	-	$68,2 \pm 5,8$	-	$69,6 \pm 4,9$	-
	2001	-	-	-	-	-	-	$4,9 \pm 1,5$
Vogel- sand	1999	-	-	$81,8 \pm 7,6$	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	$4,7 \pm 1,1$

Für den Jahrgang 2000 liegt die mittlere Wachstumsrate bei  $4,2$  mm Monat<sup>-1</sup>. Für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde eine mittlere Wachstumsrate von  $3,6$  mm Monat<sup>-1</sup> berechnet. Im Sommer wurde ein wesentlich höheres Wachstum als im Winter ermittelt. Der Jahrgang 2000

(**AB 1**, *Spisula*-Sperrgebiet) weist vom 16./17.08.00 – 01.03.01 ein Längenzuwachs von 2 mm Monat<sup>-1</sup> auf. Die gleichen Kohorten als auch die Muscheln der Station **AB 8** wuchsen vom 01.03.01 – 21./22.05.01 1, 3 und 2 mm Monat<sup>-1</sup> und vom 21./22.05.01 – 02./03.07.01 8, 8 und 12 mm Monat<sup>-1</sup>. Der Jahrgang 1999 weist im Sommer ebenfalls höhere Wachstumsraten auf (21./22.03.00 – 16./17.08.00: 5 mm Monat<sup>-1</sup>) als über die Herbstmonate (16./17.08.00 – 07.11.00: 2 mm Monat<sup>-1</sup>).

### 3.3 *Spisula solida*

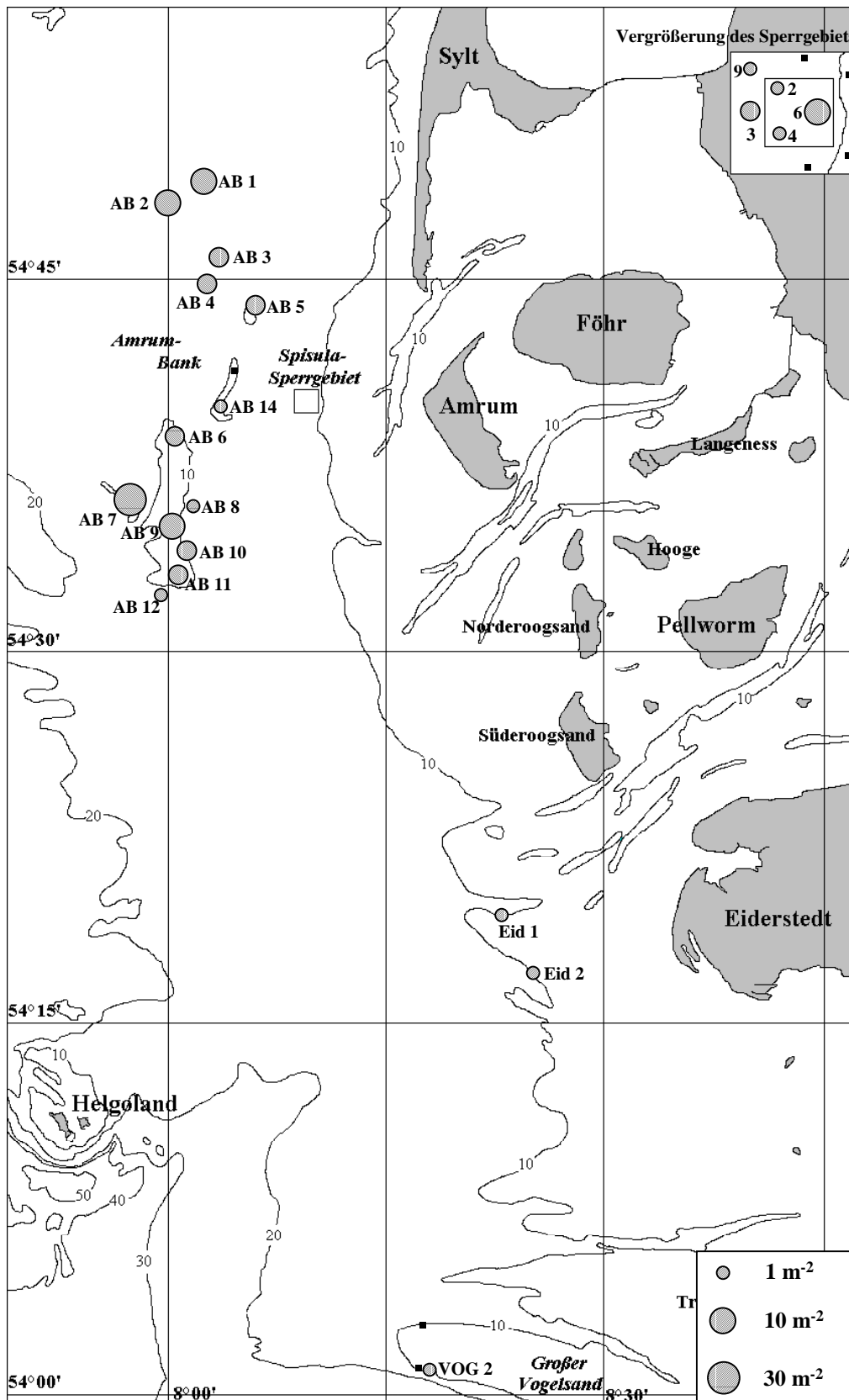
#### 3.3.1 Abundanz

*Spisula solida* kam im Untersuchungsgebiet in weit geringeren Abundanzen vor als *Ensis directus* (Tab. 3.11, Abb. 3.22). Insgesamt beträgt die mittlere Abundanz 5 m<sup>-2</sup>. Die meisten

**Tab. 3.11:** Mittlere Abundanz von *Spisula solida* auf den untersuchten Stationen.

Station	Mittlere Abundanz [m <sup>-2</sup> ]
<b>AB 1</b>	10
<b>AB 2</b>	19
<b>AB 3</b>	6
<b>AB 4</b>	3
<b>AB 5</b>	7
<b>AB 6</b>	5
<b>AB 7</b>	26
<b>AB 8</b>	2
<b>AB 9</b>	16
<b>AB 10</b>	9
<b>AB 11</b>	6
<b>AB 12</b>	2
<b>AB 14</b>	2
<b>Spi 2</b>	2
<b>Spi 3</b>	4
<b>Spi 4</b>	1
<b>Spi 6</b>	11
<b>Spi 9</b>	1
<b>Eid 1</b>	1
<b>Eid 2</b>	1
<b>VOG 2</b>	1

Trogmuscheln wurden auf der Amrumbank gefunden (8 m<sup>-2</sup>), vor allem im Grobsand (13 m<sup>-2</sup>, Mittel- und Feinsand: 6 m<sup>-2</sup>). Im *Spisula*-Sperrgebiet beträgt die mittlere Abundanz dagegen nur 2 m<sup>-2</sup>, vor Eiderstedt und auf dem großen Vogelsand nur 1 m<sup>-2</sup>. An den Stationen **VOG 1** und **3** ist die Art überhaupt nicht gefunden worden. Auch im *Spisula*-Sperrgebiet sind die Abundanzen relativ gering (zwischen 1 und 4 m<sup>-2</sup>). Eine Ausnahme bildet hier die Station **Spi 6** mit 11 m<sup>-2</sup>. Auf drei Stationen im Sperrgebiet kamen überhaupt keine *Spisula solida* vor. An den Grobsandstationen **AB 7** und **AB 9**, sowie der Station **AB 2** in der Mittelsandzone der Amrumbank sind relativ viele Trogmuscheln zu finden. Die Stationen der Grob- und Mittelsandzone weisen im Durchschnitt höhere Abundanzen auf; an den anderen Stationen der Amrumbank liegen die Abundanzwerte zwischen 2 und 10 Individuen m<sup>-2</sup>. Eine Ausnahme bildet hier die Feinsandstation **AB 1**. Sie weist mit 10 *Spisula solida* m<sup>-2</sup> trotzdem eine relativ hohe mittlere Abundanz auf.



**Abb. 3.22:** Mittlere Abundanz [ $m^2$ ] von *Spisula solida* als Kreisflächen dargestellt. Die rechte obere Ecke zeigt einen vergrößerten Ausschnitt des *Spisula*-Sperrgebiets mit den Stationen Spi 2 - 4, 6 und 9 (Zahlen 2-4, 6 und 9). Schwarze Punkte markieren Stationen, an denen *Spisula solida* nicht vertreten war.

Die Abundanzen von *Spisula solida* streuen innerhalb der Zeit der Beprobung (Tab. 3.12) nur gering. Die höchsten Abundanzen finden sich an der Station **AB 7** (Grobsand). Im August 2000 sind hier 30 Individuen  $\text{m}^{-2}$  zu verzeichnen, im November 2000 16 Individuen  $\text{m}^{-2}$ , im Mai 2001 20 Individuen  $\text{m}^{-2}$  und im Juli 2001 37 Individuen  $\text{m}^{-2}$ .

**Tab. 3.12:** Abundanz von *Spisula solida* in den einzelnen Probemonaten. Felder, die keine Zahl enthalten wurden in den entsprechenden Monaten nicht beprobt (-).

Station	Abundanz von <i>Spisula solida</i> [ $\text{m}^{-2}$ ]					
	März 2000	August 2000	Okt./Nov. 2000	März 2001	Mai 2001	Juli 2001
<b>AB 1</b>	12	8	4	4	2	27
<b>AB 2</b>	-	24	-	14	-	-
<b>AB 3</b>	2	-	-	10	-	-
<b>AB 4</b>	0	-	-	-	6	-
<b>AB 5</b>	-	14	4	-	-	3
<b>AB 6</b>	4	-	-	-	6	-
<b>AB 7</b>	-	30	16	-	20	37
<b>AB 8</b>	6	-	0	2	0	0
<b>AB 9</b>	-	4	28	-	-	-
<b>AB 10</b>	30	4	6	4	0	7
<b>AB 11</b>	-	6	6	8	2	-
<b>AB 12</b>	2	-	-	-	-	-
<b>AB 14</b>	-	-	-	-	2	-
<b>Spi 2</b>	0	4	-	-	-	-
<b>Spi 3</b>	2	4	-	-	6	-
<b>Spi 4</b>	0	2	-	0	-	-
<b>Spi 6</b>	6	16	-	16	14	3
<b>Spi 9</b>	-	-	-	0	2	-
<b>Eid 1</b>	0	0	2	-	0	-
<b>Eid 2</b>	0	0	0	-	0	3
<b>VOG 2</b>	-	-	2	-	-	0

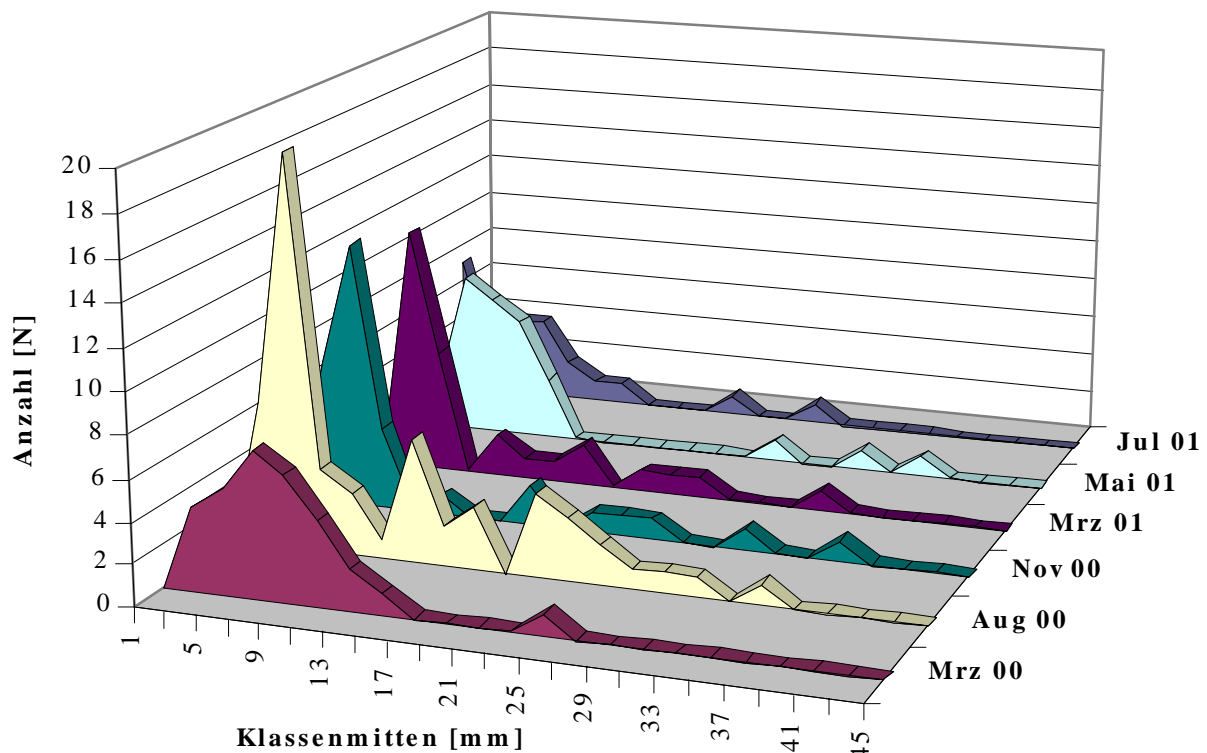
An vielen Stationen wurden nur vereinzelt hohe Werte festgestellt. Beispiele dafür sind die Station **AB 10** (März 2000: 30 Individuen  $\text{m}^{-2}$ ) und die Station **AB 1** (Juli 2001: 27 Individuen  $\text{m}^{-2}$ ).

Nur an wenigen Standorten sind regelmäßig Trogmuscheln gefunden worden (Stationen **AB 2**, **7** und **9** der Amrumbank und die Station **Spi 6**, als einzige Station im *Spisula*-Sperrgebiet). Trotz der allgemein geringen Abundanz von *Spisula solida* lässt sich jedoch erkennen, dass die Trogmuschel eher auf Grobsandhabitaten zu finden ist, welches durch die Dominanzverhältnisse ebenfalls bestätigt wurde (Kapitel 3.1.3).

### 3.3.2 Größenverhältnisse

Innerhalb des Untersuchungszeitraums konnte kein Wachstum von *Spisula solida* festgestellt werden. Zum einen sind zu wenige Exemplare gefangen worden, um sinnvolle Untersuchungen zum Wachstum durchzuführen. Zum anderen weist die Trogmuschel eine weit geringere Wachstumsrate als *Ensis directus* auf, so dass der Untersuchungszeitraum für gesicherte Aussagen hinsichtlich der Wachstumsrate zu kurz war. Ein Zeitvergleich einzelner Stationen oder Regionen zeigte deshalb keine Muster innerhalb der Längenverteilung von *Spisula solida* (Anhang Tab. A-4). In der folgenden Abb. 3.23 sind daher die Längen aller *S. solida* eines Monats in Größenklassen aufsummiert und über den gesamten Zeitraum der Beprobung dargestellt.

In den Proben waren vor allem kleine Individuen der Art *Spisula solida* vorhanden (Abb. 3.23). Gemittelt über den gesamten Untersuchungszeitraum beträgt die Länge der Muscheln in den Greiferproben nur  $9,7 \pm 7,8$  mm. Der Größenbereich reicht von 1 – 37 mm.

