

---

**DAS RÄUBER-BEUTESYSTEM JUVENILER GADIDEN,  
GRUNDELN UND GARNELEN IM WATTENMEER  
NÖRDLICH VON SYLT**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades des Fachbereichs Biologie  
an der Universität Hamburg

vorgelegt von

Soenke Jansen

Hamburg 2002

Genehmigt vom  
Fachbereich Biologie der  
Universität Hamburg  
auf Antrag von Herrn Professor Dr. A. TEMMING

Weitere Gutachter der Dissertation:  
Herr Professor Dr. H. Kausch

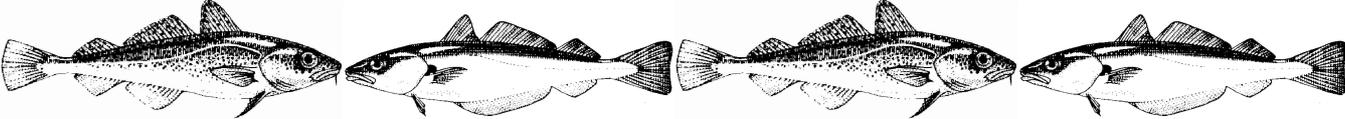
Tag der Disputation: 12. Juli 2002

Hamburg, den 28. Juni 2002



A handwritten signature in black ink, appearing to read "U. Wienand".

Professor Dr. U. Wienand  
Dekan



**Inhalt:**

<b>1 Zusammenfassung .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Einleitung .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Material und Methoden .....</b>	<b>9</b>
3.1 Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum .....	9
3.2 Feldarbeiten .....	12
3.2.1 Verwendete Geräte.....	12
3.2.2 Probennahmestrategie und Beprobungs-Serien .....	15
3.2.3 Probenaufarbeitung .....	19
3.3 Berechnungsverfahren .....	21
3.4 Weitere gemessene Parameter .....	26
3.5 Langjährige Abundanzindizes .....	26
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>28</b>
4.1 Allgemeine Ergebnisse zur Ichthyofauna der Sylt-Rømø-Bucht .....	28
4.2 Verteilung der Gadiden .....	30
4.2.1 Zeitliche Variabilität .....	30
4.2.2 Räumliche Verteilung .....	36
4.3 Verteilung der Sandgarnele und der Sandgrundel .....	41
4.3.1 Zeitliche Variabilität .....	41
4.3.2 Räumliche Verteilung .....	46
4.4 Wachstum und Produktion .....	56
4.4.1 Wachstum der Räuber.....	56
4.4.2 Wachstum der Beute .....	61
4.4.2.1 Grundeln .....	61
4.4.2.2 Garnelen.....	65
4.4.3 Überschlag des Jahresverlaufs der Biomasse und der Produktion.....	68
4.5 Nahrungsökologie der Räuber .....	74

---

4.5.1 Nahrungszusammensetzung quantitativ.....	74
4.5.1.1 Mengen und Anteile der Nahrungsfraktionen in den Mägen ....	74
4.5.1.2 Saisonaler Verlauf der Mengen und Anteile .....	79
4.5.2 Tagesperiodizität des Mageninhalts.....	84
4.5.3 Größenselektion .....	87
4.5.3.1 Räubergröße und Fraktions-Anteile .....	87
4.5.3.2 Das Verhältnis Räubergröße zu Beutegröße.....	88
4.5.3.3 Saisonaler Verlauf.....	90
4.5.3.4 Vergleich von Kabeljau und Wittling .....	90
4.5.3.5 Größenselektion .....	93
4.5.4 Qualitative Selektivität der Gadiden .....	96
4.5.5 Berechnung der Konsumtion an Sandgarnele und Sandgrundel.....	96
4.5.6 Konsumierter Anteil der Beutebiomasse bzw. -produktion.....	102
4.5.7 Vergleich mit den langjährigen Abundanz-Indizes des DYFS .....	103
<b>5 Diskussion .....</b>	<b>107</b>
5.1 Methodendiskussion .....	107
5.2 Besonderheiten der Sylt-Rømø-Bucht .....	111
5.3 Die räumliche und zeitliche Aspekte der Räuber-Beute-Beziehung .....	114
5.4 Die Bedeutung der Beute für den Räuber .....	117
5.5 Die Bedeutung der Räuber für die Beute .....	121
5.6 Die Kontrolle im System .....	127
5.7 Stehen Wittling und Kabeljau in Konkurrenz? .....	131
5.8 Stehen Gadiden und Krabbenfischerei in Konkurrenz? .....	133
5.9 Schlußbetrachtung .....	134
<b>6 Literatur .....</b>	<b>137</b>
<b>7 Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>146</b>
<b>8 Danksagung .....</b>	<b>153</b>

# 1 Zusammenfassung

Diese Untersuchung wurde zwischen 1991 und 1994 im Rahmen eines multidisziplinären Ökosystemforschungsprojekts im Wattstromgebiet des Lister Tiefs, nördlich der Insel Sylt durchgeführt. Ihr Ziel war es, die Nahrungsbeziehungen zwischen juvenilen Gadiden einerseits sowie Sandgrundeln und Sandgarnelen andererseits qualitativ und quantitativ zu beschreiben, wobei insbesondere geklärt werden sollte, ob Räuber oder Beute eine kontrollierende Funktion auf die jeweils anderen Bestände ausüben und inwieweit die Sandgrundel in ihrer Doppelrolle als Räuber und Beute eine puffernde Funktion für den Fraßdruck der Gadiden auf die Sandgarnele ausübt.

Auf einem Stationsnetz in drei Tiefenhorizonten wurden monatsweise mit einem Scherbrettnetz, einer Baumkurre und einem Schiebehaken Proben für die Bestandsberechnung und zur Feststellung der Längenverteilung für die Wachstumsberechnung genommen. Zusätzlich wurden Fänge zur Untersuchung der räumlichen Verteilung der Arten in gesonderten tiefenstratifizierten Befischungen sowie mit Hamennetzen und einer Einschließungsanlage gewonnen und Echolotaufzeichnungen ausgewertet. Für die Untersuchung der Mageninhalte wurden Fische vornehmlich im Verlauf von neun 24-Stunden-Fischereien gefangen und die Mägen der Wittlinge, Kabeljau und Sandgrundeln auf die Mengen- und Gewichtsanteile der Beuteklassen Sandgrundel und Sandgarnele hin analysiert sowie deren Größenverteilung aus Beuteteilen rekonstruiert. Die Konsumtion der Gadiden wurde über den mittleren Mageninhalt und experimentell bestimmte Verdauungsraten unter Berücksichtigung der Abundanzen und Temperaturen im Untersuchungsgebiet errechnet.

Insgesamt 50 Fischarten wurden in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffen, von denen rund die Hälfte das ganze Jahr über vorkamen. Ein knappes Drittel der angetroffenen Fischbiomasse wurde im Jahr 1993 durch Wittling und Kabeljau gestellt. Rund die Hälfte entfällt auf Arten mit benthischer Lebensweise, davon wiederum ein Drittel Plattfische. Das verbleibende Sechstel stellten die pelagischen Arten, die allerdings in den Fängen unterrepräsentiert sein dürften. Die Sylt-Rømø-Bucht zeichnet sich durch einen im Vergleich zu anderen Wattenmeergebieten sehr großen Anteil flacher Sublitoralfächen aus, auf denen aber ebenso wie im Eulitoral vergleichsweise geringe Dichten von Plattfischen, Sandgrundeln und Sandgarnelen gefunden wurden.

Die interannuale Variabilität der Abundanzen ist hoch. So wurden Wittlinge der AK-0 in 1993 rund 95-fach häufiger angetroffen als im Vorjahr, bei Sandgrundeln und Sandgarnelen wurden zwischen den Jahren Abundanzfaktoren von 1,4 bis 5 festgestellt.

Der saisonale Verlauf der Abundanz der Gadiden ist durch die sommerliche Einwanderung der AK-0 geprägt, das Maximum der Abundanz liegt im September, die überwiegende Mehrzahl der Tiere verläßt das Watt gegen November. Nicht in allen Wintern werden Gadiden der AK 0/1 in der Bucht angetroffen. Sandgrundeln sind das ganze Jahr über in der Bucht. Ihr Abundanzverlauf wird sehr stark durch die Rekrutierung in den Flachwasserbereichen im Juni geprägt, wenn Dichten von über  $1/m^2$  erreicht werden. Tiere der AK-1 verlassen während der Sommermonate die Bucht, um im Herbst zurückzukehren und für einen Anstieg der Biomasse dieser Art zu sorgen. Sandgarnelen rekrutieren ebenfalls mit dem Schwerpunkt Juni, wenn im oberen Eulitoral kurzzeitig Dichten von bis zu 82 gerade zum Bodenleben übergegangenen Tieren pro  $m^2$  erreicht werden. Bei beiden Arten unterscheidet sich der Verlauf der Abundanzen zwischen den Tiefenstrata, wobei die saisonale Variabilität tendenziell mit der Tiefe abnimmt.

Die Untersuchung der diurnalen Variabilität erbrachte das unerwartete Ergebnis, daß sich Sandgarnelen und Sandgrundeln nachts in großen Mengen im Pelagial aufhalten, wo sie dann den Gadiden als Nahrung zur Verfügung stehen, während die Aufenthaltsräume der Räuber und der bevorzugten Größengruppen ihrer Beute sich tagsüber nicht wesentlich überschneiden. Die Gadiden verlassen tagsüber das Sublitoral unterhalb von rund 4 Metern Wassertiefe nicht und steigen erst nachts in die oberflächennahen Bereiche auf, während sowohl Sandgarnelen als auch Sandgrundeln eine tiefenstratifizierte Größenverteilung zeigen, bei der die als Beute bevorzugten kleinen Tiere sich im Eulitoral bzw. flachen Sublitoral aufhalten, während die größeren Individuen, die nicht unter dem selben hohen Raubdruck stehen, auch das Sublitoral bevölkern. Für die Beute besteht also zumindest temporär ein Refugium.

Hierzu paßt, daß die Nahrungsaufnahme der Räuber ganz offensichtlich nachts stattfindet. Für die Gadiden stellen die beiden Beutekategorien Sandgrundel und Sandgarnele den überwiegenden Teil ihrer Ernährung dar. Ihr gemeinsamer Gewichtsanteil betrug in der Summe der Mageninhalte beim Kabeljau rund 70% und beim Wittling 54%, der Sandgarnelenanteil in der Nahrung der Sandgrundel hingegen lag mit 16% vergleichsweise niedrig. Bis zu 27 kleine Sandgarnelen und 4 Sandgrundeln fanden sich in den einzelnen Mägen. Bei beiden Räubern nahm die Größe der Beutetiere und der Grundelanteil an der Beute mit der Räubergröße zu. Bei der Größenselektion der Garnelen orientierten sich die Räuber weitgehend am Angebot, nur in den Monaten der größten Räuberdichte wurden tendenziell größere Garnelen gefressen, als die in der Bucht vorherrschenden Längensklassen. Von den Gadiden wurden Grundeln vor Garnelen als Beute deutlich bevorzugt.