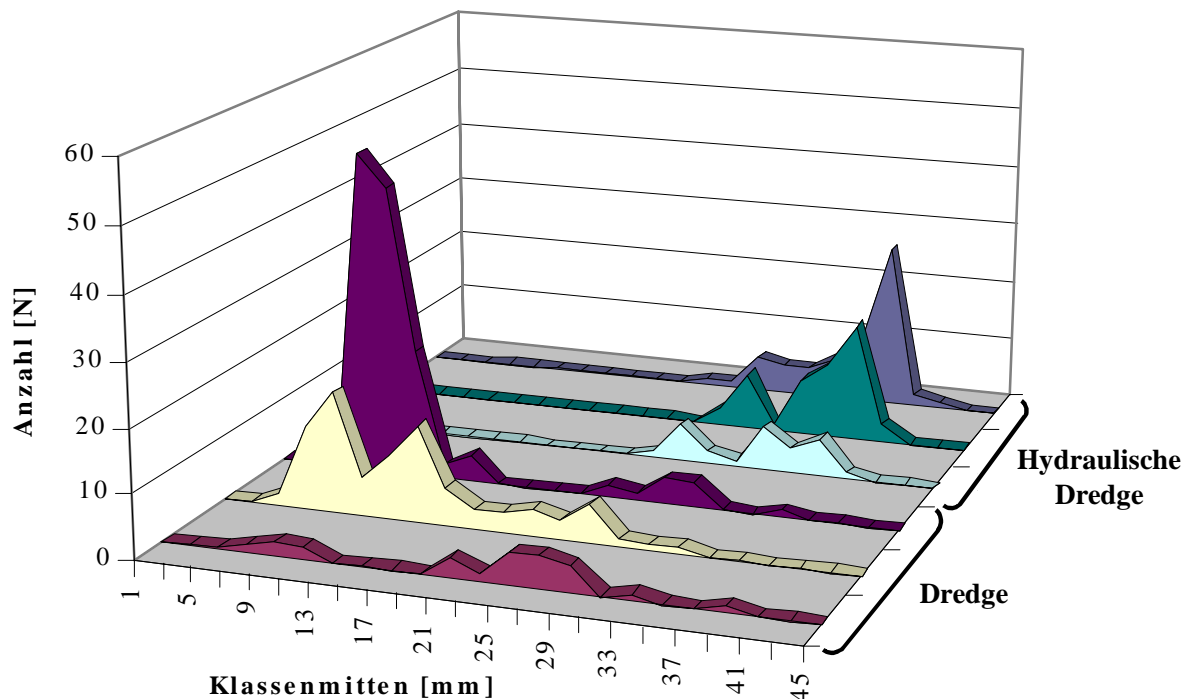


**Abb. 3.23:** Längenverteilung von *Spisula solida* aus den Greiferproben über den Zeitraum der Probennahme.

Im März 2000 sind insgesamt 30 Muscheln ( $N_{\text{ges.}}$ ) gefangen und vermessen worden. Die mittlere Länge beträgt  $8,7 \pm 4,5$  mm. Im August 2000 sind 58 *Spisula solida* vermessen worden

( $11,3 \pm 8,6$  mm), wobei der Modalwert, also die Klassenmitte der häufigsten Klasse, bei 5 mm liegt. Auch im November 2000 ( $N_{\text{ges.}} = 32$ ), März ( $N_{\text{ges.}} = 24$ ) und Mai 2001 ( $N_{\text{ges.}} = 30$ ) beträgt der Modalwert 5 mm. Die mittleren Längen dieser Monate schwanken nur gering zwischen  $9,4 \pm 8,0$  mm und  $10,1 \pm 7,6$  mm. Nur im Juli 2001 ( $N_{\text{ges.}} = 24$ ) liegt der Modalwert mit 1 mm deutlich darunter (mittlere Länge:  $10,1 \pm 7,6$  mm). Die größten Individuen der Trogmuschel sind im November 2000 und Mai 2001 an der Station **AB 7** gefunden worden (36,2 bzw. 36,5 mm).

Zusätzlich zu den *Spisula solida* der Greifer wurden Trogmuscheln aus den Dregden und Unterproben eines Fangs mit der hydraulischen Dredge (kommerzieller Muschelfischer) vermessen. Die Anzahlen der Muscheln in Abb. 3.24 sind nicht vergleichbar, da die Daten sowohl aus dem ganzen Gebiet, aus einer Region oder von einzelnen Stationen stammen.



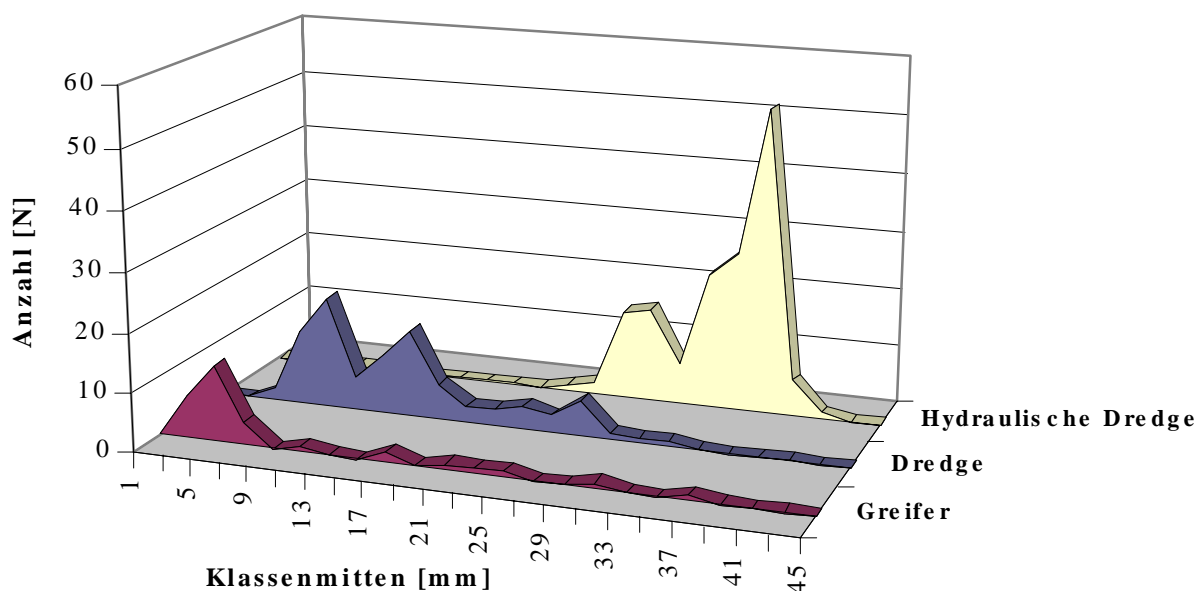
**Abb. 3.24:** Längenvergleich von *Spisula solida* aus den Proben der Dredge (**Reihe 1 – 3**) und hydraulischen Dredge (**Reihe 4 – 6**). **Reihe 1:** Alle *S. solida* der März 2000-Ausfahrt; **Reihe 2:** Alle *S. solida* der November 2000-Ausfahrt; **Reihe 3:** Amrumbank im Mai 2001; **Reihe 4:** *Spisula*-Sperrgebiet im November 2000; **Reihe 5:** Station **AB 1** im November 2000; **Reihe 6:** Station **AB 2** November 2000.

Je nach Fangmethode wurden unterschiedlich große Individuen von *Spisula solida* gefischt. Die Muscheln der Dredgefänge hatten im März 2000 eine mittlere Länge von  $23,2 \pm 8,0$  mm (Reihe 1) und im November 2000 eine Länge von  $14,5 \pm 6,8$  mm (Reihe 2). Im Mai 2001 (Reihe 3) sind zwei Peaks vorhanden (Modalwert: 7 bzw. 31/33 mm), wobei die mittlere Län-

ge  $10,6 \pm 6,2$  mm beträgt. Im Durchschnitt wurden mit der Dredge Muscheln mit einer mittleren Länge von  $13,3 \pm 7,6$  (Größenbereich: 5 – 39 mm) gefangen. Die mittleren Längen der hydraulischen Dredge betragen  $32,6 \pm 4,3$  mm (Reihe 4),  $34,2 \pm 3,3$  mm (Reihe 5) und  $34,1 \pm 4,0$  mm (Reihe 6).

Insgesamt wurden im Gegensatz zu den Greiferproben deutlich größere Individuen von *Spisula solida* gefangen. Vor allem die Größenskala der hydraulischen Dredge reicht weiter nach oben (mittlere Länge:  $33,8 \pm 3,9$  mm). Kleine Individuen der Trogmuscheln sind nicht in den Proben enthalten, da diese nicht von kommerziellen Fischern gefangen werden (Größenbereich: 23 – 41 mm).

Am deutlichsten wird der Unterschied der Längenverhältnisse je nach Probennahme in einem direkten Vergleich von Greifer, Dredge und hydraulischer Dredge (Abb. 3.24). In den Greiferproben hat *Spisula solida* eine mittlere Länge von  $9,4 \pm 8,9$  mm (Modalwert: 5 mm), in den Dredgefängen von  $14,5 \pm 6,8$  mm (Modalwert: 9 mm) und in der hydraulischen Dredge von  $33,8 \pm 3,9$  mm (Modalwert: 37 mm). Hier wurde auch die größte Muschel gefunden (41,5 mm Länge). Große Individuen von *Spisula solida* werden mit dem Greifer also kaum gefangen (Abb. 3.25).

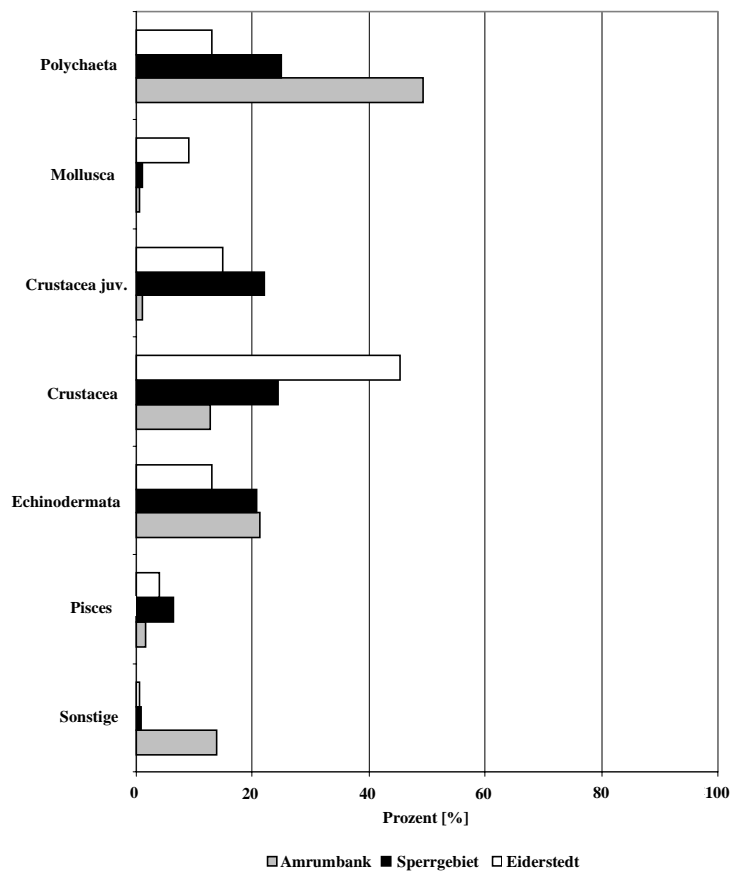


**Abb. 3.25:** Längenvergleich von *Spisula solida* aus Greiferproben, Dredge und hydraulischer Dredge. Alle Trogmuscheln sind im November 2000 im *Spisula*-Sperrgebiet und auf der Amrumbank gefangen worden.

### 3.4 Detritus-Dredgefänge

Mit der Detritus-Dredge nach OCKELMANN (1964) wurden an einigen Stationen (Anhang Tab. A-1) im Mai und Juli 2001 Proben genommen, um frischgesiedelte Muscheln zu fangen. Eine vollständige Auflistung der gefundenen Gruppen und Arten befindet sich im Anhang (Tab. A-5). Bei den Individuen handelt es sich ausschließlich um juvenile Tiere. Um zwischen planktischen, zum Teil adulten und juvenilen Krebsen (Crustacea juv.) unterscheiden zu können, wird die Gruppe der Crustacea zusätzlich unterteilt. Die Dredgefänge sind nicht auf eine bestimmte Fläche bezogen, daher werden nur die relativen Abundanzen der Arten und Gruppen, die in der Dredge vorhanden waren, dargestellt.

Abb. 3.26 zeigt die Zusammensetzung der Detritus-Dredgefänge im Mai 2001 in den Regionen Amrumbank, *Spisula*-Sperrgebiet und vor Eiderstedt. Auf der Amrumbank sind mit 49,3 bzw. 21,1 % vor allem Polychaeten und Echinodermaten vertreten. Die hohe Abundanz der Echinodermaten beruht in erster Linie auf juvenilen Asteriidae. Allein an der Station **AB 1** wurden 1695 juvenile Exemplare gezählt. Für die Gruppe der Polychaeten kann eine solche Aussage nicht getroffen werden, da eine nähere Bestimmung der Art nicht erfolgte. In der Region des *Spisula*-Sperrgebiets ist ebenfalls die Gruppe der Polychaeta am häufigsten vertreten (24,9 %). Danach folgt die Gruppe der Crustacea (24,4 %), wobei die Ordnung der Copepoda den Hauptanteil einnimmt. Da diese jedoch zum Zooplankton gehören, handelt es sich hier um ein Artefakt der Probennahme (Kapitel 2.5). In dem Gebiet Eiderstedt ist die Gruppe der



**Abb. 3.26:** Anteile der Gruppen an der Zusammensetzung der Detritus-Dredge im Mai 2001 in den verschiedenen Regionen.



Crustacea (45,5 %) am häufigsten vertreten. Die hohen Abundanzen beruhen ebenfalls auf der Ordnung Copepoda, sowie der Ordnung Cumacea, die dem Benthos zugerechnet wird. Die zweithäufigste Gruppe im Gebiet Eiderstedt ist Crustacea juv. Hier handelt es sich vor allem um Nauplien und Zoëa-Larven.

Im Mai 2001 sind die Gruppen der Polychaeta, Crustacea juv. und Crustacea, gefolgt von den Echinodermata am häufigsten (Abb. 3.26). Die geringsten Abundanzen weist die Gruppe der Mollusca auf. Dennoch ist in Abb. 3.27 aufgrund der Zugehörigkeit von *Spisula solida* und *Ensis directus* zu den Mollusca, diese Gruppe detailliert aufgeschlüsselt worden.

Im Gebiet der Amrumbank wurden vor allem die Art *Tellina* sp. (31,2 %) und *Bivalvia* indet. (24,7 %) gefunden, im *Spisula*-Sperrgebiet dominiert die Art *Mytilus edulis* mit 45,8 %. In dieser Region sind weiterhin viele juvenile Gastropoden gefunden worden (20,8 %). Vor Eiderstedt ist die Art *Macoma balthica* mit 34,0 % vertreten. Die Dominanz dieser Art ist bereits gezeigt worden (Tab. 3.6).