Das Jahresmaximum der Konsumtion an Sandgarnelen und Sandgrundeln liegt im August. 1993 wurden in der Sylt-Rømø-Bucht rund 20t Sandgarnelen und 2,4t Sandgrundeln durch die Gadiden konsumiert. Aber auch in diesem Jahr mit vergleichsweise hohen

Wittlingsabundanzen überschritt die Konsumtion in keinem Monat ein Fünftel der monatlichen Sandgarnelenproduktion. Eine kontrollierende Wirkung des Gadidenbestandes auf die Garnelenabundanzen wird daher unter normalen Abundanzverhältnissen nicht erwartet, auch wenn sich zeigte, daß 1993 über 90% der fischbedingten Konsumtion an Garnelen auf die Gadiden entfiel. Im langjährigen Vergleich der Abundanzen von Gadiden und Sandgarnelen zeigt sich eine negative Korrelation zwischen Räuber und Beute in den Fängen des DYFS, die jedoch nicht signifikant ist.

Im Vergleich zu den Garnelen wurden 1993 deutlich größere Anteile des Bestandes der Sandgrundel konsumiert. Im August und September betrug die Konsumtion durch Gadiden ein 3- bis 5-faches der Produktion in der Bucht. Dennoch ist die Korrelation der Abundanzen zwischen Räubern und Beute auch in diesem Fall nicht signifikant. Der puffernde Einfluß der Sandgrundeln auf die Gadidenkonsumtion an Sandgarnelen durch die Verminderung der Garnelenkonsumtion dieser Art ist dem Anschein nach gering, da die Garnele in der Nahrung der Sandgrundel eine geringere Rolle spielt als ursprünglich erwartet.

## 2 Einleitung

Das Wattenmeer als Lebensraum ist durch seine geringe Beständigkeit gekennzeichnet. Nicht nur der Grad der Wasserbedeckung ändert sich laufend, auch Temperatur, Salzgehalt, Strömung, Trübung, Erosion, Deposition und viele weitere Parameter unterliegen Schwankungen, die hier deutlich höher sind als in den umliegenden küstennahen Meeresbereichen. Daher ist es nicht verwunderlich, daß sich die frühe biologische Meeresforschung an der Küste zunächst auf leichter zu beschreibende Bereiche spezialisierte, aus deren Erforschung die Ableitung allgemeingültiger Erkenntnisse eher zu erwarten war. Eine eingehendere wissenschaftliche Bearbeitung der Biologie der Watten begann daher erst im späten 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhundert mit der Beschreibung einzelner Arten (Ehrenbaum, 1890; Bückmann, 1935) oder des Arteninventars ausgewählter Bereiche (Möbius, 1893; Hagmeier & Kändler, 1927; Wohlenberg, 1937; Linke, 1939). Eine größer angelegte, koordinierte Erfassung der mobilen epibenthischen Makrofauna, die Abundanzverteilung, trophische Beziehungen und Wachstum mit einschloß, wurde in der Mitte der 70er Jahre am äußeren westlichen Ende des Wattenmeers auf dem Balgzand durchgeführt (van Beek, 1976; van der Gaag, 1977; van Lissa, 1977; Kuipers, 1977; Dapper, 1978). Für die Beprobung der mobilen epibenthische Prädatoren wurde hier die 2-Meter-Kurre entwickelt, die auch von kleineren, für das Wattenmeer geeigneten, Fahrzeugen aus eingesetzt werden kann (Kuipers, 1975). Diese Gerätewahl dürfte dazu beigetragen haben, daß diese Untersuchungen die höheren Trophiestufen nicht mit einbezogen und daher die Verknüpfung zu den Gadiden und anderen Räubern fehlte. Die Arbeiten trugen aber wesentlich zum Kenntnisstand über Sandgarnelen und Grundeln bei, wie er im Report der "Wadden Sea Working Group" (Dankers *et al.*, 1978) zusammengefaßt wurde.

Basierend auf Untersuchungen der Beifänge der kommerziellen Garnelenfischerei stellte Tiews (1978) zur selben Zeit eine Neuberechnete Abschätzung der Konsumtion verschiedener Fischarten an der Sandgarnele (*Crangon crangon*) vor. Diese enthielt im Gegensatz zur ersten Version (Tiews, 1965) eine verbesserte Schätzung der Zehrung durch Gadiden, die auf den qualitativen Magenuntersuchungen von Kühl (1973) beruhte, welche dieser im Elbeästuar durchgeführt hatte. Da zu diesem Zeitpunkt keine Daten zum Gewicht und Gewichtsanteil der Garnelen in den Räubermägen oder zur Verdauungsgeschwindigkeit vorlagen, mußten verschiedene willkürliche Annahmen gemacht werden, die sich in der hier vorliegenden Arbeit als recht weit von der Realität entfernt herausstellten.

Kurze Zeit später widmete sich Redant (1980a, 1980b, 1982) den Fragen von Produktion und Konsumtion der Sandgarnele an der belgischen Küste. Der Fortschritt seiner Arbeit hinsichtlich der Abschätzung der Konsumtion an Sandgarnelen besteht in der Erhebung von

quantitativen Mageninhaltsdaten. Der jeweilige Gewichtsanteil erlaubte ihm, die relative Rolle der verschiedenen Fischarten als Räuber der Sandgarnele besser einzuschätzen. Allerdings standen auch hier keine Daten zur Verdauungsgeschwindigkeit zur Verfügung, so daß auch Redant die Tiew'sche Schätzung der Konsumtionsrate von "einer Magenfüllung in 3 Tagen" verwandte.

Ereignisse, wie das Seehundsterben 1988 und wiederholte Blüten schaubildender Algen der Gattung *Phaeocystis* an der deutschen Nordseeküste führten gegen Ende der 80er Jahre zu einem verstärkten öffentlichen und politischen Interesse an der Untersuchung ökologischer Fragestellungen, welches sich unter anderem in der Finanzierung eines groß angelegten Programms "Ökosystemforschung schleswig-holsteinisches Wattenmeer" seitens der Bundesregierung niederschlug. Im Rahmen dieses Programms wurden einerseits mit Untersuchungen im Flachwasserbereich des Watts und auf Prielbefischungen mit Baumkurren von Bord kommerzieller Fahrzeuge das Vorkommen und die Verbreitung der Fisch- und Krebsarten des schleswig-holsteinischen Wattenmeeres kartiert (Breckling *et al.*, 1994), andererseits wurde in einem begrenzten Teilgebiet - der Bucht zwischen den Inseln Rømø und Sylt - ein interdisziplinäres Ökosystemforschungsprojekt unter dem Titel "Sylter Wattenmeer Austauschprozesse" (SWAP) installiert, das die exemplarische Beschreibung der Transport- und Stoffwandlungsprozesse zum Ziel hatte. Im Rahmen dieses Projekts fand das Teilprojekt "Quantitative Untersuchungen von Biomasse, Wanderungen und Konsumtion der Fische und dekapoden Krebse im Sylter Wattenmeer" statt, dem die Daten für die vorliegende Untersuchung zum ganz überwiegenden Teil entstammen.

Innerhalb dieses Teilprojekts ergab sich die Möglichkeit, am Beispiel eines Wattstromeinzugsgebiets die Nahrungsbeziehungen zwischen der Sandgarnele und ihren wesentlichen Konsumenten eingehender zu untersuchen als dies bisher geschehen war. Zumal, da die Bestimmung der Konsumtionsrate der wichtigsten Räuber innerhalb desselben Projekts durch parallele Experimente unter den kontrollierten Bedingungen einer Seewasserkreislaufanlage durchgeführt wurde.

Die Sandgarnele als Beuteobjekt für diese Untersuchung auszuwählen hatte dabei mehrer Gründe. Zum einen spielt sie als "Nordseekrabbe" eine wichtige wirtschaftliche Rolle: mit jährlichen Anlandungen von rund 22.000t im Mittel der 90er Jahre ist sie nach dem angelandeten Gewicht nicht sehr bedeutend, stand aber gemessen am Wert der Anlandungen z.B. 1999 nach Kabeljau, Scholle und Seezunge auf Platz 4 der Rangliste der befischten Nordseearten (Anonymus, 2000). Zum anderen ist aus Untersuchungen an der schwedischen Ostseeküste bekannt (Pihl & Rosenberg 1982 und 1984, Evans, 1984), daß die Sandgarnele als herausragender Vertreter der räuberischen Epifauna eine Schlüsselrolle spielt als Bindeglied für den Energietransfer zwischen der Meiofauna und kleinen Makrofauna einerseits und den höheren Trophiestufen, wie den Fischen, auf der anderen Seite. Auf den

von del Norte-Campos (1995) untersuchten nordfriesischen Wattflächen war die Sandgarnele unter den 3 häufigsten Arten der mobilen Epifauna für 74-98% der Konsumtion und für 72-99% der Produktion verantwortlich und übernahm daher mit Abstand die Hauptposition ihrer trophischen Ebene.

Die Gadiden hatten sich in anderen Untersuchungen als mögliche Hauptprädatoren der Sandgarnele herausgestellt (Kühl, 1973; Redant, 1980b) und es war bekannt, daß ungewöhnlich hohe Abundanzen juveniler Gadiden im Küstenbereich von einem Einbruch der Erträge der Garnelenfischerei begleitet sein können, wie Berghahn (1996) es für das Jahr 1990 beschrieb. Daher und aufgrund des auch bei Wittling und Kabeljau gegebenen kommerziellen Interesses lag es nahe, den Schwerpunkt auf diese Räuber zu legen. Dies aber bedingte den Einsatz einer veränderten Fischeimethode, da die in allen oben erwähnten Arbeiten verwendete Baumkurre aufgrund ihrer geringen Stauhöhe die benthopelagische Fischfauna nur 'am Rande' erfaßt und somit für die eingehende Untersuchung der Rolle der Gadiden ungeeignet ist.

Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen dieser Untersuchung geklärt werden sollte, war die Doppelrolle der Sandgrundel. In der einen Rolle tritt diese Art als Räuber der Sandgarnele auf: Kuipers & Dapper (1984) machten sie sogar für einen großen Teil der von ihnen vermuteten vollständigen Zehrung der Rekrutierung aus den Sommer-Eiern (Boddeke, 1982) durch Fische verantwortlich. Zwar hatte del Norte-Campos (1995) für die Eulitoralbereiche des nordfriesischen Watts bereits gezeigt, daß die hier vorgefundene Konsumtion für die Stützung dieser Hypothese nicht ausreichte, doch bedurfte es der Überprüfung, ob dies nicht durch eine starke Zehrung im Sublitoral ausgeglichen werde. In der Rolle als Beute treten Sandgrundeln in der Nahrung juveniler Gadiden auf und es stellte sich die Frage, inwieweit die Konsumtion der Sandgrundeln durch Gadiden eine Verminderung der Konsumtion der Sandgarnelen durch Sandgrundeln zur Folge hat, und somit eine Pufferung der Konsumtion juveniler Gadiden an Sandgarnelen bewirkt.