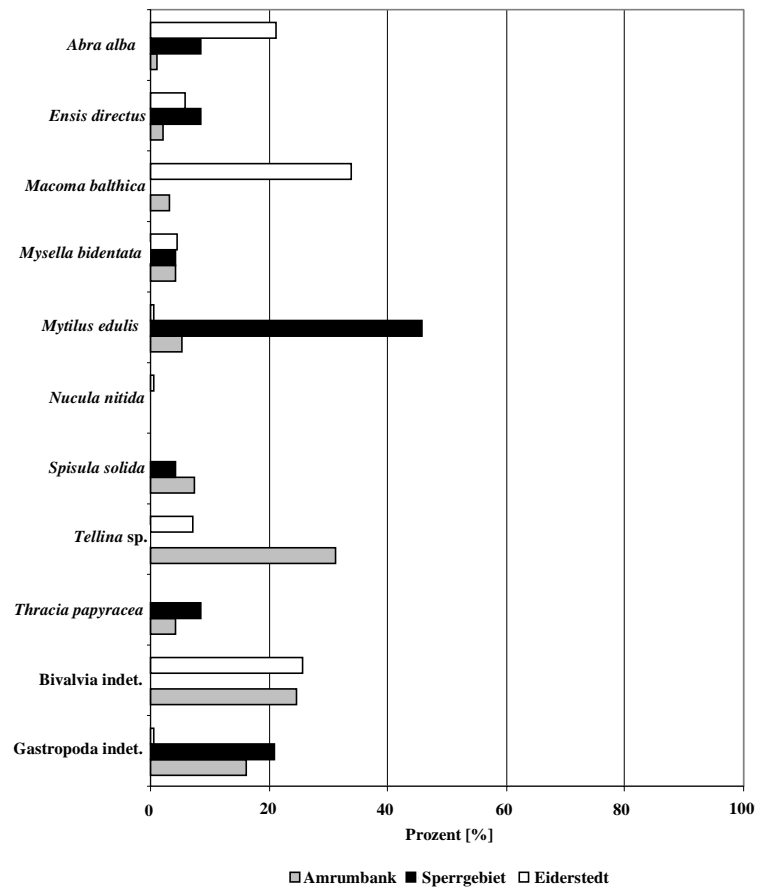


Abb. 3.27: Zusammensetzung der Mollusca juv. der Detritus-Dredgen im Mai 2001 in den verschiedenen Regionen.

Die zweite Probennahme mit der Detritus-Dredge fand im Juli 2001 in den Regionen Amrumbank, *Spisula*-Sperrgebiet, Eiderstedt und Vogelsand statt (Abb. 3.28). Im Gegensatz zu den Dredgen im Mai 2001 sind die Mollusken mit wesentlich höheren Abundanzen vertreten. In fast allen Regionen besitzen die Gruppe der Mollusca eine Abundanz von über 50 % und ist damit im Juli 2001 dominierend. Auf der Amrumbank beträgt die relative Abundanz 53,2 %, im Gebiet des Vogelsandes 93,3 % und in der Region vor Eiderstedt sogar 97,3 %. Eine Ausnahme bildet das *Spisula*-Sperrgebiet (33,8 %). Die höchste Abundanz besitzt hier

die Gruppe Crustacea juv. (39,7 %). Grund für die Dominanz der Crustaceen sind Zoëa-Larven (Anhang Tab. A-5). Alle anderen Gruppen weisen unabhängig vom Gebiet eine Abundanz von unter 15 % auf.

Die Zusammensetzung der Arten bzw. Gruppen innerhalb der Mollusca ist in der Abb. 3.29 dargestellt. Im Gegensatz zur Probenahme im Mai 2001 treten im Juli 2001 keine Gastropoden auf. Die meisten Bivalvia weisen zu geringe Abundanzen auf, um dies graphisch darzustellen (Anhang Tab. A-5).

*Ensis directus* zeigt in allen un-

tersuchten Regionen extrem hohe Abundanzen (Abb. 3.29). Im *Spisula*-Sperrgebiet beträgt der prozentuale Anteil von *Ensis directus* an den Mollusca 91,3 %. In allen anderen Regionen liegt der Anteil von *Ensis directus* über 98 % (Amrumbank: 99,0 %; Eiderstedt: 99,3 %; Vogelsand: 99,9 %). An der Station **VOG 2** sind im Juli 2001 26948 *Ensis directus* von insgesamt 27129 Mollusken gezählt worden. Neben *Ensis directus* treten nur noch die Familie der Cardiidae und *Macoma balthica* mit höheren Abundanzen von 4,3 % (*Spisula*-Sperrgebiet) auf. Alle anderen Arten haben einen Anteil von weniger als 0,5 %. In den Gebieten Amrumbank, Eiderstedt und Vogelsand ist *Ensis directus* in den Dredgefängen des Juli 2001 die zahlenmäßig absolut dominante Art.

Der Vergleich der Abbildungen vom Mai 2001 (Abb. 3.26 und 3.27) und Juli 2001 (Abb. 3.28 und 3.29) zeigt, dass sich die Abundanzen der gefangenen juvenilen Gruppen von den Polychaeten und Crustaceen (Mai 2001) zu der Gruppe der Mollusca verschoben haben (Juli 2001). Innerhalb der Mollusken gibt es ebenfalls eine erhebliche Verschiebung. Im Mai 2001 sind sowohl Gastropoden als auch Bivalven gefunden worden. Innerhalb der Bivalvia sind die

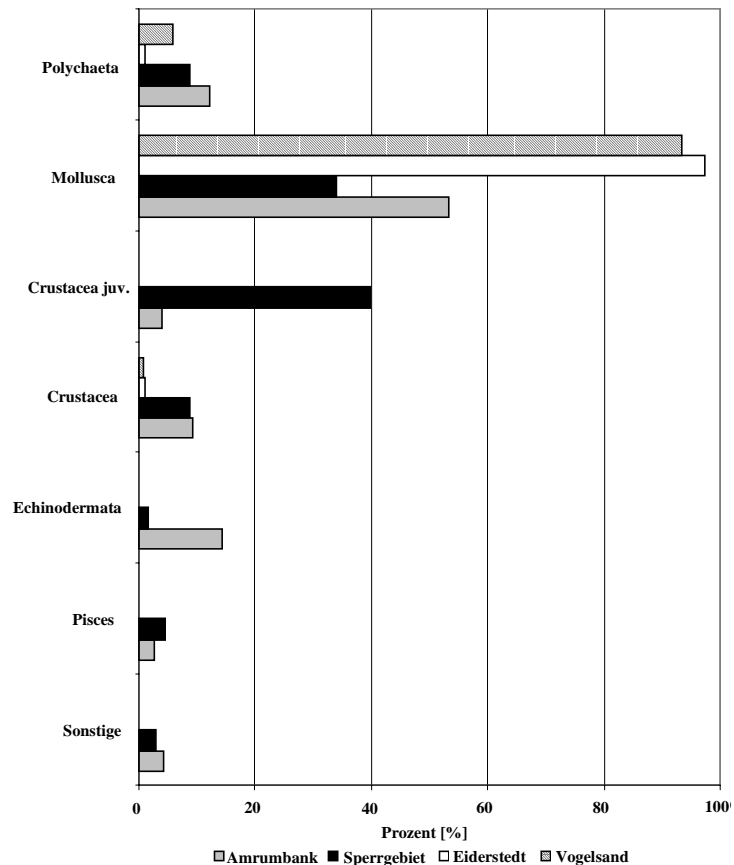


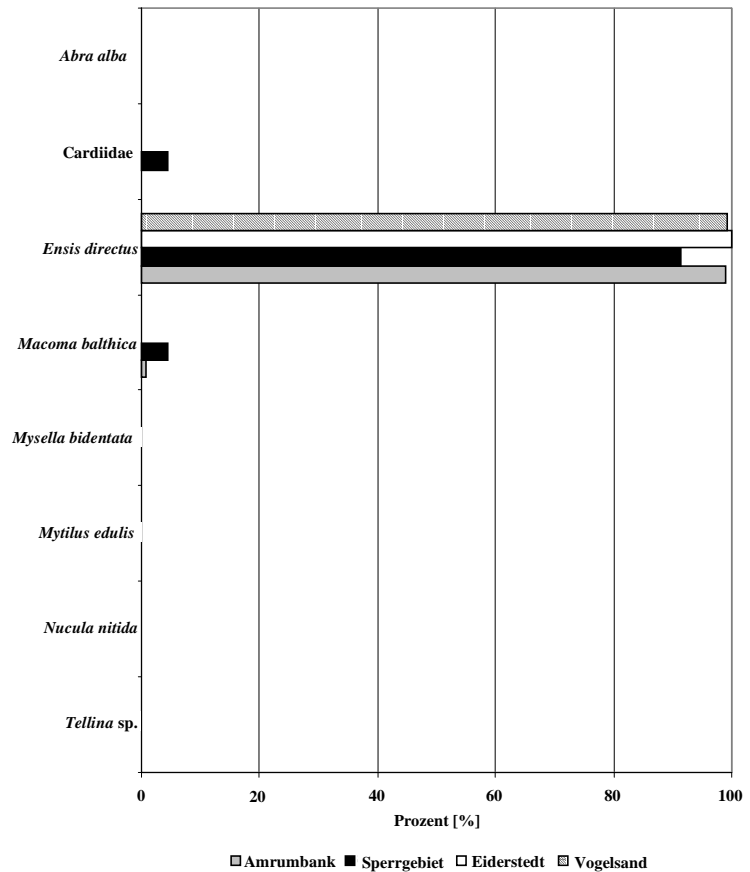
Abb. 3.28: Anteile der Gruppen an der Zusammensetzung der Detritus-Dredgen im Juli 2001 in den verschiedenen Regionen.

Abundanzen gleichmäßiger auf die Arten verteilt. Im Juli 2001 verringert sich das Artenspektrum und *Ensis directus* tritt in extrem hohen Abundanzen auf.

Durch die Probennahme der Detritusdrege sollte der Einfall juveniler *Spisula solida* und *Ensis directus* in den Regionen untersucht werden. Auf die Ergebnisse von *Ensis directus* im Juli 2001 wurde bereits eingegangen. Im Mai 2001 ist die Abundanz der Mollusken sehr gering (Abb. 3.26) und damit auch die Abundanzen der einzelnen Arten

innerhalb der Bivalvia (Abb. 3.27). In diesem Monat sind le-

diglich acht Individuen der Art *Spisula solida* gefunden worden, davon sieben auf der Amrumbank und eine im *Spisula*-Sperrgebiet. *Ensis directus* trat im Mai 2001 insgesamt mit 13 Individuen auf, davon neun in der Region vor Eiderstedt, zwei an der Station **AB 1** und zwei weitere an der Station **Spi 6**.



**Abb. 3.29:** Zusammensetzung der Mollusca juv. der Detritus-Dredgen im Juli 2001 in den verschiedenen Regionen.

## 4 Diskussion

### 4.1 Fehleranalyse der Materialbeschaffung

Für die Beprobung der Stationen wurde ein 70 kg Van-Veen-Backengreifer (0,1 m<sup>2</sup>) benutzt, welcher zwei Inspektionsklappen besitzt, die mit einem Maschengeflecht von 0,2 mm versehen sind. Dies und das Fieren mit 0,5 m s<sup>-1</sup> verringern die Frontwelle beim Aufsetzen des Greifers (RUMOHR 1999). Der Verlust von epibenthischen Individuen wird so reduziert.

Der 70 kg Van-Veen-Greifer ist für sandige Sedimente besonders geeignet. Trotzdem ergab sich je nach Sedimentbeschaffenheit eine unterschiedliche Eindringtiefe (4-12 cm). Tiere, die tiefer im Sediment leben, wurden also nur teilweise oder gar nicht erfasst. Dadurch kommt es zu einer Unterschätzung ihrer Abundanz.

Für die Polychaeten trifft dies nach HARTMANN-SCHRÖDER (1996) auf folgende Arten zu: *Nephtys hombergi* (5 – 20 cm Tiefe), *Scolelepis squamata* (bis 40 cm Tiefe), *Scoloplos armiger* (10 – 15 cm Tiefe) und *Spiophanes bombyx* (bis 25 cm Tiefe).

*Ensis directus* sitzt normalerweise in fast senkrechter Position direkt unter der Oberfläche des Sediments. Nach DREW (1907) zieht sich die Muschel jedoch bei der kleinsten Erschütterung in der näheren Umgebung sofort tiefer in das Sediment zurück beziehungsweise in eigens dafür gebaute Gänge von 20 – 25 cm Tiefe (SWENNEN et al. 1985). Daher kann es zu einer geringfügigen Unterschätzung der Abundanz kommen. In Kapitel 2.4.3 wurde bereits erwähnt, dass sich *Ensis directus* mit zunehmender Größe tiefer in das Sediment zurückzieht. Dies führt ebenfalls zu einer Unterschätzung der Abundanz.

Weitere Arten innerhalb der Bivalvia, bei denen es zu einer Unterschätzung der Abundanzen kommt, sind nach WILLMANN (1989) und ZIEGELMEIER (1957): *Macoma balthica* (teilweise bis 6 cm Tiefe), *Tellina fabula* (bis 6 cm Tiefe) und *Tellina tenuis* (bis 13 cm Tiefe).

Die gefundenen Crustaceen-Arten dringen nur wenige Zentimeter in das Sediment ein oder leben an der Sedimentoberfläche, so dass man von einem zu vernachlässigenden Fehler sprechen kann. Jedoch können Crustacea (insbesondere Amphipoda) an der Sedimentoberfläche durch die Frontwelle des Greifers „weggeblasen“ werden. Viele Crustacea sind sehr vagil und werden daher vom Greifer nicht erfasst (*Carcinus maenas*, *Crangon crangon*, *Crangon allmanni*, *Liocarcinus holsatus* und *L. mamoreus*). Gleiches gilt für alle Fische, die im Rahmen dieser Arbeit gefunden worden sind (Anhang Tab. A-2).

Eine weitere potentielle Fehlerquelle liegt im Sieben der Proben. Weiche und vagile Polychaeten (Gattungen *Nephtys* und *Nereis*) können sich durch die Siebmaschen winden. Es sollte in Suspension gespült werden, um eine mechanische Verletzung der Tiere zu vermeiden. Ebenso ist die Spülzeit zu beachten. Je länger die Tiere in Suspension gehalten werden, desto mehr Tiere können verloren gehen. Dieser Fehler ist jedoch schwer zu quantifizieren. Die Proben wurden möglichst zügig immer von den gleichen Personen gespült, um so den Fehler zu reduzieren. Außerdem wurden die Proben sofort in 1 l-Kautexflaschen überführt und nicht im Sieb stehen gelassen.

Die Arten- und Individuenzahlen sind teilweise abhängig von der Maschenweite der Siebe, mit der die Probe an Bord gesiebt wurde. So können die geringen Werte der Artenzahlen (Tab. 3.1, Seite 17) auch daher rühren, dass an einigen Grobsandstationen Siebe mit einer Maschenweite von 2000  $\mu\text{m}$  benutzt wurden (**AB 10**, Mai 2001; **AB 9** November 2000). Im Gegensatz dazu basieren die niedrigen Werte von 9 Arten in der Feinsandzone (**AB 11**) und 7 Arten in der Region Vogelsand (**VOG 3** im Oktober 2000) auf Proben, die mit einem 1000  $\mu\text{m}$ -Sieb bearbeitet worden sind. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Siebgröße und geringer Artenzahl ist nicht zu sehen, jedoch in einzelnen Fällen auch nicht auszuschließen. Die geringen Individuenzahlen im Grobsandbereich der Amrumbank können ebenfalls darauf basieren, dass vor allem kleine Arten wie *Pisione remota* und *Goniadella bobretzkii* in den 2000  $\mu\text{m}$ -Sieben verloren gehen.

Detritus-Dredgefänge lassen sich nur schwer quantitativ auswerten, da hierfür auch die Zeit der Grundberührung eine wesentliche Rolle spielt. Im Gegensatz zum Greifer ist die genaue Zeit des Aufsetzens der Dredge aber nicht bekannt. Auch kann während des Dredgens durch Steine oder ähnliche Unebenheiten der Bodenkontakt verloren gehen. Dies ist vor allem bei der Detritus-Dredge ein Problem, da das Gewicht des Gerätes nur zehn Kilogramm beträgt. Ebenso wie beim Greifer kommt es auch bei der Dredge aus verschiedenen Gründen zum Verlust oder zur Nichterfassung von Tieren. Das Gerät dringt je nach Bodenbeschaffenheit unterschiedlich tief in das Sediment ein, so dass es zu den gleichen Artefakten kommt wie beim Greifer. Dringt die Detritus-Dredge zu tief in das Sediment ein, so setzt sie sich schnell mit Sand zu. Solche Proben wurden jedoch verworfen, da die Auswertung zu langwierig wäre. Die Dredge wurde dann erneut gefahren. Die Zeit bis zum Absetzen und Abheben vom Boden

spiegelt sich auch in der Artenzusammensetzung wieder. Je länger die Zeit bis zum Grund ist, desto mehr planktische Arten werden gefangen.

## 4.2 Die Benthosfauna des Untersuchungsgebietes

Das Artenspektrum im Untersuchungsgebiet wird durch die Polychaeten- und Crustaceenarten bestimmt. Die Gruppen der Bivalvia und „Sonstigen“ haben nur einen geringen Anteil an der Artenvielfalt. Gleiche Verhältnisse fanden auch RACHOR & GERLACH (1978) und SALZWEDEL et al. (1985) in der Deutschen Bucht vor.

Die regelmäßig im Untersuchungsgebiet auftretenden Arten sind vor allem vagile Polychaeten. *Nephtys cirrosa* und *Nephtys caeca* leben laut HARTMANN-SCHRÖDER (1996) auf und in allen Sedimenten. Ebenso besiedeln *Magelona mirabilis* und *Ophelia limacina* alle sandigen Sedimente (DE KLUIJVER et al. 2000b), wobei die erst genannte Art auch auf schlickigem Substrat zu finden ist und *Ophelia limacina* nach ZIEGELMEIER (1963) eher grobsandige Substrate bevorzugt. *Scoloplos armiger* wird von HARTMANN-SCHRÖDER (1996) als Kosmopolit beschrieben, der keine besonderen Ansprüche an das Habitat stellt.

Im Untersuchungsgebiet treten weiterhin *Ensis directus* und *Spisula solida* regelmäßig auf. Beide Mollusken sind sehr bewegliche Arten und damit an die strömungsexponierten Sande angepasst. Dies bestätigen DREW (1907) für *Ensis directus* und KOCK (1995) für *Spisula solida*. Die Schwertmuschel siedelt vorzugsweise auf feinsandigen bis schlicksandigen Substraten (DE KLUIJVER et al. 2000a). Lokale Bestandsuntersuchungen von *Ensis directus* gibt es seit der Einwanderung 1978 (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983, SWENNEN et al. 1985, DÖRJES 1992, BEUKEMA & DEKKER 1995, ARMONIES & REISE 1999). In früheren Makrozoobenthosuntersuchungen (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983, NIERMANN et al. 1990, DUINEVELD et al. 1991, NIERMANN 1991) wurde diese Art jedoch nicht gefunden; daher fehlen sowohl Vergleichsdaten über die mit *E. directus* assoziierten Arten, als auch der Frequenz. *Spisula solida* kommt auf allen Sanden vor (HAYWARD 1995a). Nach MEIXNER (1993, 1994) bevorzugt die Muschel jedoch grobsandige Habitate.

Im Untersuchungsgebiet dominieren Bivalvia und Polychaeta (ZIEGELMEIER 1970; RACHOR 1990; HEIP et al. 1992). *Ensis directus* ist die dominanteste Art im gesamten Untersuchungsgebiet, obwohl sie erst 1978 in die Deutsche Bucht eingewandert ist (VON COSEL et al. 1982). Die amerikanische Schwertmuschel wurde vor allem auf Feinsand in Assoziation mit den Arten *Lanice conchilega*, *Spiophanes bombyx*, *Magelona mirabilis* und *Tellina fabula* gefunden.

Nach ARMONIES & REISE (1999) findet in *Ensis directus*-Beständen eine Akkumulation von Sand statt, wodurch auch höhere Abundanzen von Polychaeten entstehen können. In Videoaufnahmen (unveröffentlichte Daten von Dr. H. Rumohr) zeigten sich an einigen Stationen dichte Bestände von *Lanice conchilega* zwischen den Schwertmuscheln. *Tellina fabula* wird von ZIEGELMEIER (1957) ebenfalls als Art beschrieben, die eher feinere Sande bevorzugt.

Keine Crustacea-Art tritt im Untersuchungsgebiet mit hohen Abundanzen oder regelmäßig auf (Anhang Tab. A-2). Es ist möglich, dass die geringen Abundanzen auf einem Sammelfehler beruhen (Kapitel 4.1). Die häufigsten Taxa sind *Bathyporeia* sp., *Gastrosaccus spinifer*, *Urothoe poseidonis* und *Pontocratus altamarinus*. *Bathyporeia*-Arten wurden auch in vergangenen Untersuchungen gefunden (ZIEGELMEIER 1970, NIERMANN et al. 1990, RACHOR & GERLACH 1978). Gleiches gilt für *U. poseidonis* (ZIEGELMEIER 1970, RACHOR 1990), *P. altamarinus* (RACHOR & GERLACH 1978) und *G. spinifer* (RACHOR & GERLACH 1978, SALZWEDEL et al. 1985).

Im Untersuchungsgebiet kann man anhand des Sedimentes verschiedene Assoziationen voneinander trennen (Abb. 3.1 und Abb. 3.2, Seiten 15 und 16). Eine Assoziation bezeichnet hierbei eine Ansammlung von Arten in einem Gebiet mit weitgehend gleichen abiotischen Lebensbedingungen. Die Übergänge der Assoziationen im Benthos sind jedoch immer fließend (NIERMANN 1991).

#### 4.2.1 Die Feinsandzone der Amrumbank

Die Feinsandzone der Amrumbank (Cluster A) entspricht der Feinsand-Assoziation von NIERMANN (1991) und DUINEVELD et al. (1991). SALZWEDEL et al. (1985) und RACHOR (1990) bezeichnen die gleiche Gemeinschaft als *Tellina fabula*-Assoziation.

Die dominanteste Art im Feinsandbereich der Amrumbank ist derzeit *Ensis directus*. In den Veröffentlichungen von SALZWEDEL et al. (1985) und DUINEVELD et al. (1991) taucht diese Art nicht auf, obwohl die Ausbreitung der amerikanischen Schwertmuschel seit 1978 (VON COSEL et al. 1982) gesichert ist. Lediglich in der Dissertation von NIERMANN (1991) wird *Ensis* sp. (mittlere Abundanz: 55 m<sup>-2</sup>; Frequenz: 95 %) in der Feinsand-Assoziation unter den 25 dominantesten Arten erwähnt. Nach NIERMANN (persönliche Mitteilung) handelte es sich hauptsächlich um juvenile *Ensis* sp., bei denen eine genauere Artbestimmung nicht vorgenommen wurde. Die größte Individuendichte von *Ensis directus* liegt nach MÜHLENHARDT-

SIEGEL et al. (1983) bei 14 m Wassertiefe. Da die Stationen von NIERMANN (1991) hauptsächlich in tieferen Bereichen liegen, könnte dies eine Erklärung für die geringen Abundanzen sein, wenn es sich bei diesen Individuen um *Ensis directus* gehandelt haben sollte.

Als dominante Arten treten weiterhin *Spiophanes bombyx*, *Magelona mirabilis* und *Lanice conchilega* auf. Ein Vergleich der Daten mit NIERMANN (1991) und SALZWEDEL et al. (1985) zeigt, dass die Ergebnisse der Frequenz und mittleren Abundanzen denen dieser Untersuchung bis auf *Ensis directus* weitgehend entsprechen (Tab. 4.1).

**Tab. 4.1:** Vergleich der mittleren Abundanz und Frequenz in der Feinsand-Assoziation mit NIERMANN (1991) und SALZWEDEL et al. (1985).

Art	Diese Untersuchung		NIERMANN (1991)		SALZWEDEL et al. (1985)	
	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]	Frequenz [%]
<i>Spiophanes bombyx</i>	204	71	236	100	169	96
<i>Magelona mirabilis</i>	170	77	245	100	579	100
<i>Lanice conchilega</i>	105	47	168	100	60	81
<i>Tellina fabula</i>	38	77	49	95	198	100

*S. bombyx* wurde schon von ZIEGELMEIER (1970) im gleichen Gebiet als sehr abundant beschrieben. Die Art *T. fabula*, die namensgebend für diese Assoziation ist, wird von ZIEGELMEIER (1957, 1963) als sehr konstante Art beschrieben, die regelmäßig auf Feinsand vorkommt. In dieser Untersuchung tritt sie ebenfalls regelmäßig auf, ist jedoch nicht dominant. In RACHOR (1990) tauchen die aufgeführten Arten im zeitlichen Vergleich von 1925 – 1984 immer wieder als dominante Arten des Feinsandes auf.

#### 4.2.2 Die Grobsandzone der Amrumbank

Die Grobsandzone der Amrumbank (Cluster E) entspricht der *Goniadella-Spisula*-Gemeinschaft nach SALZWEDEL et al. (1985). NIERMANN (1991) und DUINEVELD et al. (1991) sprechen von der Grobsand-Assoziation. Allgemein sind die Arten- und Individuenzahlen im Grobsand geringer (Tab. 3.1, Seite 17), da dieses System wesentlich instabiler und für viele sessile Arten nicht besiedelbar ist. So sind im Grobsand auch hauptsächlich vagile Polychaeten gefunden worden (Tab. 3.4, Seite 26).

*Pisone remota*, *Goniadella bobretzkii* und *Spisula solida* sind die dominierenden Arten in dieser Gemeinschaft. Dies zeigen auch die Vergleiche mit den Daten von SALZWEDEL et al. (1985) und NIERMANN (1991) (Tab. 4.2).



**Tab. 4.2:** Vergleich der mittleren Abundanz und Frequenz in der Grobsand-Assoziation mit NIERMANN (1991) und SALZWEDEL et al. (1985).

Art	Diese Untersuchung		NIERMANN (1991)		SALZWEDEL et al. (1985)	
	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]	Frequenz [%]	Mittlere Abundanz [m <sup>2</sup> ]	Frequenz [%]
<i>Pisone remota</i>	49	91	24	33	13	44
<i>Goniadella bobretzkii</i>	23	91	60	66	73	89
<i>Spisula solida</i>	15	100	-	-	23	100
Nematoda indet.	7	27	6	33	-	-

In der Untersuchung von NIERMANN et al. (1990) und NIERMANN (1991) wurden keine *Spisula solida* gefunden, sondern nur die Arten *Spisula subtruncata* und *Spisula elliptica*. Nach WILLMANN (1989) wird *S. elliptica* oft als Varietät von *S. solida* angesehen, so dass auch hier die Möglichkeit besteht, dass es sich eventuell um *S. solida* handelt. Nach NIERMANN (persönliche Mitteilung) wurden jedoch hauptsächlich *S. subtruncata* gefunden.

Die Gruppe Nematoda indet. wurde auch von NIERMANN (1991) in ähnlichen Abundanzen innerhalb der Grobsand-Assoziation vorgefunden. Weitere typische Grobsandarten sind *Thracia papyracea*, *Haustorius arenarius*, *Spio filicornis* und *Branchiostoma lanceolatum*. *S. filicornis* und *B. lanceolatum* wurden ebenfalls in der Untersuchung von SALZWEDEL et al. (1985) gefunden. ZIEGELMEIER (1957) beschreibt *T. papyracea* als Grobsandart in der Nordsee, gleiches gilt für *H. arenarius* nach HAYWARD (1995b).

#### 4.2.3 Die Mittelsandzone der Amrumbank und das *Spisula*-Sperrgebiet

Die Mittelsandzone der Amrumbank und das *Spisula*-Sperrgebiet (Cluster D) stellen einen Übergang zwischen Feinsand- und Grobsand-Assoziation dar. SALZWEDEL et al. (1985) bezeichnet diesen Lebensraum als *Tellina fabula*-Gemeinschaft mit mittleren Sanden, NIERMANN (1991) spricht von einer Abwandlung der Feinsand-Assoziation, da Assoziationen fließend ineinander übergehen. Der Unterschied zwischen den beiden Regionen liegt in der Dominanz der bekannten Feinsandarten im *Spisula*-Sperrgebiet.

Der Mittelsandbereich beinhaltet kaum charakteristische Arten, sondern solche, die eher auf Feinsandhabitaten vorkommen (*Magelona mirabilis*, *Ensis directus*, *Spiophanes bombyx*), sowie Arten, die auf grobsandigen Sedimenten leben (*Spisula solida*, *Goniadella bobretzkii*, *Pisone remota*, *Tellina tenuis*) (SALZWEDEL et al. 1985, NIERMANN 1991). Dadurch ist er wesentlich individuen- und artenreicher als der Grobsandbereich (STRIPP 1969). In beiden Regionen trat *Ophelia limacina* regelmäßig auf, für die sowohl Fein- als auch Grobsande als Le-

bensraum beschrieben werden (HARTMANN-SCHRÖDER 1996). Nach ZIEGELMEIER (1963) kommt die Art jedoch eher auf Grobsand vor. NIERMANN (1991) fand die Art im Grobsandbereich, SALZWEDEL et al. (1985) auf Fein- und Grobsand, STRIPP (1969) im gemischten Sand. Das Auftreten von *Tellina tenuis* im Mittelsandbereich ist ebenfalls sehr typisch. Im Gegensatz zu der verwandten *Tellina fabula* bevorzugt diese Muschel eher gröbere Substrate (ZIEGELMEIER 1957, 1964). *Nephtys cirrosa*, *Nephtys caeca* und *Scolelepis bonnieri* sind ebenfalls regelmäßig in beiden Regionen vertreten. Dies bestätigt auch HARTMANN-SCHRÖDER (1996).

#### 4.2.4 Die Region vor Eiderstedt

Die Benthosgemeinschaft vor Eiderstedt (Cluster B) stellt einen Übergang zwischen Feinsand und schlickigem Feinsand dar. Dies wird auch anhand der Position des Clusters im MDS-Plot deutlich. NIERMANN (1991) legt in seiner Dissertation dar, dass diese Gemeinschaft fließend zwischen Fein- und Schlicksandgebieten aufgeht. SALZWEDEL et al. (1985) und RACHOR (1990) bezeichnen das Gebiet als *Nucula nitidosa*-Assoziation. *Nucula nitidosa* trat in dieser Untersuchung nur in der Region vor Eiderstedt und auf dem großen Vogelsand auf, in beiden Gebieten jedoch in geringen Abundanzen.

*Ensis directus* dominiert das Gebiet (Tab. 3.6, Seite 28) und tritt mit den schon bekannten Feinsandarten assoziiert auf. Weitere dominante Arten sind *Macoma balthica* und *Spio goniocephala*, die häufig zusammen in einem Habitat vorkommen (HARTMANN-SCHRÖDER 1996). *Macoma balthica* und *Mysella bidentata* sind typische Arten des Schlicksandes (ZIEGELMEIER 1957, 1970, WILLMANN 1989). STRIPP (1969) bezeichnet *M. balthica* als Art, die ihre stärkste Verbreitung in den Watten hat. Die Stationen vor Eiderstedt liegen den Watten am nächsten. Weitere Arten, die gemischte feine bzw. schlicksandige Substrate bevorzugen, sind *Abra alba* (DE KLUIJVER et al. 2000a) und *Capitella capitata*, sowie *Nephtys hombergii* (HARTMANN-SCHRÖDER 1996).