Im einzelnen waren demnach folgende Fragestellungen zu bearbeiten:

- Wie stellt sich die zeitliche und räumliche Verteilung der Abundanzen der Wittling, Kabeljau, Sandgrundel und Sandgarnele in der Sylt-Rømø-Bucht dar?
- Welchen Anteil an der Nahrung haben Sandgrundel und Sandgarnele für die Gadiden?
- Welchen Anteil an der Nahrung der Sandgrundel hat die Sandgarnele?
- Wie hoch sind die Konsumtionsraten der Gadiden wenn sie mit den experimentell ermittelten Verdauungsraten mit den im Feld gefundenen Parametern verrechnet werden?
- Was kann aus den Antworten zu obigen Fragen über das Räuber/Beute-Verhältnis in der Bucht abgeleitet werden?

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Untersuchungsgebiet und Untersuchungszeitraum

Die Untersuchung wurde in einem Wattengebiet östlich der Insel Sylt und nördlich des Hindenburg-Damms zwischen 54°52' und 55°03' nördlicher Breite sowie 008°21' und 008°35' östlicher Länge durchgeführt. Dieses Gebiet, das Nordsylter Wattenmeer, ist Teil der Sylt-Rømø-Bucht, die über das Lister Tief in Verbindung mit der Nordsee steht. Das wattseitige Einzugsgebiet des Lister Tiefs bilden die drei Hauptstromgebiete Rømø-Dyb, Høyer-Dyb und Lister Ley. Von diesen wurde ausschließlich das Letzte beprobt, da nur dieses auf deutschem Hoheitsgebiet liegt.

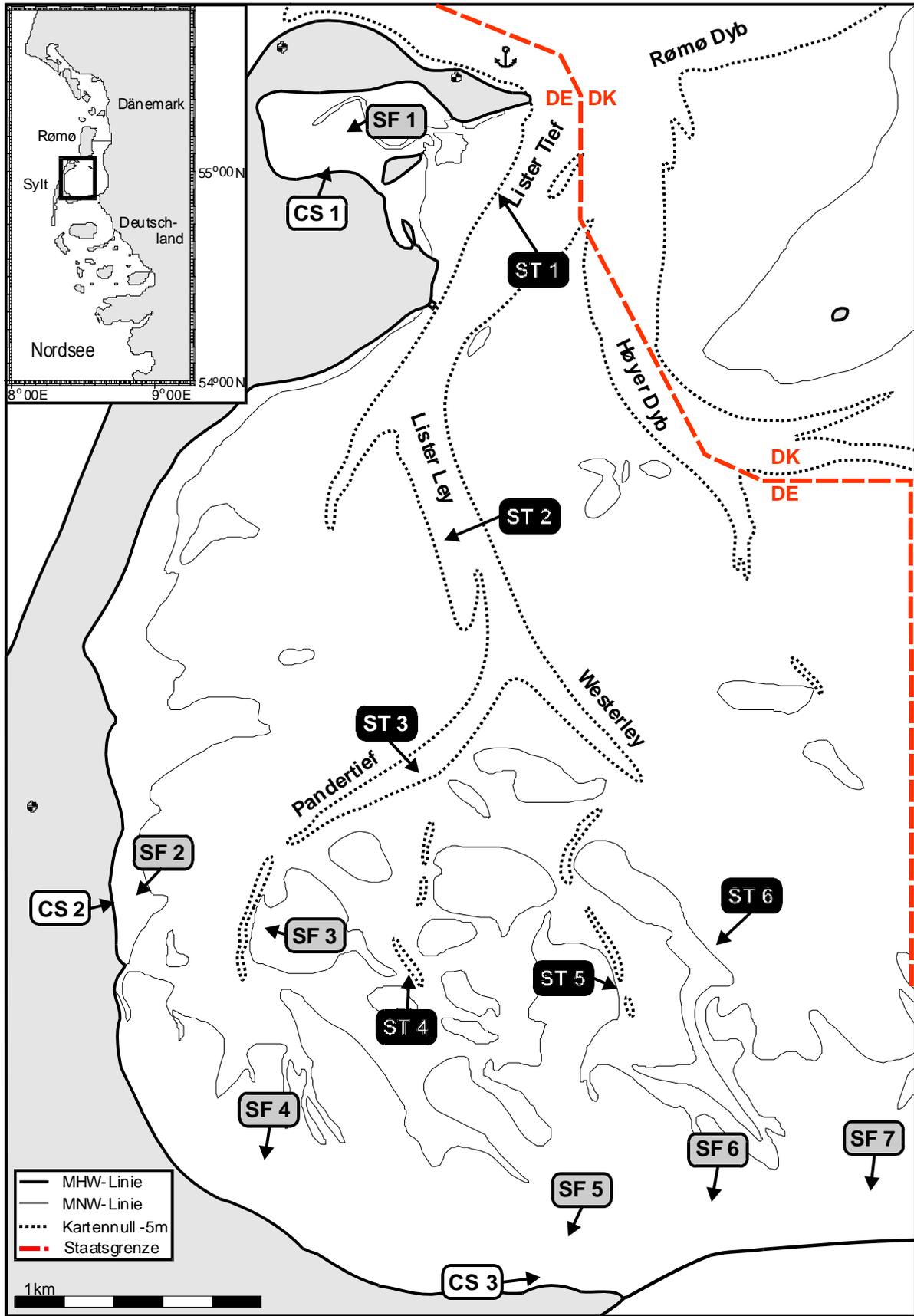
Im Detail wurde das Untersuchungsgebiet begrenzt durch die östliche Küstenlinie der Insel Sylt, die Linie Ellenbogenspitze-Grenztonne 2, durch die dänisch-deutsche Grenze bis 008°35,0' östlicher Länge sowie den Hindenburg-Damm (Abbildung 3.01). Es umfaßte eine Fläche von ca. 185km<sup>2</sup>, was 42% der Gesamtfläche der Sylt-Rømø-Bucht entspricht. Die Verteilung dieser Fläche auf die verschiedenen Tiefenbereiche ist in Tabelle 3.01 wiedergegeben.

**Tabelle 3.01:** Flächenaufteilung des Untersuchungsgebietes auf Grundlage der planimetrischen Auswertung der Seekarte No. 108 des BSH in der Ausgabe 1992, IV. Die Tiefenangaben beziehen sich auf Seekartennull (=MSNW).

	km <sup>2</sup>	% Anteil
Untersuchungsgebiet gesamt:	184,6	100,0
Eulitoralflächen:	65,2	35,3
Flächen zwischen 0 und 5 Metern Tiefe:	104,9	56,8
Flächen mit mehr als 5 Metern Tiefe:	14,5	7,9

Das Nordsylter Wattenmeer ist durch einen im Vergleich zu anderen Wattengebieten (Bergman *et al.*, 1989) sehr kleinen Anteil von Eulitoralflächen geprägt, bzw. durch die vergleichsweise große Ausdehnung flacher Sublitoralflächen. Dieses flache Sublitoral wird zu einem großen Teil von Miesmuschelkulturflächen eingenommen.

Die Sedimente der Sylt-Rømø-Bucht sind zum überwiegenden Teil sandig. Dies gilt für das gesamte Sublitoral und den größten Teil des Eulitorals. Der geringe Anteil Mischwattfläche (<25% des Eulitorals) liegt als schmaler Streifen im ufernahen Bereich. Schlickwattflächen sind im Vergleich zu anderen Wattenmeergebieten in der Sylt-Rømø-Bucht mit nur 3% der Eulitoralfläche stark unterrepräsentiert (Bayerl *et al.*, 1996).

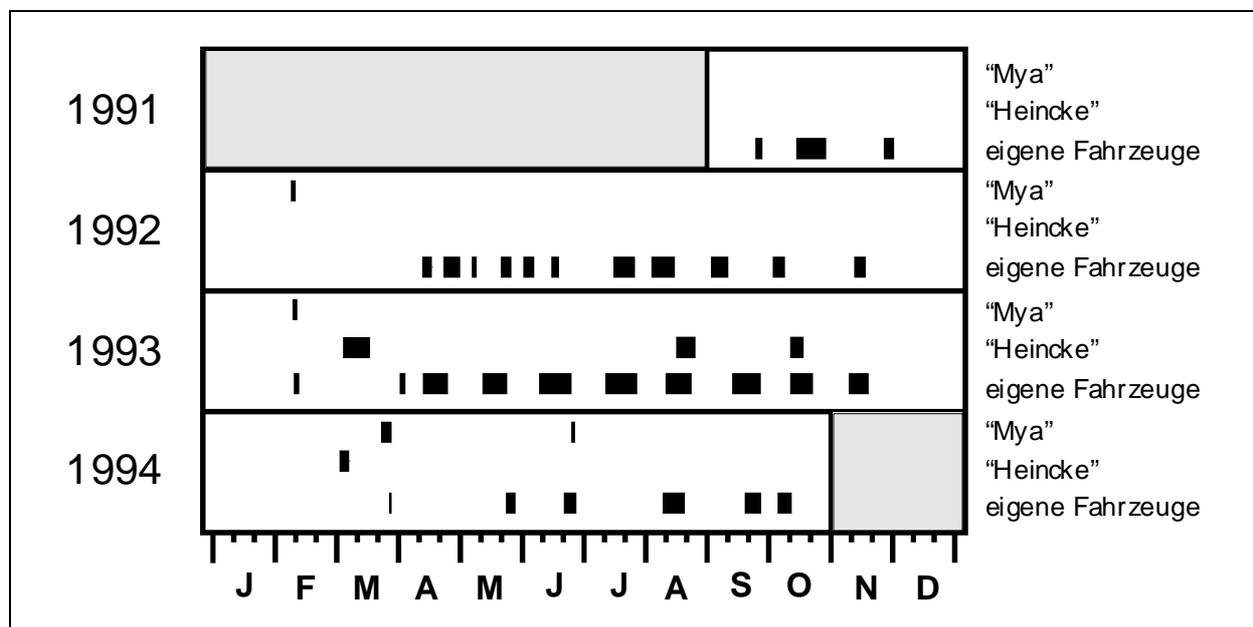


Stationsserien:   Schiebehaken   2-Meter-Kurve   Scherbrettnetz Ankerstation "Heincke"

**Abbildung 3.01:** Karte des Untersuchungsgebiets mit Lage der Stationen der Standardbefischungen

Der Tidenhub im Inneren der Sylt-Rømø-Bucht beträgt etwa 2 Meter. Pro Tidenzyklus verläßt rund die Hälfte des Hochwasservolumens von ca. 1120 Millionen Kubikmetern die Bucht durch das Lister Tief. Der tatsächliche Wasseraustausch ist jedoch geringer, da ein großer Teil des selben Wassers bei der nächsten Flut wieder in die Bucht zurück gedrückt wird. Die Salinität liegt im Mittel bei 30-32 PSU. Süßwasser spielt in diesem Wattengebiet eine untergeordnete Rolle. Der atmosphärische Eintrag sowie jener aus den beiden Flüssen Vidå und Bredå, entspricht nur circa einem Promille des Austauschs durch das Lister Tief. Das Klima ist maritim geprägt. Mit 50% der Jahreshäufigkeit herrschen westliche Winde vor. Der Jahresdurchschnitt der Lufttemperatur beträgt 8,4°C, jener der Wassertemperatur 9°C (Backhaus *et al.*, 1996). Die während der Probennahmen gemessenen Wassertemperaturen lagen zwischen 1,0°C und 24,7°C.

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Oktober 1991 bis Oktober 1994. Die Probennahmen wurden in Meßkampagnen von wenigen Tagen bis zu mehreren Wochen Dauer organisiert. Während der Meßkampagnen wurde die Wattenmeerstation der Biologischen Anstalt Helgoland (BAH) in List als Basis benutzt, von der aus die Feldproben gewonnen wurden. Die ersten Meßkampagnen wurden vorwiegend zur Erprobung der Geräte und zur navigatorischen Erkundung des Untersuchungsgebiets genutzt. Letzteres geschah mit der Absicht, das Stationsnetz für die späteren monatlichen Standardbefischungen festzulegen.



**Abbildung 3.02:** Zeitpunkte der Meßkampagnen

Die Monate Dezember bis März konnten für Befischungen mit universitätseigenen Fahrzeugen nicht genutzt werden, da diese wegen der Gefahr des Eisganges und Wartung nicht zur Verfügung standen. Eine Winterfischerei wurde im Februar 1992, 1993 und März 1994 daher mit dem Forschungskatamaran "Mya" der BAH durchgeführt. Ein Vorversuch für

diese Beprobung hatte ohne Beteiligung des Autors im Februar 1991 mit der "Mya" bereits auf den selben Stationen stattgefunden, diese Daten werden hier mitverwendet.

Hamenfangserien (s.u.) mit FS "Heincke" der BAH wurden im März, August und Oktober 1993 sowie im März 1994 durchgeführt. Die Daten der vorgenannten Meßkampagnen sowie die Termine der mit den Fahrzeugen der Universität Hamburg durchgeführten Probennahmen sind der Abbildung 3.02 zu entnehmen.

## 3.2 Feldarbeiten

### 3.2.1 Verwendete Geräte

Um eine annäherungsweise qualitativ und quantitativ repräsentative Erfassung der Fisch- und Krebsartengemeinschaft des Nordsylter Wattenmeers zu erreichen, wurde ein breites Spektrum von Fischereigeräten benutzt. Es wurden sowohl passive (stehende) als auch aktive (bewegte) Fischereigeräte eingesetzt. Zu ersten zählten die *H a m e n n e t z e*, die Organismen erfassen, welche mit der Strömung transportiert werden. Es wurden zwei Hamen mit 2\*3m bzw. 3\*7m Öffnungsweite benutzt. Beide wiesen eine durchgängige Maschenweite von 10mm (Knoten zu Knoten) auf.

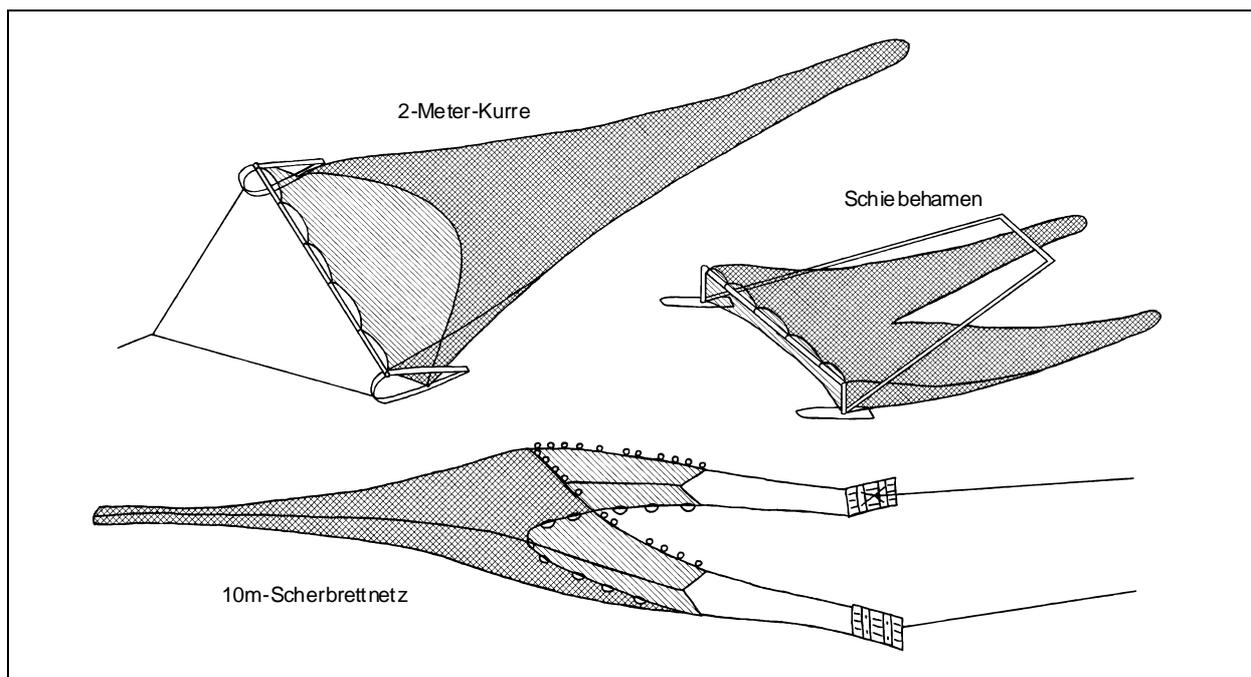
Zu den aktiven Geräten gehörte - neben den unten angegebenen Schleppnetzen - die *E i n s c h l i e ß u n g s a n l a g e*, die auf die Einschließungsfläche von 5000m<sup>2</sup> bezogene Daten erbringt (für eine eingehende Beschreibung dieses Geräts siehe Ruth, 1991). Der Aufbau und Betrieb dieser Anlage erwies sich jedoch als sehr personal- und zeitintensiv. Dies nicht zuletzt, weil dieses Gerät für den Einsatz in Weichsedimenten konzipiert war und in der Sylt-Rømø-Bucht sandige, härtere Sedimente vorherrschen. Daher liegen von diesem Gerät nur Daten aus dem Oktober 1992 vor.

Der überwiegende Teil der Proben wurde mit Schleppnetzen gewonnen. Diese fangen im Vergleich zu anderen Geräten unselektiv und können zudem räumlich und zeitlich sehr flexibel eingesetzt werden. Es wurden benutzt:

- ein *p e l a g i s c h e s S c h l e p p n e t z* mit einer Netzöffnung von ca. 15 \* 5m (Breite \* Höhe) und Maschenweiten, die sich von 40mm in den Flügeln auf 5mm im Stert verkleinern. Dieses Netz erwies sich in der Folge als zu groß und zu unhandlich für den Einsatz als Standardgerät, so daß es nur für spezielle Fragestellungen benutzt wurde.
- ein *S c h e r b r e t t - G r u n d s c h l e p p n e t z* mit einer Grundtaulänge von 10m, einer Öffnungsweite von ca. 5,5 \* 1,4m (nach den Berechnungen des Herstellers, Engel Netze, für die vorgegebenen Einsatzbedingungen) und einer Maschenweite von 20mm in den Flügeln sowie in Ober- und Unterblatt und 10mm im Stert; dieses Netz wurde mit einer

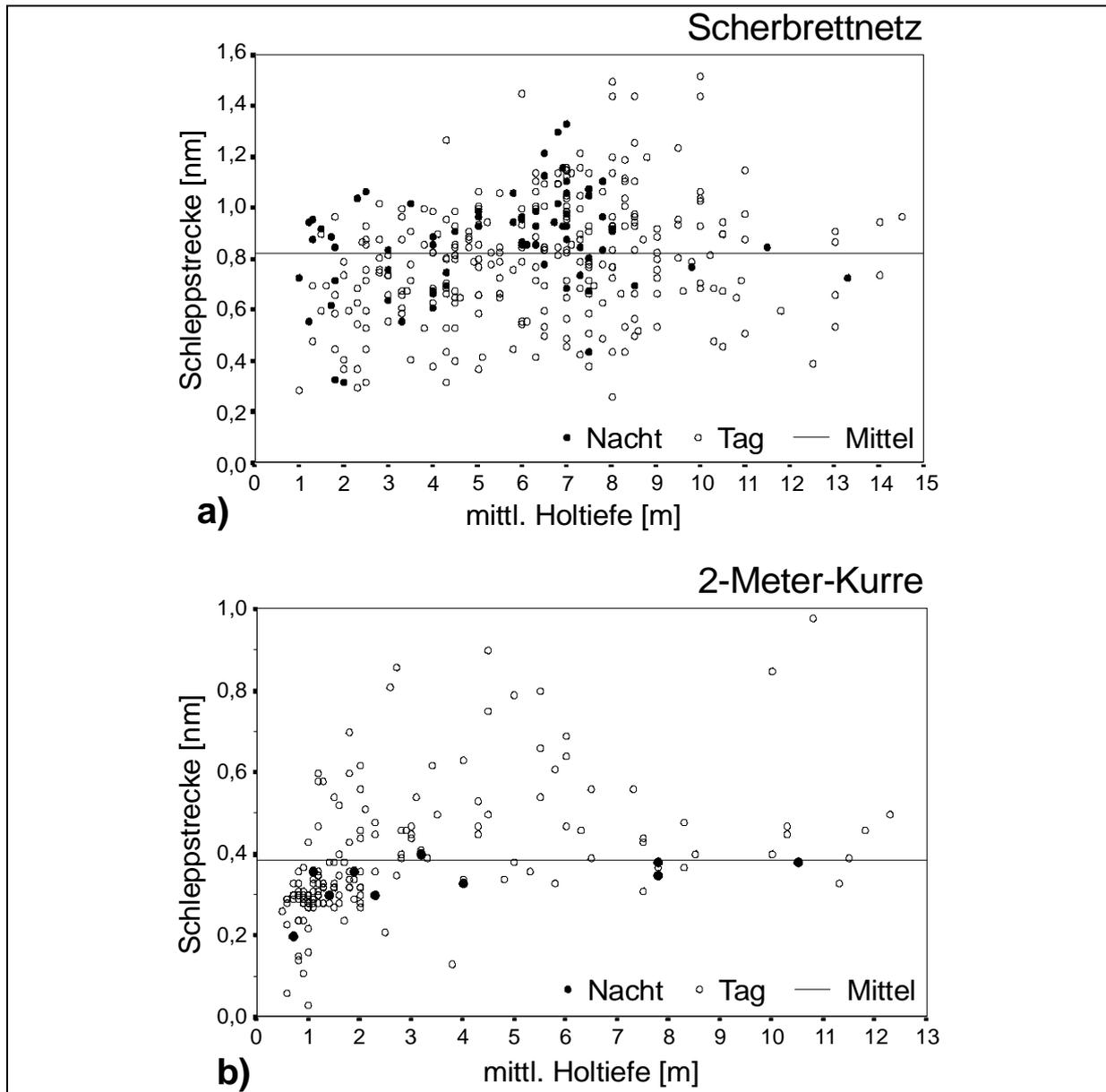
Geschwindigkeit von 2 bis 4 Knoten (1,0 bis 2,1m/s) über Grund und einer Kurrleinenlänge von 90m geschleppt.