#### 4.2.5 Der Große Vogelsand

Ebenso wie die Region Eiderstedt stellt der Große Vogelsand (Cluster C), einen fließenden Übergang zwischen Feinsand und schlickigen Feinsand dar. Der Unterschied zur Region Eiderstedt besteht in der hohen Dominanz von *Ensis directus*. Der Große Vogelsand ist eine Feinsand-Zunge im Bereich der Elbmündung und durch den Elbstrom, sowie den kanalisierten Tidenstrom der Elbe stark strömungsexponiert. Dadurch und durch die Nähe zur Küste kön-

nen Schlicksandarten leicht in die Region eingetragen werden. Dies spiegelt sich in der Artenzusammensetzung wieder (Tab. 3.7, Seite 29). SALZWEDEL et al. (1985) und RACHOR (1990) bezeichnen das Gebiet als *Nucula nitidosa*-Gemeinschaft. STRIPP (1969) spricht von der *Macoma balthica*-Gemeinschaft.

#### 4.2.6 Räumliche und zeitliche Unterschiede der Diversität und Evenness in den einzelnen Regionen

Die höchsten Diversitäts- und Evennesswerte wurden im Mittelsandbereich der Amrumbank und im *Spisula*-Sperrgebiet gefunden, die durch Fein- und Grobsandarten ein großes Artenspektrum aufweisen. Die Individuen sind dabei gleichmäßig auf die Arten verteilt (Tab. 3.1, Seite 17). Eine ebenfalls relativ hohe Diversität weist der Bereich des Grobsandes auf der Amrumbank auf. Dies ist insofern erstaunlich, da hier im Verhältnis zu den anderen Gebieten weniger Arten und Individuen gefunden worden sind. Die Evenness ist aber recht hoch (0,6). Im Bereich des Großen Vogelsandes sind die Diversität und Evenness am niedrigsten. Hauptgrund ist die bereits erwähnte hohe Dominanz von *Ensis directus* in dieser Region. Weiterhin liegt der Vogelsand im Bereich der Elbmündung. RACHOR (1980) beschreibt die innere Deutsche Bucht als sensibles System. Vor allem die Gebiete im Bereich der großen Flussmündungen sind physikalisch und hydrographisch extreme Lebensräume.

Im zeitlichen Verlauf der Untersuchung sind die höchsten Diversitätswerte im Winter das heißt im November 2000 bzw. im März 2001 zu finden, da Benthosgemeinschaften im Winter am vielfältigsten sind. Mit dem Larveneinfall und der Neuansiedlung der Tiere nimmt die Diversität in fast allen Regionen zum Juli 2001 ab. Dies beruht vor allem auf den extrem hohen Werten von juvenilen *Ensis directus*. NIERMANN (1991) hat in seiner Untersuchung Massenentwicklungen von juvenilen Polychaeten und *Bivalvia* im Frühjahr bzw. Sommer beobachtet. Danach müssten die Diversitätswerte im Frühjahr/Sommer 2000 ähnlich niedrig sein wie im Frühjahr/Sommer 2001. Gerade in diesem Zeitraum sind jedoch teilweise die höchsten Werte zu verzeichnen. In den Sommerproben 2000 sind jedoch wesentlich weniger juvenile *Ensis directus* gefunden worden. Nach BEUKEMA & DEKKER (1995) und ARMONIES & REISE (1999) ist die Rekrutierung von *Ensis directus* sehr unterschiedlich. Dies könnte eine mögliche Erklärung für die hohen Diversitäts- und Evennesswerte im Frühjahr/Sommer 2000 sein.

### 4.3 *Ensis directus*

#### 4.3.1 Abundanz

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, dass *Ensis directus* im Untersuchungsgebiet vor allem auf strömungsreichen, mobilen Feinsanden des oberen Sublitorals zu finden ist. Wegen ihrer Beweglichkeit (DREW 1907) können die Muscheln auf Sedimentumlagerungen von Wellen und Gezeiten reagieren (SWENNEN et al. 1985, SCHIEDEK & ZEBE 1987). Auch im angrenzenden tiefen Eulitoral ist *E. directus* verbreitet (VON COSEL et al. 1982), jedoch sinkt die mittlere Abundanz mit abnehmender Wassertiefe (ESSINK 1985, BEUKEMA & DEKKER 1995, ARMONIES & REISE 1999). Die bevorzugte Tiefe der Schwertmuschel in der Nordsee liegt zwischen 3 – 18 m (DÖRJES 1992), wobei die höchste Individuendichte nach MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) bei 14 m, nach ARMONIES & REISE (1999) bei 18 m Tiefe liegt. An der amerikanischen Atlantikküste besiedelt *E. directus* die gleichen Habitate (STANLEY 1970, ABBOTT 1974). Jedoch wurde die Art hier auch auf Mittel- und Grobsand (MAURER et al. 1976) bzw. Schlick gefunden (KENCHINGTON et al. 1998).

23 Jahre nach der Einwanderung ist *Ensis directus* ein bedeutender Teil der Molluskenfauna in der Deutschen Bucht geworden (925 m<sup>-2</sup>). Die mittleren Abundanzen sind derzeit wesentlich höher, wie der Literaturvergleich zeigt. Die höchste Abundanz ist auf dem Großen Vogelsand gefunden worden (5481 m<sup>-2</sup>). Diese Stationen wurden von 1979 – 1982 von MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) beprobt, die damals eine mittlere Abundanz von < 500 m<sup>-2</sup> verzeichnete. ARMONIES & REISE (1999) fanden während ihrer Untersuchung vor Sylt eine durchschnittliche Abundanz von 440 m<sup>-2</sup>. Vergleichbare Werte aus meiner Untersuchung sind die der Amrumbank (570 m<sup>-2</sup>).

Beide Arbeiten berichten von lokalen Maxima im Verlauf der Beprobung. MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) fanden im Juli 1980 als höchsten Einzelwert 15440 m<sup>-2</sup>. In meiner Untersuchung liegt der höchste Einzelwert ebenfalls in der Region des Vogelsandes (25513 m<sup>-2</sup>). ARMONIES & REISE (1999) geben als höchsten Einzelwert im Sublitoral vor Sylt 15440 m<sup>-2</sup> an. Auf der Amrumbank im Feinsandbereich wurde ebenfalls ein lokales Maximum von 10797 m<sup>-2</sup> erreicht. Die Rekrutierung von *Ensis directus* ist von Jahr zu Jahr unterschiedlich (BEUKEMA & DEKKER 1995, ARMONIES & REISE 1999) und auch in dieser Untersuchung traten die Maxima nur im Sommer 2001 auf.

An der amerikanischen Atlantikküste ist *E. directus* bis 100 m Tiefe zu finden (THEROUX & WIGLEY 1983). Danach könnte die amerikanische Schwertmuschel die gesamte Nordsee besiedeln. Aufgrund der stabilen Schichtung des Wassers im Sommer und dem daraus resultierenden Sauerstoffmangel, ist die Art nur in flachen Bereichen bis 26 m Tiefe nachgewiesen worden (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983).

#### 4.3.2 Größenspektrum und Wachstum

In der vorliegenden Untersuchung konnten die Jahrgänge 1997 – 2001 in den Längen-Häufigkeitsverteilungen nachgewiesen werden. Die Alterszuordnung erfolgte durch Rückrechnung anhand der ermittelten Wachstumsraten. Im Winter wurden mittlere Wachstumsraten von 1 – 3 mm Monat<sup>-1</sup> festgestellt, während im Sommer/Frühherbst Wachstumsraten von 8 – 12 mm Monat<sup>-1</sup> ermittelt wurden. MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) gibt für den Sommer Wachstumsraten von 5 mm Monat<sup>-1</sup> und für den Winter von 2 mm Monat<sup>-1</sup> an. Nach DÖRJES (1992) liegt der optimale Wachstumsschub ebenfalls im Sommer/Frühherbst. Über das Jahr gesehen, wurde für *Ensis directus* ein mittleres Wachstum von 3,6 mm Monat<sup>-1</sup> errechnet (Vergleiche MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983: 2 – 3 mm Monat<sup>-1</sup>). Nach ARMONIES & REISE (1999) sind die Wachstumsraten in der Nordsee mit denen von *E. directus* an der amerikanischen Atlantikküste vergleichbar.

*E. directus* weist im ersten, vor allem aber im zweiten Jahr besonders große Wachstumsschübe auf (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983, SWENNEN et al. 1985, BEUKEMA & DEKKER 1995, ARMONIES & REISE 1999). Dieses „catching-up“-Phänomen ist auch von anderen Muscheln bekannt (KRISTENSEN 1957, LAMMERS 1967). Ein Vergleich der mittleren Längen verschiedener Lebensjahre aus unterschiedlichen Studien bestätigt die hohen Wachstumsschübe im ersten und zweiten Jahr (Tab. 4.3).

Die berechneten mittleren Längen dieser Untersuchung stimmen mit den Literaturangaben weitgehend überein. Im Mittel liegen die Längen meiner Untersuchung in den Jahrgängen eins und zwei etwas unter den Werten aus anderen Untersuchungen. Weiterhin wird deutlich, dass die Längenwerte mit zunehmendem Alter der Muscheln weiter streuen. (3. und 4. Lebensjahr). Der Jahrgang 1997 (4. Lebensjahr) liegt etwas über den ermittelten Werten von MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) und ARMONIES & REISE (1999). Die Unterschiede zwischen den mittleren Längen in anderen Untersuchungen und meiner beruhen zum einen auf dem natürli-

chen Streubereich der Längen, zum anderen auf den jeweiligen Wachstumsbedingungen der entsprechenden Jahre.

**Tab. 4.3:** Vergleich der mittleren Längen [mm] von *Ensis directus* in der Nordsee. Verändert nach ARMONIES & REISE (1999).

Literatur	Ort	Lebensjahre			
		1	2	3	4
MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983)	DK, Blåvandshuk-Strand	48	109	137	152
	D, Sylt	43	94	124	-
SWENNEN et al. (1985)	D, Langeness** (Eulitoral)	27 – 30	78 – 84	-	-
DÖRJES (1992)	D, Großer Vogelsand***	10 – 50	60 – 105	-	-
LUCZAK et al. (1993)	F, Dunkerque	35****	-	-	-
CADEE et al. (1994)	NL, Sublitoral	59	120	134	-
BEUKEMA & DEKKER (1995)	NL, tiefes Eulitoral	64	126	144	-
ARMONIES & REISE (1999)	D, Sylt (Eulitoral)	43	97	127	133
Diese Untersuchung	Station <b>AB 1</b>	32	-	129	-
	Station <b>AB 8</b>	43	-	-	154
	Spisula-Sperrgebiet	35	92	138	-
	Eiderstedt	-	68*	-	-
	Vogelsand	-	82*	-	-

\* Alter: 1 ¾ Jahre

\*\* Mittelwert aus 3 Gebieten

\*\*\* Mittelwert aus 3 Gebieten über 10 Jahre, Schätzung aus Abbildung

\*\*\*\* Alter: 0,5 Jahre

Die Kohorten 2001, 2000 (1. Lebensjahr) und 1999 (2. Lebensjahr) konnten innerhalb dieser Untersuchung anhand der Größenverteilung sicher bestimmt werden. Ebenfalls sicher ist die Kohorte 1997 (4. Lebensjahr) mit einer mittleren Länge von 154 mm. Die Muscheln im 3. Lebensjahr könnten auch aus dem Jahr 1997 stammen. Dafür würde sprechen, dass die Muscheln an diesen Stationen allgemein kleiner sind (Tab. 3.10) als die Muscheln an der Station **AB 8** sowie im *Spisula*-Sperrgebiet und die Streuung im oberen Längenbereich immer größer wird. Anhand der ermittelten Wachstumsraten und einem hohen Wachstumsschub im 1. und 2. Jahr ist jedoch anzunehmen, dass diese Muscheln aus dem Jahr 1998 stammen.

Nach ARMONIES & REISE (1999) ist das Wachstum von *Ensis directus* bei 20 m Tiefe am geringsten. SWENNEN et al. (1985) und BEUKEMA & DEKKER (1995) fanden in ihren Untersuchungen ein geringeres Wachstum im oberen Eulitoral. Sie geben als Optimum das untere Eulitoral bzw. das Sublitoral an. Einfluss auf das Wachstum nimmt nicht nur die Tiefe, sondern auch die geographische Breite, Temperatur und Nahrung (ARMONIES & REISE 1999),

sowie winterliche Grundseen mit hohen Sedimentumlagerungen und Schadstoffeinträge zum Beispiel aus der Elbe (DÖRJES 1992).

Die ältesten Exemplare von *Ensis directus* hatten im Untersuchungsgebiet ein mittleres Alter von 3,5 Jahren. MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) geben für die Nordsee ein Höchstalter von 4 Jahren an, DÖRJES (1992) von 3 Jahren und BEUKEMA & DEKKER (1995) von 2,5 – 3 Jahren. ARMONIES & REISE (1999) legten das Durchschnittsalter adulter Tiere mit 2 – 4 Jahren fest. DÖRJES (1992) stellte während seiner Untersuchung ein durchschnittliches Alter von zwei Jahren fest. In der vorliegenden Untersuchung wurden vor allem 1 – 2 jährige Muscheln gefunden (Tab. 4.3). Nach DÖRJES (1992) treten meist zwei Generationen nebeneinander auf (maximal drei), wobei auch ganzjährige Fundlücken auftreten. Dies wird durch die vorliegende Arbeit bestätigt (Abb. 3.17 – 3.21, Seiten 35 – 38). Die meisten Generationen wachsen nach DÖRJES (1992) auf eine maximale Länge von 10 cm heran. In dieser Untersuchung wurden höhere Individuenzahlen bis ca. 8 cm festgestellt (Tab. 3.10: Vogelsand, Jahrgang 1999 im Oktober 2000). Bei größeren Muscheln waren die Kohorten mit wesentlich weniger Individuen besetzt.

MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) geben eine maximale Länge von 165 mm an, ARMONIES & REISE (1999) von 186 mm (7 Jahre). Beide Untersuchungen geben für die europäische *E. directus* eine mittlere maximale Größe von 150 – 180 mm an. Die größte *E. directus*, die während der Untersuchung gefunden wurde, hat eine Länge von 137 mm (Station **AB 8** im März 2000) und damit ein Alter von ungefähr 2,5 Jahren. Die nach der Längen-Breiten-Beziehung berechnete größte Muschel, misst errechnete 172,4 mm (ca. 4 Jahre, Station **AB 8** im März 2001). Im Ursprungsgebiet von *E. directus* an der amerikanischen Atlantikküste gibt MORRIS (1973) die maximale Länge mit 150 – 178 mm, STANLEY (1970) mit bis zu 200 mm, ABBOTT (1974) mit 254 mm und CLENCH (1944) mit 228 mm an. In der Untersuchung von MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) wird darauf hingewiesen, dass ein Wachstum auf bis zu 200 mm für *E. directus* in Europa nicht auszuschließen ist.