- eine 3 - M e t e r - B a u m k u r r e mit Rollergeschirr und einer durchgängigen Maschenweite von 10mm. Die Netzöffnung betrug 3,0\*0,6m; die Kurrleinenlänge wurde bei 40m gehalten und die Schleppgeschwindigkeit für dieses Netz betrug 1,5 bis 3,5kn (0,8 bis 1,8m/s).
- eine 2 - M e t e r - B a u m k u r r e modifiziert nach Kuipers (1975) mit kettenbeschwerter Grundleine aber ohne Scheuchkette, mit einer Netzöffnung von 2,0\*0,3m und knotenlosem Netztuch von 4mm Maschenweite. Dieses Netz wurde bei 1,5 bis 2,5kn (0,8 bis 1,3m/s) Schleppgeschwindigkeit mit einer Kurrleinenlänge von 30 - 40m gefahren.
- ein S c h i e b e h a m e n von 1,5m Breite und 0,2m Höhe modifiziert nach Riley (1971) mit knotenlosem Netztuch von 1,5mm Maschenweite. Dieses Gerät wurde im flachen Eulitoral geschoben, es konnte aber auch mit einem Hahnepot versehen bei geringer Geschwindigkeit (< 1kn; 0,5m/s) geschleppt werden.



**Abbildung 3.03:** Die am häufigsten verwendeten Geräte. Nicht maßstäblich

Die drei am häufigsten verwendeten Geräte zeigt Abbildung 3.03. Mit dem Scherbrettnetz wurden 394 Hols, mit der 3-Meter-Kurre 73 Hols, mit der 2-Meter-Kurre 220 Hols, mit dem Schiebehamen 124 Hols und mit den Hamennetzen 79 Hols durchgeführt. Insgesamt wurden also rund 900 Proben mit den genannten Geräten gewonnen. Für die zwei am häufigsten benutzten Geräte ist in Abb. 3.04a und 3.04b die Verteilung der Hols auf die Tiefenstufen sowie deren Schleplänge dargestellt.



**Abbildung 3.04:** Tiefenverteilung und Schleppstrecke aller Hols mit (a) dem Scherbrettnetz (N=394) und (b) der 2-Meter-Kurre (N=220).

Die Schleppgeräte wurden mit Hilfe verschiedener Fahrzeuge eingesetzt. Ein kleineres, die "Belone", war ein offenes, durch einen Außenbordmotor (29kW, 40PS) angetriebenes, GFK-Boot von 5,5m Länge mit einem Tiefgang von 30cm. Wegen des geringen Tiefgangs wurde es vorwiegend in den Eulitoralbereichen der Bucht benutzt und konnte aufgrund seiner hohen Geschwindigkeit zu "quasisynoptischen" Probennahmen innerhalb einer Tidenphase im gesamten Nordsylder Wattenmeer eingesetzt werden, allerdings aufgrund der geringen Schleppkraft nur mit der 2-Meter-Kurre oder dem geschleppten Schiebehalm bei Windstärken von maximal 4-5 Beaufort.

Das andere Boot, die "Seabull", war ein 7,3m langer GFK-Kutter von 0,7m Tiefgang mit geschlossenem Ruderhaus, Inbord-Dieselmotor (37kW, 50PS), und hydraulischer Windenanlage. Die Vorteile dieses Fahrzeuges bestanden in der guten Seegängigkeit, die fischereiliche Arbeiten auch noch bei Windstärken bis 6 Beaufort (11 bis 14 m/s) erlaubte sowie der relativ hohen Schleppkraft in Verbindung mit der Möglichkeit, Kurrleinenlängen von bis zu 100m, wie sie für die Befischung größerer Tiefen nötig sind, durch die Windenanlage zu bewältigen. Von diesem Boot aus wurden im wesentlichen das Scherbrettnetz sowie die 2- und die 3-Meter-Kurre eingesetzt.

### 3.2.2 Probennahmestrategie und Beprobungs-Serien

Die Probennahme sollte einen Überblick über Arteninventar, Abundanzen und Größenzusammensetzung in den Beständen von Fischen und Garnelen in den verschiedenen Kompartimenten des Untersuchungsgebietes gewährleisten und gleichzeitig eine ausreichende Menge von Individuen für die Magenuntersuchungen liefern. Zur Abdeckung der erwarteten Saisonalität sollte dies möglichst im gesamten Jahresverlauf geschehen.

#### Standardstationsnetz

In der zweiten Jahreshälfte 1992 und im Jahr 1993 wurde ein Standardstationsnetz monatlich beprobt, das drei Tiefenstrata enthielt und das Untersuchungsgebiet weitgehend abdeckte (Abb. 3.01). Das erste Stratum (Stationen ST1-ST6) umfaßte das Sublitoral der Priele und tiefen Rinnen, und damit einen Tiefenbereich von ca. 3 bis 13m. Die Befischungen wurden mit dem Scherbrettnetz durchgeführt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Befischungen in diesem Stratum untereinander wurde an diesen Stationen nur in einem Zeitfenster gefischt, das 2 bis ½ Stunden vor bzw. ½ bis 2 Stunden nach dem Tag-Niedrigwasser lag. Aufgrund der Notwendigkeit, mit dem Scherbrettnetz jeweils mit der Strömung fischen zu müssen, wurde in der Stunde um das Stauwasser herum nicht gefischt. Hier, wie bei allen anderen mit den Booten durchgeführten Befischungen, wurde die befischte Fläche aus der Öffnungsbreite des Geräts (s.o.) multipliziert mit der Schleppstrecke ermittelt. Die Schleppstrecke errechnete sich aus der Distanz zwischen den per GPS-Satellitennavigation gewonnenen Fier- und Hievpositionen. Die mittlere befischte Fläche eines Hols der ST-Serie lag bei 8750m<sup>2</sup>.

Im zweiten Stratum, dessen Stationen (SF1-SF7) im tiefen Eulitoral und flachen Sublitoral lagen, wurde mit der 2-Meter-Kurre in einem Zeitfenster von 2 Stunden vor bis 2 Stunden nach dem Tag-Hochwasser gefischt. Zum Zeitpunkt des Hols lag die jeweilige Wassertiefe zwischen 0,8 und 2,0m. Die mittlere befischte Fläche pro Station betrug 1150m<sup>2</sup>.

Das dritte Stratum schließlich (Stationen CS1-CS3) umfaßte das obere Eulitoral und wurde möglichst nahe am Zeitpunkt des örtlichen Hochwassers befischt. Hierzu wurde je nach Steilheit des Uferprofils in 5-50m Entfernung von der Hochwassermarken Schiebehämenhols in einer Wassertiefe von 0,5-0,7m parallel zu Uferlinie durchgeführt. Die befischte Fläche pro Station betrug hierbei 110m<sup>2</sup>.

#### Tiefenstratifizierte Probennahmen

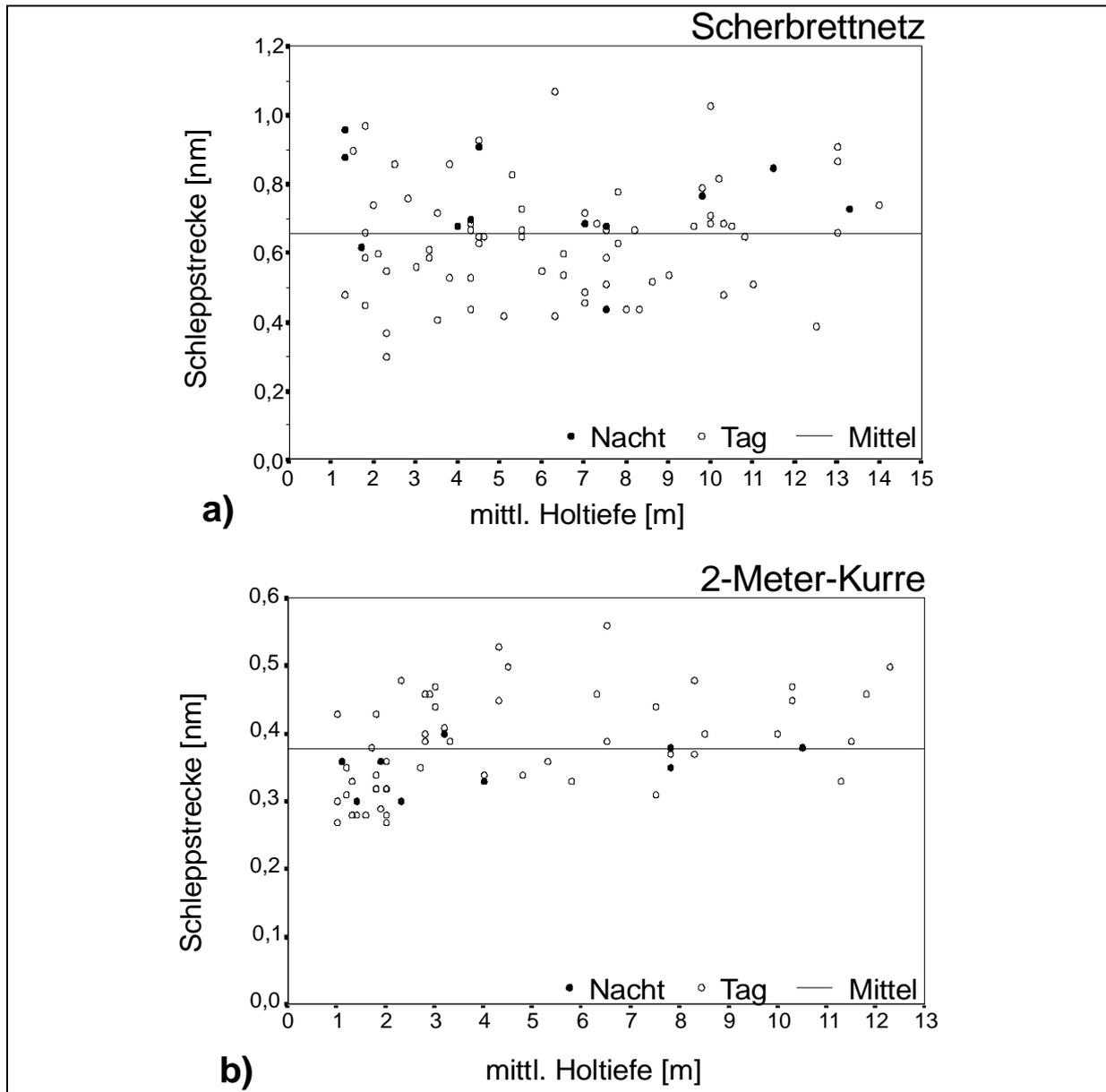
In den Jahren 1992 bis 1994 wurden mehrere gezielte tiefenstratifizierte Probennahmen mit einer hohen vertikalen Auflösung durchgeführt. Hierbei wurden in möglichst kurzer Folge mit jedem Einzelhol enge Tiefenbänder befischt, die in jeweils 1-3m vertikalem Abstand voneinander lagen. Dies konnte entweder an den relativ steilen Kanten der Tiefs, oder auf den flacher abfallenden Platen geschehen. Für diese Probennahmen wurden sowohl das Scherbrettnetz, als auch die 2-Meter-Kurre eingesetzt. Die Tiefenverteilung der tiefenstratifizierten Hols kann Abb. 3.05a und Abb. 3.05b entnommen werden.

#### Echolot-Aufzeichnungen

Eine Möglichkeit der schnellen großräumigen Erfassung der relativen Verteilung pelagischer und halbpelagischer Arten ergab sich durch Echolot-Aufzeichnungen, bei denen entweder festgelegte Profile innerhalb des Untersuchungsgebietes abgefahren wurden oder die unter dem verankerten Schiff mit der Tide hindurchwandernden Fische bzw. Fischschwärme registriert werden konnten. Eine Identifizierung der einzelnen Arten ist bei diesem Verfahren nur sehr bedingt, eine Bestimmung der tatsächlichen Abundanz gar nicht möglich. Die Aufzeichnungen eigneten sich allerdings für die Bestimmung der relativen Dichte pelagischer Fische beim Vergleich der Zeiten oder Orte untereinander. Alle Aufzeichnungen wurden bei 200kHz auf Schreiberloten vom Typ "Furuno FE-4300" gemacht.

#### Winterbefischungen

Dem mehrjährigen Vergleich der Artenzusammensetzung und Individuendichten sowie der Beschreibung der Bestandssituation im Winter dienen die Februar-Befischungen mit der FS "Mya". Hierbei wurden im Februar 1992 und 1993 und im März 1994 (wegen Eisgangs im Februar) mit einer 3-Meter-Kurre innerhalb von 2 Tagen jeweils 14 Hols auf 7 Stationen im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes durchgeführt. Die gute Vergleichbarkeit der Fischereien untereinander ergibt sich dabei aus den über die Jahre identisch gehaltenen Positionen der Hols, die zu gleicher Tidensituation in der gleichen Reihenfolge befischt wurden. Zudem betrug die Wassertemperaturdifferenz zwischen den Jahren zum Zeitpunkt der Befischung nur maximal 2 °C.



**Abbildung 3.05:** Tiefenverteilung und Schlepplänge der tiefenstratifizierten Probenahmen mit (a) dem Scherbrettnetz (N=76) und (b) mit der 2-Meter-Kurre (N=63).

## 24-Stunden-Fischereien

Der Zweck der logistisch aufwendigen 24-Stunden-Fischereien bestand einerseits darin, ein zeitlich hochauflösendes Bild der tidalen und diurnalen Dynamik der Fischgemeinschaft eines Ortes zu zeichnen, andererseits wurden zu diesen Gelegenheiten die Magenproben für die Untersuchung der Periodizität der Nahrungsaufnahme und für die meisten qualitativen und quantitativen Konsumtionsuntersuchungen erhoben.

Während des Untersuchungszeitraumes wurden insgesamt neun 24-Stunden-Fischereien begonnen von denen drei aufgrund technischer Probleme oder sich verschlechternder Wetterbedingungen vorzeitig abgebrochen wurden. Von diesen neun Befischungen wurden

sieben mit dem Scherbrettnetz und jeweils eine mit der 2-Meter-Kurre bzw. dem Schiebehamen durchgeführt. Angaben zu Daten und Orten finden sich in Tabelle 3.02.

**Tabelle 3.02:** Daten und Orte der 24h-Fischereien. Abkürzungen: SbN = Scherbrettnetz; 2mK = 2-Meter-Kurre; Sh = Schiebehamen; \* = vorzeitig abgebrochene Serien.

No.	Datum	Ort	Gerät	Anz.d. Hols	Zeitintervall	Tiefenbereich
1	23/24.04.92	Pandertief	SbN	24	1 h	4-10 m
2	22/23.07.92	Lister Tief	2mK	17	1,5 h	2-7 m
3	17/18.06.93	Lister Tief	SbN	24	1 h	1,5-14 m
4	20/21.07.93	Westerley	SbN	5 *	1 h	1-2,5 m
5	14/15.08.93	Westerley	SbN	8 *	1 h	1-13 m
6	18/19.08.93	Lister Tief	SbN	24	1 h	1-15 m
7	18/19.09.93	Lister Tief	SbN	24	1 h	1-14 m
8	17/18.10.93	Lister Tief	SbN	19 *	1 h	1-18 m
9	28/29.05.94	Lister Odde	Sh	17	1,5 h	0,5 m

Sofern das Scherbrettnetz benutzt wurde, betrug die Schleppstrecke der Hols ca. eine nautische Meile (1852m). Die Schleppgeschwindigkeit über Grund war strömungsabhängig und lag zwischen 2 und 4 Knoten (ca. 1 bis 2m/s). Der geschleppte Kurs richtete sich nach der jeweiligen Strömungsrichtung. Es wurde versucht, mit jedem Hol ein möglichst großes Tiefenspektrum abzudecken, um keine Verfälschung durch tiefenabhängige Verteilungsmuster zu erhalten.

### H a m e n f i s c h e r e i

Im März, August, Oktober 1993 und im März 1994 fanden im Lister Tief auf einer Ankerstation der FS "Heincke" nördlich des "Ellenbogen" und außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebiets (s. Abbildung 3.01) bei 55°03,4'N und 008°27,2'E Hamenfischerei-Kampagnen statt. Ziel dieser Meßkampagnen war es, die mit dem Tidenstrom durch das Lister Tief ein- und auswandernden Fische direkt zu erfassen. Hierzu wurde ein Hol pro Halbtide durchgeführt. Das Netz wurde nach dem Einsetzen des Tidestromes über den Heckgalgen des Schiffes an einer einfachen Kurrleine gefiert, wobei aus der Leinenlänge und ihrem Winkel gegen die Lotrechte der befischte Tiefenhorizont bestimmt werden konnte. Da eine gewisse minimale Strömungsgeschwindigkeit die Voraussetzung für diese Art der Fischerei ist, betrug die Holdauer nicht 6h sondern durchschnittlich 3h 45min. Außer zum erstgenannten der Termine wurde mit Hilfe eines Zählrad-Strömungsmessers (General Oceanics Flowmeter) die durch das Netz filtrierte Wassermenge errechnet. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit während der Hols betrug ca. 1,6kn (0,8m/s). Parallel zu den Hols mit dem Hamennetz wurden mit dem Echolot durchwandernde Fischschwärme aufgezeichnet.

Da nicht zu jeder Hamenfischerei-Kampagne jeweils die gleiche Anzahl von Hols in den Kombinationen von Tag/Flutstrom, Nacht/Flutstrom, Tag/Ebbstrom und Nacht/Ebbstrom durchgeführt werden konnte, wurden die mittleren Fangerträge jeder Tageszeit/Tide-Kombination für jede Art ermittelt und alle vier Mittelwerte zu einem Einheitsfang summiert. Auf diese Weise konnte der prozentuale Anteil der jeweiligen Tageszeit/Tide-Kombination am Einheitsfang der jeweiligen Art zwischen den einzelnen Fischereien verglichen werden.

### 3.2.3 Probenaufarbeitung

Die Sortierung der Fänge nach Arten erfolgte zumeist direkt an Bord. In Zweifelsfällen der Artbestimmung wurden Individuen mitgenommen und an Land bestimmt. Grundlage der Artbestimmung waren Whitehead *et al.* (1984). Nicht nach Spezies getrennt wurde lediglich bei den Arten des "*Pomatoschistus minutus* Komplex" (Webb, 1980) zu dem die Arten *Pomatoschistus minutus* (Pallas), *P. lozanoi* (de Buen) und *P. norvegicus* (Collett) gehören. Hier sind die Ähnlichkeiten so groß, daß sie für jeden einzelnen Fisch dieser sehr häufigen Gruppe einen sehr hohen Bestimmungsaufwand gekostet hätten. Es ist davon auszugehen, daß von den drei Arten nur *P. minutus* und *P. lozanoi* im Untersuchungsgebiet vertreten sind, da *P. norvegicus* eine küstenferne Verbreitung hat (Gibson & Ezzi, 1981). Auch *P. lozanoi* wird, wenn überhaupt, nur in geringen Abundanzen aufgetreten sein, da das Verbreitungsgebiet dieser Art bei 53°30' seine Nordgrenze haben soll (Hamerlynck, 1990). Aus diesen Gründen wurden alle Arten des Komplexes unter der Art *P. minutus* zusammengefaßt.

Bei kleineren Individuenzahlen wurde auch die Längenmessung an Bord durchgeführt. Bei größeren Fängen wurden die in geringeren Mengen vertretenen Arten vollständig aussortiert und vermessen. Vom verbliebenen Rest wurde eine durch Volumen definierte Unterprobe sortiert und ebenfalls vermessen. Bei den häufig in den Fängen auftretenden sehr großen Stückzahlen der Sandgarnele wurde die Gesamtprobe oder repräsentative Unterproben gefrostet nach Hamburg transportiert, wo dann jeweils Längenmeßreihen von 300 oder mehr Individuen pro Hol durchgeführt wurden, die auf den Gesamtfang der Garnelen im Hol hochgerechnet wurden.

Für Längenmessungen wurde die Totallänge der Fische auf die untere Längenklassengrenze bezogen (s. Kesteven, 1960). Im allgemeinen wurde mit Zentimeterklassen gearbeitet. Ausgenommen hiervon wurden die Clupeiden (½cm-Klassen) sowie die Grundeln und Garnelen (mm-Klassen). Garnelen wurden vorzugsweise auf einem Digitalisiertablett (Calcomp Drawingboard II) vermessen und die Werte dann auf den unteren Millimeter transformiert.