Die kleinsten Individuen von *E. directus* wurden im Sommer 2001 gefunden (Jahrgang 2001: 5 mm). In den Detritus-Dredgefängen ist der gleiche Jahrgang mit einer Länge von 1 – 5 mm gefunden worden (Abb. 3.29, Seite 49). Die Reproduktion von *E. directus* findet im März/April statt (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983). Nach MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) und DÖRJES (1992) folgt eine planktische Phase von 2 – 4 Wochen. Die Ansiedlung der Individuen erfolgt im Mai oder Juni mit einer Länge von 1 – 3 mm (BEUKEMA & DEKKER 1995). *E. directus* ist, wie viele benthische Juvenile (ARMONIES 1998), wahrscheinlich in der

Lage den Ort der Ansiedlung zu selektieren. Ebenso können sie auch nach der Ansiedlung das Habitat wechseln (DREW 1907). ESSINK (1985) konnte Muscheln bis zu einer Länge von 55 mm driftend in der Wassersäule beobachten. Im Juli erreichten die Individuen der Untersuchung von BEUKEMA & DEKKER (1995) eine Länge von 15 mm. Die im Juli 2001 in meiner Untersuchung gefundenen *E. directus* sind nach der Größe also gerade erst frisch gesiedelt. Demnach könnte die postlarvale Ansiedlung der Individuen im Jahr 2001 um einen Monat verschoben begonnen haben. Dies bestätigen auch die Detritus-Dredgefänge des Mai 2001 (Abb. 3.27, Seite 47). An 14 Stationen wurden insgesamt nur 13 Individuen gefunden mit einer Länge von 1 – 4 mm. Die Individuen des Jahrgangs 2000 waren im August 2000 ebenfalls um 10 mm kleiner als die gefundenen Individuen von BEUKEMA & DEKKER (1995). Dies könnte ebenfalls auf eine spätere postlarvale Ansiedlung hindeuten. Der Streubereich der Individuen in den Detritus-Dredgefängen resultiert zum einen aus dem enorm schnellen Wachstum von *E. directus*. Die Art *Phaxas pellucidus* (gleiche Familie: Pharidae) zeigt in den ersten Monaten ebenfalls ein schnelles Wachstum und einen breiten Streubereich (RUMOHR 1980). Zum anderen könnten dies auch Anzeichen für mehrere aufeinanderfolgende Laichschübe sein. MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) stellten in ihrer Untersuchung vier Maxima an juvenilen *Ensis directus* fest. ARMONIES & REISE (1999) stellten ebenfalls mehrere Perioden von Larveneinfällen fest und erklären dadurch die große Streuung der mittleren Länge von einjährigen *E. directus*. In dieser Untersuchung wurde innerhalb der Kohorte 1999, die sich im 2. Lebensjahr befindet, ebenfalls der höchste Streubereich festgestellt.

### 4.3.3 Mortalität

Anhand der Abnahme der Individuenzahlen innerhalb eines Jahrgangs wurde versucht, die Mortalität von *Ensis directus* abzuschätzen. Die Angaben sind jedoch sehr vage. Dies beruht zum einen darauf, dass der Zeitraum der Beprobung relativ kurz ist, so dass nur wenige Kohorten wirklich sicher verfolgt werden konnten. Zum anderen ist es schwer abschätzbar, wie viele Tiere zwischen den Probennahmen wirklich gestorben sind oder wie viele nicht mit dem Greifer erfasst wurden, da sich die Muscheln schnell in das Sediment zurückziehen. Zusätzlich sind die Individuen dieser Art fleckenhaft im Untersuchungsgebiet verteilt (ARMONIES & REISE 1999, unveröffentlichte Videodaten von Dr. H. Rumohr). Für die Mortalitätsabschätzungen werden daher nur die Daten des Jahrgangs 1999 und 2000 benutzt.



Berichte über Massenmortalitäten vor allem von einjährigen *Ensis directus* finden sich häufig in der Literatur (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983, BEUKEMA & DEKKER 1995, ESSINK 1998, ARMONIES & REISE 1999). MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) fanden im Sublitoral Überlebensraten von 1 – 55 % Jahr<sup>-1</sup>, BEUKEMA & DEKKER (1995) bestätigen in ihrer Untersuchung eine Überlebensrate von 4 % im Winter 1991/92. Die Überlebensrate ist im Sublitoral jedoch wesentlich höher als im Eulitoral (MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. 1983). BEUKEMA & DEKKER (1995) fanden in ihrer Untersuchung Überlebensraten pro Jahr von 0 % in der Hochwasserzone, 10 % im Eulitoral und 30 % im Sublitoral.

Auch in der vorliegenden Untersuchung sind in den Jahrgängen 1999 und 2000 hohe Mortalitäten beobachtet worden. So weist der Jahrgang 2000 der Station **AB 1** eine mittlere Mortalität von 77 % Jahr<sup>-1</sup> und der Jahrgang 1999 vor Eiderstedt eine von 84 % Jahr<sup>-1</sup> auf. Die höchsten Verluste innerhalb der Jahrgänge traten zwischen März und Juli auf (17 – 32 % Monat<sup>-1</sup>).

Nach ARMONIES & REISE (1999) sind Massenmortalitäten im späten Winter bzw. frühen Frühling keine Seltenheit, genauso wie hohe Rekrutierungsraten und geringe Überlebenschancen der Muscheln im Winter (BEUKEMA & DEKKER 1995, ESSINK 1998, ARMONIES & REISE 1999). In dieser Untersuchung wurden die höchsten Mortalitätsraten jedoch nicht im Winter, sondern vor allem im Frühling gefunden. Nach MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) ist ein möglicher Grund für das Massensterben die Erschöpfung nach dem Ablachen, wobei die Autoren nur die Geschlechtsreife von 38 mm großen Individuen (Alter: 1 Jahr) festgestellt haben, jedoch nicht das Ablachen. Viele Bivalvia investieren 90 % ihrer Nettoproduktion in die Reproduktion (ANSELL 1982). Da in dieser Untersuchung die höchsten Mortalitäten ungefähr im Frühjahr beobachtet wurden, könnte dies die Aussage von MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) unterstützen. Nach ARMONIES & REISE (1999) kann dies aber nur ein Grund für die Massenmortalität von älteren Individuen sein. Andere Faktoren können ebenso verantwortlich sein. RAUCK (1982) und MÜHLENHARDT-SIEGEL et al. (1983) halten Krankheiten, Parasitenbefall und Nahrungsmangel aufgrund von hohen Populationsdichten für möglich. Krankheiten und Parasiten sind nach LAUCKNER (persönliche Mitteilung in ARMONIES & REISE 1999) ausschließbar. Ebenso ist Nahrungsmangel im Winter beziehungsweise Frühling unwahrscheinlich. ARMONIES & REISE (1999) geben zwei mögliche Gründe für die Massenmortalität an. 1. Die europäische *Ensis directus* hat in der Nordsee die nördlichste Ausbreitungsgrenze erreicht. 2. Durch die vor allem im Winter starken West- beziehungsweise Nord-West-Winde entstehen in der Nordsee, im Gegensatz zu der amerikanischen Atlantikküste, offshore-Wellen (ARMONIES & REISE 1999), die zum Auswaschen der Muscheln führen. *E. directus* ist zwar

sehr beweglich und kann deshalb grundsätzlich Sedimentumlagerungen überstehen (RAUCK 1982, SWENNEN et al. 1985, SCHIEDEK & ZEBE 1987), jedoch könnte durch die winterlichen Temperaturen die Beweglichkeit gehemmt werden. Das Auswaschen von Muscheln meist ab vier Jahren wird von ARMONIES & REISE (1999) bestätigt. Dabei sind die Muscheln nur noch bis zur Hälfte eingegraben und reagieren auf Erschütterungen nicht mehr mit dem bekannten Rückzugverhalten ins Sediment. In der vorliegenden Untersuchung wurden anhand von Videoaufnahmen (unveröffentlichte Daten von Dr. H. Rumohr) ältere *E. directus* beobachtet, die nur noch zur Hälfte im Sediment steckten. Es ist daher möglich, dass aufgrund der winterlichen Temperaturen eine Auswaschung der Individuen erfolgt bzw. dass Massenmortalitäten von jüngeren *E. directus* zumeist im Frühjahr ebenfalls auf Auswaschung basieren können.

## 4.4 *Spisula solida*

### 4.4.1 Abundanz

Der Bestand von *Spisula solida* ist im Untersuchungsgebiet sehr gering ( $5 \text{ m}^{-2}$ ). Hohe Abundanzen wurden im Grobsandbereich der Amrumbank gefunden. Die Dominanz von *S. solida* auf Grobsand zeigten die Ergebnisse dieser Untersuchung (Tab. 3.4, Abb. 3.11, Seite 26) und werden von KOCK (1995) bestätigt. Von vielen Autoren wird die fleckenhafte Ansiedlung durch den grobsandigen Lebensraum vor der deutschen Nordseeküste bestätigt (ZIEGELMEIER 1957, 1978, SALZWEDEL et al. 1985, MEIXNER 1993, 1994, VON WESTERNHAGEN 1997). Als schnellgrabende Muschel (KOCK 1995) ist *S. solida* an den mobilen Grobsand optimal angepasst.

Ein grundlegendes Problem bei Literaturvergleichen ist die Taxonomie innerhalb der Gattung *Spisula*. Während für *Ensis directus* Untersuchungen für den Versuch der Artbestimmung in Europa vorliegen (VON COSEL et al. 1982, DE BOER 1984, VAN URK 1987), ist die Artbestimmung von *Spisula solida* nicht vollständig geklärt. Nach ZIEGELMEIER (1957) gibt es in den deutschen Meeresgebieten nur zwei Arten der Gattung *Spisula*: *S. solida* und *S. subtruncata*. STRIPP (1969) spricht in seiner Untersuchung von *Spisula solida-subtruncata*, da aufgrund unterschiedlicher Auffassung der Taxonomen eine Artbestimmung nicht möglich war. WILLMANN (1989) gibt mit *S. elliptica* drei Arten an, wobei er darauf hinweist, dass *S. elliptica* vielleicht nur eine Varietät von *S. solida* ist. NIERMANN et al. (1990) und NIERMANN (1991) haben in ihren Untersuchungen nur *Spisula subtruncata* und *Spisula elliptica* gefunden.

DE KLUIJVER et al. (2000a) und HAYWARD (1995a) geben für die Nordsee drei Arten an: *S. solida*, *S. subtruncata* und *S. elliptica*.

Es gibt nur wenige Untersuchungen über die Bestände von *S. solida* in deutschen Küstengewässern. REMANE (1940) fand in seiner Untersuchung eine mittlere Abundanz von 3,8 – 5,9 m<sup>-2</sup>, SALZWEDEL et al. (1985) von 23 m<sup>-2</sup> und KOCK (1995) von 35 m<sup>-2</sup>. Weitere Untersuchungen zur Abundanz stammen von KRISTENSEN (1994, 1996) vor der dänischen Küste im Gebiet Røde Kilt Sand und Horns Rev. Wie die Amrumbank sind diese Gebiete große Grobsandbereiche, auf denen kommerziell von holländischen Fischern auf *S. solida* gefischt wird. KRISTENSEN (1994, 1996) fand im Gebiet von Røde Kilt Sand eine mittlere Abundanz von 68 *S. solida* m<sup>-2</sup>, im Gebiet Horns Rev von 17 *S. solida* m<sup>-2</sup>.

Die mittlere Abundanz von *S. solida* innerhalb der vorliegenden Untersuchung ist mit Abstand die geringste in den letzten 50 Jahren, sowohl bezogen auf die Deutsche Bucht, als auch auf reine Grobsandbereiche. Die höchste mittlere Abundanz (Station **AB 7**: 26 m<sup>-2</sup>) liegt immer noch weit unter dem Wert von KOCK (1995). Ein Grund für die geringen Abundanzen könnte immer noch der kalte Winter 1995/96 sein, in dem nach SEAMAN & RUTH (1998) die Bestände zusammenbrachen und die kommerzielle Fischerei zum Erliegen kam. VON WESTERNHAGEN (1997) zeigt in seiner Untersuchung ebenfalls, dass die Anlandungen von Trogmuscheln in schleswig-holsteinischen Küstengewässern extrem gesunken sind.

Erwähnenswert ist auch die sehr geringe Abundanz von *S. solida* im *Spisula*-Sperrgebiet (Tab. 3.11, Seite 40). Es ist also fraglich, ob dieses Schutzgebiet seinen eigentlichen Zweck erfüllen kann.

#### 4.4.2 Größenverhältnisse

Innerhalb der vorliegenden Untersuchung sollte ursprünglich wie auch bei *Ensis directus* eine Analyse des Wachstums von *Spisula solida*, die Zuordnung zu möglichen Kohorten, sowie eine Abschätzung des Alters erfolgen. Die geringen Abundanzen machen eine Aussagen diesbezüglich jedoch wagen, beziehungsweise unmöglich. Nach GASPAR & MONTEIRO (1999) laicht *S. solida* gesteuert durch die steigenden Wassertemperaturen von Februar bis Mai. Die Geschlechtsreife wird mit einem Jahr erreicht. MEIXNER (1993) gibt als Zeitraum des Ablai-chens Mai bis Juni an und das Alter der Geschlechtsreife mit zwei Jahren. Die Trogmuschel ist ein Portionslaicher, wodurch der Erfolg der Erstansiedlung nach MEIXNER (1993) erhöht wird. Die Zeit bis zur Erstansiedlung ist bei *S. solida* nicht bekannt. In den Detritus-

Dredgefängen wurden im Mai 2001 acht postlarvale *S. solida* mit einer Länge von 1 – 5 mm gefunden (Abb. 3.26, Seite 46). Das Wachstum beträgt nach GASPAR et al. (1995) 0,4 mm Monat<sup>-1</sup>. In den ersten beiden Jahren ist ein erhöhtes Wachstum zu verzeichnen. Die Altersbestimmung der Muschel anhand von Wachstumsringen ist wesentlich schwieriger als bei *Ensis directus*. Durch die Ringbildung durch Störungen im Lebensraum (Stürme, extreme Temperaturen, Krankheit etc.) kann es zu einer Überschätzung des Alters und einer Unterschätzung des Wachstums kommen (GASPAR et al. 1995). Die Alters-Längenbeziehungen schwanken daher beträchtlich innerhalb der Literatur. KOCK (1995) gibt für die kleinste gefundene Trogmuschel in ihrer Untersuchung ein Alter von zwei Jahren an (15 mm), während GASPAR et al. (1995) für die gleiche Größe ein Alter von einem Jahr angibt. Aufgrund dieser Unsicherheiten und des Fehlens von eigenen Ergebnissen, wird auf eine Altersbestimmung im folgenden verzichtet.

Der Vergleich der mittleren Längen mit denen von KOCK (1995) zeigt, dass die Trogmuscheln in meiner Untersuchung deutlich kleiner sind (Tab. 4.4). In der vorliegenden Arbeit wurden die kleinsten Individuen von *S. solida* mit dem Greifer erbeutet (Abb. 3.25, Seite 45), in der Untersuchung von KOCK (1995) mit der Dredge (Größenbereich der Dredge: 15 – 44 mm; Greifer: 19 – 45 mm). In meiner Untersuchung wurden größere Individuen von *S. solida* vor allem mit der hydraulischen Dredge erbeutet (Abb. 3.25, Seite 45). Auch bei KOCK (1995) ist die mittlere Länge bei diesem Probennahmegerät am höchsten. Der Größenbereich liegt bei

**Tab. 4.4:** Vergleich der mittleren Längen von *Spisula solida* mit KOCK (1995) in Bezug auf verschiedene Probennahmegeräte.

Geräte	Diese Untersuchung Mittlere Länge [mm]	KOCK (1995)
Greifer	9,7	37,3
Dredge	13,3	34,3
Hydraulische Dredge	33,8	39,3

34 – 47 mm. MEIXNER (1994) gibt bei seiner Untersuchung einen Größenbereich von 31 – 44 mm an, während in dieser Arbeit der Größenbereich von 23 bis 41 mm reicht.

Die größte Trogmuschel dieser Untersuchung hatte eine Länge von 41,5 mm.

MEIXNER (1993, 1994) gibt die maximale

Endlänge von *Spisula solida* mit 45 mm an, KOCK (1995) mit 42 mm, KRISTENSEN (1994, 1996) mit 42,5 mm (Røde Kilt Sand) und 43,5 mm (Horns Rev) und GASPAR et al. (1995) geben für Portugal Längen von 45,1 mm bzw. 50,2 mm an.