Bei den Fängen der 24-Stunden-Fischereien und anderen, die für die Untersuchungen des Mageninhalts vorgesehen waren, wurden nach dem Hieven sofort Unterproben von - soweit vorhanden - 20 Individuen der betreffenden Fischarten (bei Grundeln 10) in 8%iger, mit Hexamethylentetramin gepufferter, Formaldehydlösung konserviert. Die Konservierung der Fische erfolgte nach dem Öffnen der Leibeshöhle, da dies eine schnellere Unterbrechung der Verdauungsprozesse zur Folge hat.

Formolkonservierte Fische wurden vor der weiteren Bearbeitung zwei Tage gewässert. Da an einer Probe von 20 Wittlingen keine signifikante Längenveränderung durch Formolkonservierung festgestellt werden konnte, wurde auf eine etwaige Schrumpfungskorrektur bei der in Millimeter-Klassen erfolgenden Längenmessung verzichtet. Die Fische wurden nach dem Abtropfen und Abtupfen auf Fließpapier auf 0,1g (0,01g für Grundeln) genau gewogen. Das Auftreten auffälliger Parasiten (*Lernaeocera branchialis*, Metacercarien von *Cryptocotyle lingua.*) wurde notiert. Zur Untersuchung des Mageninhaltes wurde der Magen zunächst entfernt und das Magen-Feuchtgewicht (wie alle folgenden Gewichte auf 1mg genau) nach dem Abtupfen auf Fließpapier ermittelt. Danach konnte die Magenwand geöffnet, der Inhalt herausgenommen und die Wand selbst gewogen werden. Aus der Differenz der Gewichte ergab sich das Mageninhaltsgewicht. Da bei der Sandgrundel ein differenzierter Magen fehlt, wurde hier sinngemäß mit den vorderen 2/3 des Verdauungstraktes ebenso verfahren. Der besseren Vergleichbarkeit wegen wurde das Mageninhaltsgewicht auf das Körpergewicht bezogen und als Füllungsindex nach Hureau (1969) berechnet. Hierbei galt:

$$\text{Füllungsindex : } Fi = \frac{Wt_S * 100}{Wt_F} \quad (\text{Gl. 3.1})$$

Mit:  $Wt_S$  = Naßgewicht des Mageninhalts

$Wt_F$  = Naßgewicht des Fisches ohne Mageninhalt

Der Mageninhalt wurde dann in die Nahrungsfractionen Sandgarnele (*Crangon crangon*), Grundeln (*Pomatoschistus spec.*) und Rest getrennt. Die ersten beiden Nahrungsfractionen wurden gewogen, das Gewicht des Rests errechnete sich aus der Differenz zwischen der Gewichtssumme dieser Fractionen und dem Mageninhaltsgewicht. Wenn möglich wurde die Länge der Nahrungsorganismen gemessen bzw. bei der Sandgarnele auch anhand von der Größe von Resten der Individuen im Magen (in absteigender Präferenz: Carapaxlänge, Telsonlänge, Scherenbeinlänge) rekonstruiert. Die dazu benötigten Formeln stammten aus der Berechnung von Regressionen der Teillängen auf der Totallänge ( $L_T$ ). Hierfür wurde die exakte Vermessung von 99 Sandgarnelen aus der Sylt-Rømø-Bucht zur Grundlage genommen, die den Größenbereich von 20 bis 94mm abdeckten. Folgende Hochrechnungsformeln wurden benutzt:

$$L_T [\text{mm}] = 3,87 + \text{Carapaxlänge} [\text{mm}] * 4,194 \quad ; \quad (R^2=0,98)$$

$$L_T [\text{mm}] = 0,33 + \text{Telsonlänge} [\text{mm}] * 6,219 \quad ; \quad (R^2=0,95)$$

$$L_T [\text{mm}] = 3,87 + \text{Scherenbeinlänge} [\text{mm}] * 8,709 \quad ; \quad (R^2=0,95)$$

Der Verdauungsgrad der in den Mägen vorgefundenen Garnelen und Grundeln wurde auf einer vierteiligen Skala abgeschätzt.

Insgesamt wurden ausgewertet:

Wittlingsmägen:	2763
Kabeljaumägen:	1381
Sandgrundelmägen:	500
Klieschenmägen:	448
Seeskorpionmägen:	329
Steinpickermägen:	341

Die Mägen der drei letztgenannten Arten stammten ausschließlich aus der ersten 24-Stunden-Fischerei im April 1992 (Tab. 3.02).

### 3.3 Berechnungsverfahren

#### Abundanzmaße

Da während der Hols die geschleppte Strecke erfaßt wurde, ließen sich die im Fang gefundenen Fisch- und Garnelenanzahlen bei bekannter horizontaler Netzöffnung auf die überstrichene Fläche ("swept area") beziehen. Die im Ergebnisteil angeführten Abundanzen wurden auf diese Weise ermittelt. Eine Korrektur um die Geräteeffizienz wurde nicht vorgenommen. In der Ergebnisdarstellung wurden die flächenbezogenen Angaben auf jeweils die Fläche bezogen, die in etwa der typischen Fläche eines Einzelhols des benutzten Geräts entsprach. Für das Scherbrettnetz liegt der Bezug also bei 1 Hektar, für die 2-Meter-Kurre bei 1000m<sup>2</sup> und beim Schiebehaken bei 100m<sup>2</sup>.

#### Biomasseberechnung

Für die Berechnung der Biomasse wurden die Längen/Häufigkeits-Verteilungen jeder Spezies von jedem Einzelhol zu Gewichts/Häufigkeits-Verteilungen umgerechnet. Hierbei wurden entweder an Fischen der Sylt-Rømø-Bucht erhobene Längen/Gewichts-Beziehungen (bei Wittling, Kabeljau, Hering, Grundeln, Sandgarnelen, Steinpicker, Seeskorpion und Kliesche) oder bei den selteneren Arten Literaturwerte (nach Coull *et al.*, 1989) zugrundegelegt. Die Gewichts/Häufigkeits-Verteilungen wurden dann für jede Spezies im Hol aufsummiert.

Für die Betrachtung des saisonalen Verlaufs der Biomassenwerte einzelner Arten in den drei Tiefenstrata des Standardstationsnetzes wurden die nach obigem Verfahren errechneten Biomassenwerte monatsweise über die  $n$  Stationen der jeweiligen Serie summiert und schließlich durch die gesamte befischte Fläche der Serie im jeweiligen Monat geteilt. Die Befischung einer Serie in einem Monat wurde somit wie eine Probe gewertet. Die Ergebnisse wurden in Gramm pro Hektar als mittlere Biomassendichte des Tiefenstratums ausgedrückt.

Mittlere Biomassendichte eines Stratums: 
$$\bar{D}_l = \frac{B_1 + B_2 + \dots + B_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad (\text{Gl. 3.2})$$

Mit:  $B_n$  = Biomasse einer Art an der n-ten Station

$F_n$  = befischte Fläche der n-ten Station

Zur Hochrechnung der in den einzelnen Strata gefundenen Biomassendichten auf die Biomasse der gesamten Sylt-Rømø-Bucht wurden die Flächenberechnungen des SWAP-Teilprojektes 4.1 ("Hydrodynamisches Modell des Sylter Wattenmeeres") in Tabelle 3.03 benutzt. Es wurde also angenommen, daß das im Deutschen Teil der Sylt-Rømø-Bucht gelegene Untersuchungsgebiet, welches knapp die Hälfte Fläche der Bucht ausmacht, für die gesamte Bucht repräsentativ ist. Durch die große Ähnlichkeit der Flächenverteilung der Tiefenstrata wird dieser Schluß nahegelegt. Demnach ergeben sich für das Gesamtgebiet der Sylt-Rømø-Bucht folgende Flächen:

**Tabelle 3.03:** Flächenaufteilung der Sylt-Rømø-Bucht (ohne äußeres Lister Tief) nach Backhaus *et al.*, 1996.

	km <sup>2</sup>	% Anteil
Sylt-Rømø-Bucht gesamt <sup>1)</sup>	406,64	100,0
Eulitoralflächen	134,93	33,2
Flächen zwischen 0 und 5m Tiefe	230,98	56,8
Flächen mit mehr als 5m Tiefe	38,13	9,4

<sup>1)</sup> einschließlich 2,6 km<sup>2</sup> Supralitoralfläche

Die Tiefenstrata der Standardbefischungen wurden diesen Flächen zugeordnet, wobei festgelegt wurde, daß die Serie der Stationen CS1 bis CS3 das obere Eulitoral, und damit ca. 1/3 der gesamten Eulitoralfläche repräsentiert (45,0 km<sup>2</sup>). Der Serie der Stationen SF1 bis SF7 wurden die unteren 2/3 des Eulitorals und das flache Sublitoral bis 5m Tiefe zugeordnet (320,9 km<sup>2</sup>). Die Serie der Stationen ST1 bis ST6 wurde schließlich auf das tiefe Sublitoral (38,1 km<sup>2</sup>) bezogen.

## Produktionsberechnung

In den Fällen, wo sich eine oder mehrere Kohorten getrennt verfolgen ließen, konnte die Produktion für die jeweilige Kohorte zwischen den Probenahmezeitpunkten, also hier monatlich, in Anlehnung an Pitcher & Hart (1982), bzw. Crisp (1971) berechnet werden. Hierbei wurde die Produktion eines Zeitintervalls ( $P_i$ ) als mittlere individuelle Gewichtsänderung im Zeitintervall multipliziert mit der mittleren Anzahl der Tiere der Kohorte im selben Intervall errechnet. Diese Produktionswerte werden über die  $n$  Intervalle summiert um die Gesamtproduktion der Kohorte auszudrücken:

$$\text{Produktion über } n \text{ Probenahmeintervalle: } P_n = \sum_{i=0}^{i=n} P_i = \sum_{i=0}^{i=n} \bar{N}_i * (\bar{W}_{i+1} - \bar{W}_i) \quad (\text{Gl. 3.3})$$

## Konsumtionsberechnung

Zur Berechnung der Konsumtion von Wittling und Kabeljau an Sandgarnelen und Sandgrundeln im Beispieljahr 1993 wurde zunächst die Tageskonsumtion eines Fisches in den einzelnen Monaten errechnet und diese dann mit der Abundanz der jeweiligen Art in dem Monat multipliziert und über die Monate aufsummiert. Hierbei wurden die Monate vor dem Juni und nach dem Oktober ignoriert, da hier keine oder nur sehr wenige Fische der beiden betrachteten Räuberarten in der Sylt-Rømø-Bucht anzutreffen waren (s. Kap 4.2.1 saisonale Variabilität).