Nach VON WESTERNHAGEN (1997) dringt die hydraulische Dredge 6 – 7 cm tief in das Sediment ein. Nach SEAMAN & RUTH (1997) und MEIXNER (1993, 1994) lebt *S. solida* während des Sommers direkt unter der Sedimentoberfläche als Filtrierer, während sie sich im Winter tiefer in das Sediment eingräbt. Aufgrund der fleckenhaften Verteilung und der unregelmäßi-

gen Beprobung der einzelnen Stationen kann diese Aussage durch die vorliegende Arbeit weder widerlegt noch bestätigt werden. KOCK (1995) stellte in Hälterungsversuchen jedoch fest, dass die Tiere bei Erniedrigung der Wassertemperaturen an die Sedimentoberfläche bzw. aus dem Sediment herausragten. Insgesamt lag die Eingrabbtiefe der Trogmuscheln innerhalb ihrer Untersuchung bei 1 – 2 cm, maximal 3 – 4 cm. Nach den Angaben von KOCK (1995) müssten also sowohl mit einem beschwerten Greifer, der Dredge, als auch der hydraulischen Dredge alle Individuen gefangen werden können, unabhängig von der Jahreszeit.

Die Verschiebung des Größenspektrums beruht nach den vorliegenden Ergebnissen vor allem darauf, dass große Individuen von *S. solida* weit seltener im Untersuchungsgebiet vorkamen (Abb. 3.23). MEIXNER (1994) bestätigt in seiner Untersuchung, dass größere beziehungsweise ältere Trogmuscheln seltener zu finden sind. Sowohl die Dredge als auch die hydraulische Dredge beproben eine wesentlich größere Bodenfläche, wodurch die Anzahl von großen Individuen steigt.

## 5 Fazit & Ausblick

Die vorliegende Arbeit zeigt deutlich die Diskrepanz zwischen den Muschelbeständen und der Fischerei in der Deutschen Bucht: *Ensis directus* mit großen Beständen aber fehlender Fangerlaubnis und *Spisula solida* mit reglementierter Fangerlaubnis aber fehlenden Beständen.

Die Gattung *Ensis* hat im Mittelmeerraum ein großes Marktpotential. Mit hohen Wachstumsraten und geringen Umweltansprüchen würde sich die Art auch für Aquakulturen eignen (KENCHINGTON et al. 1998).

Viele Fragen bezüglich der Biologie der Molluskenarten sind immer noch ungeklärt. Autökologische und vor allem synökologische Untersuchungen zu *E. directus* sind kaum vorhanden. Für das Phänomen des Massensterbens sind die konkreten Gründe nicht geklärt. Weiterhin ist unbekannt, welche Auswirkungen der Einwanderer auf das Ökosystem hat und in wie weit andere Arten von ihm verdrängt werden. In dieser Untersuchung wurden kaum einheimische Individuen der Gattung *Ensis* gefunden. Weitere Untersuchungsansätze liefern die Arbeiten von ARMONIES & REISE (1999), die feststellten, dass *Cerastoderma edule* geringe Abundanzen aufweist, wenn *Ensis directus* in hohen Abundanzen vorkommt, sowie SWENNEN et al. (1985) der *Mya truncata* als möglichen Konkurrenten angibt. ESSINK (1998) sieht keine Anzeichen für Konkurrenz, da die Art eine leere Nische auf „mobilen Sanden“ besetzt hat, mit gleichen POC-Werten (Particular organic carbon) wie die der Umgebung, jedoch weniger Filtrierern (BEUKEMA & DEKKER 1995). Wer sind die Prädatoren von *E. directus*? RAUCK (1982) nennt den Kabeljau, SWENNEN et al. (1985) den Austernfischer. Welchen Einfluss haben Möwen und Enten auf die Bestände oder benthische Prädatoren, wie *Carcinus maenas* oder *Asterias rubens*?

Ebenso ist der Rückgang des Bestandes von *S. solida* ungeklärt. Auch hier fehlen autökologische Untersuchungen, ob die Temperatur tatsächlich für den Rückgang des Bestandes verantwortlich ist oder eventuelle Überfischung zur rückläufigen Rekrutierung geführt hat. Die Frage nach den Predatoren ist ebenfalls nicht vollständig geklärt. KOCK (1995) gibt *Lunatia alderi*, *Asterias rubens*, *Liocarcinus* sp. und *Melanitta nigra* (Trauerenten) beziehungsweise *Somateria mollissima* (Eiderenten) an.

Es besteht weiterhin noch Forschungsbedarf bezüglich der Biologie, Verbreitung und Fortpflanzung von *Ensis directus* und *Spisula solida*, auch auf der Zeitskala, um die Nachhaltigkeit und Ökosystemverträglichkeit einer möglichen Fischerei zu gewährleisten.

## 6 Zusammenfassung

Das Untersuchungsgebiet liegt im flachen Sublitoral (7 – 16 m Tiefe) und ist vorwiegend mit Feinsand bedeckt. Hinzu traten fleckenhaft Grobsandbereiche auf der Amrumbank und in benachbarten Gebieten auf. Anhand der Sedimente kann zwischen einer Feinsand- und einer Grobsand-Assoziation unterschieden werden, zwischen denen fließende Übergänge vorhanden sind (Mittelsandgebiete und schlickige Feinsandgebiete). Die gefundenen Arten innerhalb der Assoziationen entsprechen denen aus früheren Untersuchungen (ZIEGELMEIER 1963, STRIPP 1969, RACHOR & GERLACH 1978, ZIEGELMEIER 1978, RACHOR 1980, SALZWEDEL et al. 1985, 1990, NIERMANN 1991), mit Ausnahme der neu eingewanderten Art *Ensis directus*. Im Untersuchungszeitraum konnten in den Assoziationen Fluktuationen von Arten- und Individuenzahlen festgestellt werden: Abnahme der Diversität und Evenness im Frühjahr 2001 durch den Larveneinfall von Polychaeten, vor allem aber *Ensis directus*.

23 Jahre nach ihrer Einwanderung hat sich *Ensis directus* auf den strömungsexponierten Sanden des flachen Sublitorals endgültig etabliert (mittlere Abundanz: 925 m<sup>-2</sup>). *E. directus* scheint kaum Ansprüche an das Habitat zu stellen. Durch die große Beweglichkeit kann sie auf Sedimentumlagerungen reagieren und besetzt damit die ökologische Nische der meist gering besiedelten und artenarmen „mobilen Sande“. Vor allem auf Feinsand und schlickigem Feinsand tritt die Muschel in extrem hohen Abundanzen auf (1972 bzw. 5481 m<sup>-2</sup>). In der Untersuchung wurden vorwiegend ein bis zweijährige Muscheln gefunden, das Höchstalter beträgt 3,5 Jahre. *E. directus* ist eine opportunistische Art, die zu Massenentwicklungen neigt (MÜHLENARDT-SIEGEL et al. 1983), mit hoher Rekrutierung (> 25000 m<sup>-2</sup> im Juli 2001) und schnellem Wachstum (3,6 mm Monat<sup>-1</sup>). Gleichzeitig konnten auch die Massenmortalitäten (Mortalität von 77 beziehungsweise 84 % Jahr<sup>-1</sup>) von einjährigen *E. directus* bestätigt werden, wobei die Gründe immer noch ungeklärt sind. Möglich ist die Auswaschung der Individuen im Zusammenspiel mit niedrigen Temperaturen und damit eingeschränkter Beweglichkeit, als auch Erschöpfung nach dem Ablachen, da es vornehmlich im Frühjahr hohe Mortalitätsraten gab.

*Spisula solida* wurde zwar regelmäßig im Untersuchungsgebiet gefunden (Frequenz: 64 %), jedoch nie in hohen Abundanzen (mittlere Abundanz: 5 m<sup>-2</sup>). Auf Grobsand wurde lokal eine höhere Abundanz erreicht (13 m<sup>-2</sup>). Die Trogmuschel war hier eine der drei dominanten Arten (11 %). Ebenso wie *E. directus* ist *S. solida* eine schnellgrabende Muschel (KOCK 1995) und

damit an die „mobilen Sande“ angepasst. Dennoch liegen die in den Jahren 2000 – 2001 gefundenen Abundanzen weit unter den Vergleichswerten der frühen 90er Jahre (MEIXNER 1993, 1994, KOCK 1995). Bestätigt wird diese Tatsache durch die stetig sinkenden Anlandungen von Trogmuscheln seit Mitte der 90er Jahre. Ob die niedrigen Abundanzen auf die Auswirkungen des Eiswinters 1995/96 zurückzuführen oder andere Gründe für das Verschwinden der Muscheln verantwortlich sind, konnte nicht geklärt werden. Im Untersuchungsgebiet wurden vorwiegend kleine Individuen gefangen (mittlere Länge: 9,7 mm). Aufgrund der geringen Abundanzen konnten weder Wachstumsraten, Rekrutierung noch Größenstrukturen innerhalb des Bestandes untersucht werden.

Diese Arbeit zeigt deutlich, dass zwischen den Muschelbeständen von *E. directus* und *S. solida* und der momentan betriebenen Fischerei eine deutliche Diskrepanz besteht. Viele Fragen bezüglich der Biologie der Arten sind offen. Es besteht daher weiterhin Forschungsbedarf um eine mögliche nachhaltige Fischerei sicher zu stellen.



## 7 Summary

The area of investigations belongs to the subtidal (7 – 16 m depth) and is mostly covered by fine sand with spots of coarse sand in between. Based on the sediment distribution, two associations can be differentiated: fine and coarse sands, with smooth transitions (mixed and silty sediments). The species belonging to the different associations correspond with those of earlier investigations (ZIEGELMEIER 1963, STRIPP 1969, RACHOR & GERLACH 1978, ZIEGELMEIER 1978, RACHOR 1980, SALZWEDEL et al. 1985, 1990, NIERMANN 1991), except for the new invader, the bivalve *Ensis directus*. During this study fluctuations in number of species and individuals could be observed. Diversity and evenness decreased in spring 2001 due to strong recruitment of polychaeta, but mainly of *Ensis directus*.

23 years after the invasion, *Ensis directus* is an important member of the sandy subtidal areas which are exposed to currents with a mean abundance of 925 m<sup>-2</sup>. *E. directus* does not seem to prefer special habitats. Their locomotion capacity above and within the sediment enables this species to react quickly on bottom disturbances and thus to survive in current exposed habitats.

The mussel shows extremely high abundances (1972 respectively 5481 m<sup>-2</sup>) on fine and silty fine sands. During this study mainly one and two year old razor shells were found, some with a maximum age of 3.5 years. *E. directus* is an opportunistic species with mass development (MÜHLENARDT-SIEGEL et al. 1983), high recruitment (> 25000 m<sup>-2</sup> in July 2001) and strong growth (3.6 mm month<sup>-1</sup>). Additionally, the mass mortalities (mortality of 77 respectively 84 % year<sup>-1</sup>) were observed, the reasons for that are not known yet. The interaction between low temperature and limited movement could be responsible for the washing out of the individuals. Since mortality takes place especially in springtime, the reasons could be the depletion after spawning as well.

*Spisula solida* was found regularly in the investigation area (frequency: 64 %), but in low numbers (mean abundance: 5 m<sup>-2</sup>). In coarse sand locally higher abundances were found (13 m<sup>-2</sup>). The surf clam is one of three dominant species (11 %) in this area. Just as *E. directus*, *S. solida* is a fast burrowing mussel (KOCK 1995) and therefore adapted to exposed sedimentary habitats.

Nevertheless, the abundances in 2000 – 2001 lie well below values of those of the mid 90ies (MEIXNER 1993, 1994, KOCK 1995). This can also be seen in the decreasing landings of surf

clams since the middle of the 90ies. Whether the effects of the ice winter 1995/96 or other reasons are responsible for the disappearance of *S. solida*, remains unclear. In the investigation area mainly small individuals were found (mean length: 9,7 mm). Due to the low figures in the sample neither growth rate nor recruitment or structure of the stock could be studied.

The study shows the gap between the stocks of *E. directus* and *S. solida* , as well as fishery in the North Sea. Various details of the species biology remains unclear. Therefore supporting studies are necessary to ensure sustainable fishery.

## 8 Literaturverzeichnis

- ABBOTT, R. T. (1974):** American seashells. 2. Aufl., New York (Van Nostrand Reinhold): 663 S.
- ANSELL, A. D. (1982):** Experimental studies of a benthic predatory prey relationship. II. Energetics of growth and reproduction, and food-conversion efficiencies, in longterm cultures of the gastropod drill *Polinices alderi* (FORBES) feeding on the bivalve *Tellina tenuis* (DA COSTA). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 61: 1 – 29.
- ARMONIES, W. (1998):** Driftendes Benthos im Wattenmeer: Spielball der Gezeitenströmung? In: Gätge, C. & Reise, K (Hrsg.): Ökosystem Wattenmeer: Austausch, Transport- und Stoffumwandlungsprozesse. Springer, Berlin, Heidelberg, New York: 473 – 498.
- ARMONIES, W. & REISE, K. (1999):** On the population development of the introduced razor clam *Ensis americanus* near the island of Sylt (North Sea). Helgol. Wiss. Meeresunters., 52 (3/4): 291 – 300.
- BEUKEMA, J. J. & DEKKER, R. (1995):** Dynamics and growth of a recent invader into european coastal waters: The american razor clam, *Ensis directus*. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 75: 351 – 362.
- BOER, T. W. DE (1984):** The American jackknife clam *Ensis directus* (Conrad, 1843) in Europe. Boll. Malac., 20: 258 – 262.
- BOER, T. W. DE & BRUYNE, R. H. DE (1983):** De Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* (CONRAD 1843) in Nederland. Basteria, 47: 154.
- BOUSFIELD, E. L. (1960):** Canadian Atlantic Seashells. National Museum of Canada, Ottawa: 72 S.

- BRAY, J. R. & CURTIS, J. T. (1957):** An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27: 325 – 349.
- BRUYNE, R. H. DE & BOER, T. W. DE (1983):** De Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* (CONRAD 1843) in Nederland. *Zeepaard*, 54: 188 – 193.
- CADÉE, G. C., CADÉE-COENEN, J. & WITTE, J. IJ. (1994):** Massale sterfte van *Ensis directus* op Schanserwaard en elders blijft raadselachtig. *Correspondentieblad Nederlandse Malacologische Vereniging*, 279: 86 – 93.
- CLARKE, K. R. & WARWICK, R. M. (1994):** Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, U.K.: 144 S.
- CLENCH, W. J. (1944):** A large specimen of *Ensis directus* (CONRAD). *Nautilus*, 58: 31.
- COSEL, R. VON, DÖRJES, J. & MÜHLENHARDT-SIEGEL, U. (1982):** Die amerikanische Schwertmuschel *Ensis directus* (CONRAD) in der Deutschen Bucht. I. Zoogeographie und Taxonomie im Vergleich mit den einheimischen Schwertmuschel-Arten. *Senckenb. marit.*, 14 (3/4): 147 – 173.
- DÖRJES, J. (1992):** Die amerikanische Schwertmuschel *Ensis directus* (CONRAD) in der deutschen Bucht. III. Langzeitentwicklung nach 10 Jahren. *Senckenb. marit.*, 22 (1/2): 29 – 35.
- DREW, G. A. (1907):** The habits and movement of the razor shell clam, *Ensis directus*, CONRAD. *Biol. Bull.*, 12 (3): 127 – 138.
- DUINEVELD, G. C. A., KÜNITZER, A., NIERMANN, U., WILDE, P. A. W. J. DE & GRAY, J. S. (1991):** The macrobenthos of the North Sea. *Neth. J. Sea Res.*, 28 (1/2): 53 – 65.
- ESSINK, K. (1984):** De Amerikaanse Zwaardschede *Ensis directus* (CONRAD, 1843) een nieuwe soort vor de Nederlandse Wadden Zee. *Zeepaard*, 44: 68 – 71.

- ESSINK, K. (1985):** On the occurrence of the American jack-knife clam *Ensis directus* (CONRAD 1843) (Bivalvia, Cultellidae) in the Dutch Wadden Sea. *Basteria*, 49: 73 – 80.
- ESSINK, K. (1998):** On the dispersal of *Marenzelleria* spp. (Polychaeta: Spionidae) and *Ensis americanus* (Bivalvia: Cultellidae) in NW Europe. ICES Working Group on Introduction of Marine Organisms (WGITMO). Meeting of March 25 – 27 1998, Den Haag: 11 S.
- GASPAR, M. B., CASTRO, M. & MONTEIRO, C. C. (1995):** Age and growth rate of the clam, *Spisula solida* L., from a site off Vilamoura, south Portugal, determined from acetate replicas of shell sections. *Sci. Mar.*, 59 (Supl. 1): 87 – 93.
- GASPAR, M. B. & MONTEIRO, C. C. (1999):** Gametogenesis and spawning in the subtidal white clam *Spisula solida*, in relation to temperature. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 79: 753 – 755.
- GRAY, J. S. (1984):** Ökologie mariner Sedimente. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 193 S.
- HARTMANN-SCHRÖDER, G. (1996):** Annelida, Borstenwürmer, Polychaeta. Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile nach ihren Merkmalen und nach ihrer Lebensweise. 58. Teil, 2. Auflage. Gustav-Fischer-Verlag, Jena: 648 S.
- HAYWARD, P. J. (1995a):** Molluscs, Bivalvia. In: Hayward, P. J. & Ryland, J. S. (Hrsg.): Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe. Oxford University Press, New York: 573 – 623.
- HAYWARD, P. J. (1995b):** Crustaceans, Amphipoda. In: Hayward, P. J. & Ryland, J. S. (Hrsg.): Handbook of the Marine Fauna of North-West Europe. Oxford University Press, New York: 361 – 406.

- HEIP, C., BASFORD, D., CRAEYMEERSCH, J. A., DEWARUMEZ, J.-M., DÖRJES, J., WILDE, P. DE, DUINEVELD, G., ELEFThERIOU, A., HERMAN, P. M. J., NIERMANN, U., KINGSTON, P., KÜNTZER, A., RACHOR, E., RUMOHR, H., SOETAERT, K. & SOLTWEDEL, T., (1992):** Trends in biomass, density and diversity of North Sea macrofauna. ICES, J. mar. Sci., 49: 13 – 22.
- HOWLETT, D. J. (1990):** The arrival in Britain of *Ensis americanus*. Conchologist's Newsletter, 114: 301 – 302.
- KENCHINGTON, E., DUGGAN, R. & PIDDELL, T. (1998):** Early life history characteristics of the razor clam (*Ensis directus*) and the moonsnails (*Euspira* spp.) with application to fisheries and aquaculture. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., 2223: 39 S.
- KLUIJVER, M. J. DE, INGALSUO, S. S. & BRUYNE, R. H. DE (2000a):** Macrobenthos of the North Sea, Vol. I. Keys to Mollusca & Brachiopoda. The World Biodiversity Database. Springer-Verlag. Electronic Media. CD-ROM.
- KLUIJVER, M. J. DE, INGALSUO, S. S., NIEUWENHUIJZEN, A. J. L. VAN & VELDHUIJZEN VAN ZANTEN, H. H. (2000b):** Macrobenthos of the North Sea, Vol. II. Keys to Polychaeta, Nemertina, Sipuncula, Plathelminthes and miscellaneous worm-like groups. The World Biodiversity Database. Springer-Verlag. Electronic Media. CD-ROM.
- KOCK, M. (1995):** Über die Biologie der fischereilich genutzten *Spisula solida*-Bestände. Diplomarbeit an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel: 45 S.
- KRISTENSEN, I. (1957):** Differences in density and growth in a cockle population in the Dutch Wadden Sea. Archs néerl. Zool., 12: 351 – 453.
- KRISTENSEN, P. S. (1994):** *Spisula solida*/Tykskallet trugmusling. Forekomst og udbredelse I den danske del af Nordsøen syd for Horns Rev. DFH-Rapport, 472: 21 S.

- KRISTENSEN, P. S. (1996):** Biomass, density and growth of *Spisula solida* in the Danish part of the North Sea, south of Horns Reef. International Council for the Exploration of the Sea, Shellfish Committee C. M., 27: 1 – 7.
- KRÖNKE, I. & BERGFELD, C. (2001):** Synthesis and New Conception of North Sea Research (SYNCON). Working Group 10: Review of the Current Knowledge on North Sea Benthos. Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung, 12: 115 S.
- LAMMERS, J. J. (1967):** Growth and reproduction in a tidal flat population of *Macoma balthica* (L.). Neth. J. Sea Res., 3: 315 – 382.
- LINCOLN, R. J. (1979):** British Marine Amphipoda: Gammaridea. British Museum (Natural History), London: 658 S.
- LUCZAK, C. & DEWARUMEZ, J.-M. (1992):** Note on the identification of *Ensis directus* (CONRAD 1843). Cah. Biol. Mar., 33: 515 – 518.
- LUCZAK, C., DEWARUMEZ, J.-M. & ESSINK, K. (1993):** First record of the american jack-knife clam *Ensis directus* on the French coast of the North Sea. J. Mar. Ass. U.K., 73: 233 – 235.
- MAURER, D., KINNER, P., LEATHEM, W. & WATLING, L. (1976):** Benthic faunal assemblages off the Delmarva peninsula. Estuarine and Coastal Maine Science, 4: 163 – 177.
- MEIXNER, R. (1993):** Seefischerei: Die Trogmuschel (*Spisula solida*) der Deutschen Bucht als neues Fischereiobjekt. Inf. Fischw., 40 (3): 97 – 100.
- MEIXNER, R. (1994):** Seefischerei: Über die Trogmuschel und deren Nutzung in der Deutschen Bucht. Inf. Fischw., 41 (4): 166 – 170.
- MORRIS, P. A. (1973):** A Field Guide to the Shells of the Atlantic and Gulf Coasts and the West Indies. Boston (Houghton Mifflin): 330 S.

- MÜHLENHARDT-SIEGEL, U., DÖRJES, J. & COSEL, R. VON (1983):** Die amerikanische Schwertmuschel *Ensis directus* (CONRAD) in der Deutschen Bucht. II. Populationsdynamik. Senckenb. Marit., 15 (4/6): 93 – 110.
- NIERMANN, U., BAUERNFEIND, E., HICKEL, W. & WESTERNHAGEN H. VON (1990):** The recovery of Benthos following the impact of low oxygen content in the German Bight. Neth. J. Sea Res., 25 (1/2): 215 – 226.
- NIERMANN, U. (1991):** Makrobenthos der südöstlichen Nordsee: Fluktuationen in den Jahren 1984 – 1988. Dissertation an der Universität Hamburg: 225 S.
- OCKELMANN, K. W. (1964):** An improved detritus-sledge for collecting meiobenthos. Ophelia, 1 (2): 217 – 222.
- PAULY, D. (1973):** Über ein Gerät zur Vorsortierung von Benthosproben. Ber. Dtsch. Wiss. Komm. Meeresforsch., 22 (4): 458 – 460.
- RACHOR, E. (1980):** The inner German Bight. – An ecologically sensitive area as indicated by the bottom fauna. Helgol. Meeresunters. 33: 522 – 530.
- RACHOR, E. (1990):** Changes in sublittoral zoobenthos in the German Bight with regard to eutrophication. Neth. J. Sea Res., 25 (1/2): 209 – 214.
- RACHOR, E. & GERLACH, S. A. (1978):** Changes of Macroenthos in a sublittoral sand area of the German Bight, 1967 to 1975. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 172: 418 – 431.
- RAUCK, G. (1982):** Massensterben der Meeresscheiden-Muschel (*Ensis* spp.) an der niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Küste. Inf. Fischw., 29: 65 – 66.
- REMANE, A. (1940):** Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee. In: Grimpe, G. & Wagler, E. (Hrsg.): Die Tierwelt der Nord- und Ostsee. Leipzig (Becker und Erler) I a: 1 – 238.



- RUMOHR, H. (1980):** Der „Benthosgarten“ in der Kieler Bucht – Experimente zur Bodentierökologie. Reports Sonderforschungsbereich 95. Wechselwirkungen Meer – Meeresboden: 179 S.
- RUMOHR, H. (1999):** Soft bottom macrofauna: Collection, treatment, and quality assurance of samples. ICES Techniques in Marine Environmental Science, 27: 19 S.
- SALZWEDEL, H., RACHOR, E. & GERDES, D. (1985):** Benthic Macrofauna Communities in the German Bight. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., 20: 199 – 267.
- SCHIEDEK, D. & ZEBE, E. (1987):** Functional and environmental anaerobiosis in the razor clam *Ensis directus* (Mollusca: Bivalvia). Mar. Biol., 94: 31 – 37.
- SEAMAN, M. N. L. & RUTH, M. (1997):** The Molluscan Fisheries of Germany. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS, 129: 57 – 84.
- SEAMAN, M. N. L. & RUTH, M. (1998):** Muschelfischerei in Deutschland. Nat.wiss. Rundsch. Stuttg., 10: 385 – 388.
- SEVERIJNS, N. & GILLES, S. (1993):** Waarnemingen von *Ensis directus* (CONRAD 1843) tussen Boulogne-sur-Mer en Le Touquet. Strandvlo, 13: 56 – 57.
- STANLEY, S. M. (1970):** Relation of shell form to life habits of the Bivalvia (Mollusca). Memoirs, Geological Society of America, 125: 1 – 296.
- STRIPP, K. (1969):** Die Assoziationen des Benthos in der Helgoländer Bucht. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., 12: 95 – 141.
- SWENNEN, C. (1984):** Een vondst van een levende Amerikaanse Zwaardschede in de Nordzee voor Texel. Zeepard, 44: 131 – 132.

- SWENNEN, C., LEOPOLD, M. F. & STOCK, M. (1985):** Notes on the growth and behaviour of the American razor clam *Ensis directus* in the Wadden Sea and the predation on it by bird. Helgol. Meeresunters. 39: 255 – 261.
- THEROUX, R. B. & WIGLEY, R. L. (1983):** Distribution and abundance of east coast bivalve molluscs based on specimens in the National Marine Fisheries Service Woods Hole collection. NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF: 768.
- URK, R. M. VAN (1964):** The genus *Ensis* in Europe. Basteria, 28 (1/2): 13 – 44.
- URK, R. M. VAN (1972):** Notes on American fossil *Ensis* species. Basteria, 36 (2 – 5): 131 – 142.
- URK, R. M. VAN (1987):** *Ensis americanus* (BINNEY) (syn. *E. directus* auct. non CONRAD) a recent introduction from Atlantic North-America. J. Conchol., 32: 329 – 333.
- WESTERNHAGEN, H. VON (1997):** Wie gefährdet ist die Trogmuschel *Spisula solida*? In: Zukunft der Muschelfischerei im schleswig-holsteinischen Wattenmeer. Ausgleich zwischen Ökologie und Ökonomie. Schutzgemeinschaft Deutsche Nordseeküste e.V., SDN-Kolloquium, 1997: 51 – 60.
- WILLMANN, R. (1989):** Muscheln und Schnecken der Nord- und Ostsee. Verlag J. Neumann-Neudamm. Melsungen: 310 S.
- ZIEGELMEIER, E. (1957):** Die Muscheln (Bivalvia) der deutschen Meeresgebiete. Helgol. wiss. Meeresunters. 6: 64 S.
- ZIEGELMEIER, E. (1963):** Das Makrozoobenthos im Ostteil der Deutschen Bucht nach qualitativen und quantitativen Bodengreiferuntersuchungen in der Zeit von 1949 – 1960. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., Sonderbd. 1: 101 – 114.
- ZIEGELMEIER, E. (1964):** Einwirkungen des kalten Winters 1962/63 auf das Makrobenthos im Ostteil der Deutschen Bucht. Helgol. wiss. Meeresunters., 10: 276 – 282.

---

**ZIEGELMEIER, E. (1970):** Über Massenvorkommen verschiedener makrobenthaler Wirbelloser während der Wiederbesiedlungsphase nach Schädigung durch „katastrophale“ Umwelteinflüsse. Helgol. wiss. Meeresunters., 21: 9 – 20.

**ZIEGELMEIER, E. (1978):** Macrobenthos investigations in the eastern part of the German Bight from 1950 to 1974. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 172: 432 – 444.

## 9 Danksagung

Herrn Dr. habil. D. Piepenburg danke ich für die Vergabe des Themas, die Betreuung, sowie die wertvollen Hinweise und Anregungen während der Arbeit.

Herrn Dr. H. Rumohr gilt mein Dank für die zur Verfügung gestellten Proben aus dem Projekt, die diese Arbeit möglich gemacht haben; weiterhin für die zahlreichen Hilfestellungen, Diskussionen und Anregungen während der gesamten Zeit.

Der Arbeitsgruppe Benthosökologie danke ich für die schöne Zeit in der Hohenbergstrasse. Vor allem Herrn Marco Bruhn und Frau Renate Schütt danke ich für die Hilfe bei der Probenauswertung und die zahlreichen Hilfestellungen beim Bestimmen der Tiere, sowie Frau Monika Kock für die Anregungen und Hilfen vor allem in der Endphase der Arbeit. Allen, Herrn Rumohr, Marco, Renate und Monika danke ich dafür, dass sie mich immer wieder unterstützt und aufgebaut haben, wenn „es mal nicht so gut lief“, sowie für die immer neuen Anregungen, Diskussionen und konstruktiven Kritiken.

Meinen Freunde danke ich für die immer wieder motivierenden Worte. Ganz besonderer Dank geht an Sonja, Katrin, Erik, Nadja, Jenny, Katrin, Kai und Daniel für die zahlreichen Diskussionen und die Hilfe auf der „unerschöpflichen Suche“ nach Fehlern in der Arbeit, sowie Imke, Heiko, Lars und Thore für die moralische Unterstützung. An dieser Stelle möchte ich Katrin und Thore noch mal ein dickes Dankeschön für die Mitarbeit auf See aussprechen.

Ganz besonders möchte ich meiner Familie danken. Evelyn, Julie, Josephine und Jasemin, die mich während meines gesamten Studiums unterstützt und während meiner Diplomarbeit moralisch aufgebaut haben, sowie meine „Launen“ und teilweise ewigen Monologe über die „Problematik der Diplom-Muscheln“ ertragen mussten.

Weiterhin danke ich allen Freunden, Bekannten und Kollegen für die aufmunternden Worte und interessanten Gespräche und Anregungen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

## **Anhang**

**Tab. A-1:** Position, Tiefenangaben, Probennahmetermine und -geräte, sowie Sedimentbeschaffenheit der 28 untersuchten Stationen.

**Tab. A-2:** Abundanz des Makrozoobenthos aus 367 Greifern an 28 Stationen.

**Tab. A-3:** Längen von *Ensis directus* in 4 mm-Größenklassen aus 304 Greifern an 23 Stationen.

**Tab. A-4:** Längen von *Spisula solida* in 4 mm-Größenklassen aus 228 Greifern an 21 Stationen, 38 Dredgen und 3 hydraulischen Dredgen.

**Tab. A-5:** Abundanz der Taxa aus 27 Detritus-Dredgefängen an 16 Stationen.



## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen verwendet habe.

Mit der Einstellung der Arbeit in die Universitätsbibliothek der Christian-Albrechts-Universität und die Bibliothek des Instituts für Meereskunde bin ich einverstanden.

Kiel, den \_\_\_\_\_