Als Eingangsgrößen wurden verwendet:

- das mittlere Individualgewicht der betreffenden Art in der jeweiligen monatlichen 24-Stunden-Fischerei,
- der mittlere Mageninhalt dieser Art in der selben 24-Stunden-Fischerei,
- die Wassertemperatur im betreffenden Monat,
- die Parameter der Magenleerungsfunktion für die jeweilige Räuber/Beute-Kombination,
- und die Abundanz der Räuberart, wie sie aus den Befischungen der Standardserie für den Monat ermittelt wurde.

Die Konsumtion eines Fisches pro Tag errechnete sich nach der Formel von Temming & Andersen (1994):

$$\text{Tageskonsumtion} = K_d = R_{spec} * \bar{W}^C * e^{a*T} * \bar{S}^B * 24 \quad (\text{Gl. 3.4})$$

mit:  $R_{spec}$  = Beutespezifischer Verdauungsparameter der Magenleerungsfunktion

$W$  = (mittleres) Räubergewicht

$C$  = Gewichtsexponent der Magenleerungsfunktion

$a$  = Temperaturexponent der Magenleerungsfunktion

$T$  = Wassertemperatur [°C]

$S$  = (mittleres) Gewicht der Beuteart im Räubermageninhalt

$B$  = Formparameter der Magenleerungsfunktion

Die Formel wurde aufgrund der stark von der Normalverteilung abweichenden Häufigkeitsverteilung der Mageninhaltsgewichte derart berechnet, daß nicht der Mittelwert von  $S$  mit  $B$  potenziert wurde, sondern der Mittelwert von  $S^B$  benutzt wurde, wie es Ursin *et al.* (1985) für diesen Fall vorschlagen.

Die Parameter der Magenleerungsfunktion waren für den Kabeljau und verschiedene Beutearten im experimentellen Teil des SWAP-Projekts im Seewasserkreislauf der des Instituts für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft an Fischen aus dem Nordsylder Wattenmeer ermittelt worden (Temming, 1995; Herrmann, pers. Mitt.). Für den Wittling mit Sandgrundeln als Beute wurden die Parameter von Andersen (1999) übernommen. Der für Garnelen spezifische Verdauungsparameter der Magenleerungsfunktion des Wittlings wurde errechnet, indem der Temperaturexponent ( $a$ ), Gewichtsexponent ( $C$ ) und Formparameter der Magenleerungsfunktion ( $B$ ) von Andersen (1999) benutzt wurden, um mit diesen den garnelenspezifische Verdauungsparameter  $R$  aus den 14 Magenleerungsexperimenten mit dieser Räuber/Beute-Kombination des SWAP-Projekts ermitteln (Temming und Herrmann, pers. Mitt.). Die benutzten Parameter sind in Tabelle 3.04 wiedergegeben:

**Tabelle 3.04:** Bei der Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling benutzte Magenleerungsparameter

	$C$	$a$	$T_{opt}$	$B$	$R_{Garnelen}$	$R_{Grundeln}$
<b>Kabeljau</b>	0,283	0,130	16°C	0,482	0,00422	0,00531
<b>Wittling</b>	0,460	0,078	16°C	0,500	0,00389	0,00342

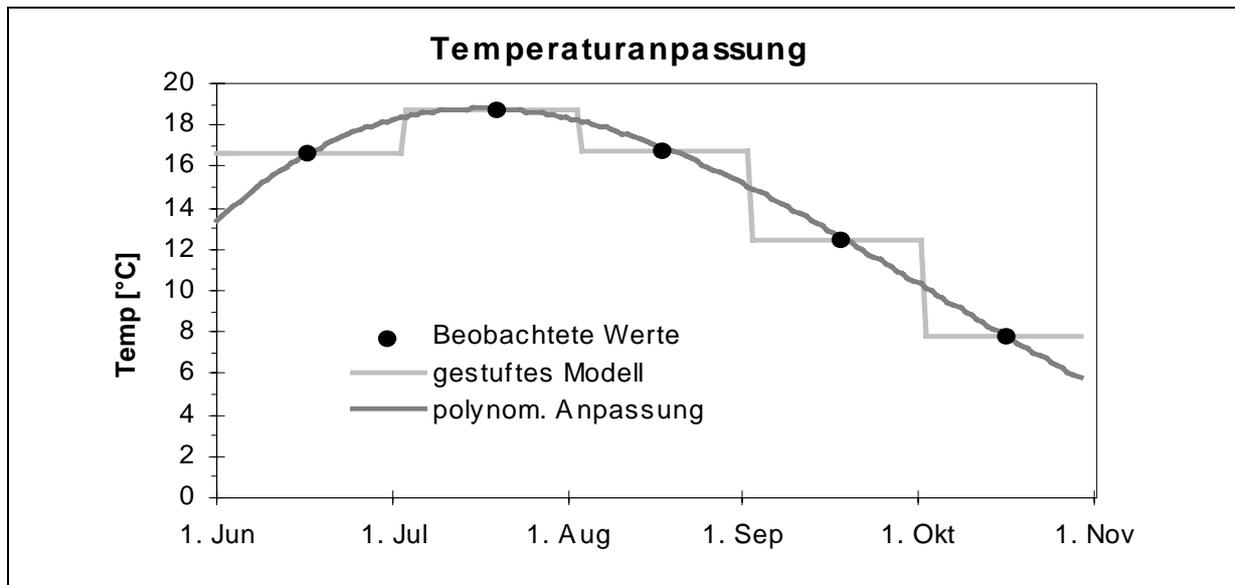
Die im Wattenmeer angetroffenen Wassertemperaturen des lagen im Sommer zumeist über den Temperaturen, welche die Fische in der offenen Nordsee antreffen. In der Tat lagen sie z.T. deutlich über der von Temming (1995) aus den Daten von Tyler (1970) errechneten Optimaltemperatur für die Magenleerung des Kabeljau von rund 16°C. Da ein bei 21,4°C Wassertemperatur durchgeführter Magenleerungsversuch den selben Temperatureffekt auf die Verdauungsparameter zeigte, wie er sich in den bei 16°C durchgeführten zeigte, wurde für die Zeiträume, in denen die Wassertemperatur zwischen 16°C und 21,4°C lag mit dem Wert für 16°C gerechnet, um eine Überschätzung der Konsumtion bei höheren Temperaturen zu vermeiden. Wassertemperaturen oberhalb 19° wurden in den 24-Stunden-Fischereien allerdings nicht angetroffen.

Die Berechnung der monatlichen Konsumtion durch die Räuberarten Wittling und Kabeljau erfolgte in 3 zu vergleichenden Rechenwegen: dem „gestuften Modell“ (a), dem „gestuften Modell mit gleitender Temperatur“ (b) und dem „geglätteten Modell“ (c).

Beim ersten Modell wurden die für den Tag der 24-Stunden-Fischerei ermittelten Tageskonsumtionswerte jeweils bis zur Mitte des Zeitraums zwischen den 24-Stunden-

Fischereien weiter benutzt. Der Jahresgang der Tageskonsumtion der Einzelfische weist also „Stufen“ von rund einmonatiger Breite auf.

Das zweite Modell entspricht dem ersten mit der Ausnahme eines polynomisch an die während der Befischungen beobachteten Werte angepaßten Temperaturverlaufs (Abb. 3.06). Die Tageskonsumtion wurde also mit der jeweiligen extrapolierten Tagestemperatur errechnet.



**Abbildung 3.06:** Für die Konsumtionsberechnung benutzte Temperaturverläufe.

Das dritte Modell benutzte neben der gleitenden Temperatur auch geglättete Werte für die anderen aus den 24-Stunden-Fischereien ermittelten Parameter: mittleres Räubergewicht, Mittelwert des Mageninhaltsgewicht der jeweiligen Beute potenziert mit dem jeweiligen Formparameter der Beute für Sandgarnelen und Sandgrundeln. Für dieses Modell wurden auch die Räuberabundanzten geglättet extrapoliert. Die geglätteten Verläufe sind in Kapitel 4.5.5 wiedergegeben.

### Selektivitätsberechnung

Zur Berechnung der qualitativen Selektivität sowie der Größenselektivität wurde Ivlevs (1961) Index, die Elektivität  $E_i$  benutzt:

$$\text{Elektivität} = E_i = \frac{(r_i - p_i)}{(r_i + p_i)} \quad (\text{Gl. 3.5})$$

mit  $r_i$  = relativer Anteil der Nahrung/Größengruppe  $i$  in den Mägen  
und  $p_i$  = relativer Anteil der Nahrung/Größengruppe  $i$  im Nahrungsangebot

Bei der Berechnung der Größenselektivität wurden hierbei nur diejenigen Größengruppen, die kleiner oder gleich den größten der in den Mägen vorgefundenen Nahrungsorganismen der jeweiligen Art waren, für die Bildung der relativen  $p_i$ -Werte herangezogen und nicht vollständige Längen/Häufigkeits-Verteilungen. Dieses Verfahren sollte sicherstellen, daß nicht große Längengruppen der Beuteorganismen, die von den Räubern nicht mehr bewältigt werden können, mit zum Beuteangebot gerechnet werden. Diese hätten folglich alle ein  $E_i$  von -1 (vollständige Meidung) erhalten, während der relative Anteil der kleineren Längengruppen am Nahrungsangebot dadurch unterschätzt worden wäre.

Für die Berechnung der qualitativen Selektion wurden nur die beiden näher betrachteten Beutegruppen Garnelen und Grundeln untersucht.

### Statistische Testverfahren

Für die Bewertung der Unterschiede in der Abundanz zwischen den Tages- und Nachtfängen der 24-Stunden-Fischereien wurde der U-Test nach Mann-Whitney für unabhängige, nichtparametrische Stichproben mit einer Signifikanzschranke von  $p < 0,05$  gewählt, da eine Normalverteilung der Abundanzen im jeweiligen Zeitstratum nicht gegeben war. Auch für andere verwendete Signifikanztests wurde jeweils eine Schranke von  $\alpha < 0,05$  benutzt.

## 3.4 Weitere gemessene Parameter

Neben den oben erwähnten flächenbezogenen Fangzahlen und den Konsumtionsabschätzungen wurde schon zum Probenahmezeitpunkt eine Reihe von Rahmenparametern gemessen. Diese dienten einerseits der Einschätzung des Probenahmeortes - wie z.B. die Wassertiefe - andererseits sollte versucht werden mögliche statistische Abhängigkeiten des Fangergebnisses von diesen Parametern zu klären.

Es gehörten hierzu navigatorische (Position, Kurs, Distanz, Wassertiefe, Schleppgeschwindigkeit) und meteorologische Parameter (Windrichtung und -stärke, Bewölkungsgrad) sowie die Wassertemperatur.

## 3.5 Langjährige Abundanzindizes

Zum Vergleich der relativen Stärke des jährlichen Auftretens von Wittling, Kabeljau, Sandgrundeln und Sandgarnelen innerhalb der Deutschen Bucht über einen längeren Zeitraum hinweg war es möglich, einen Teildatensatz des „Demersal Young Fish and Brown Shrimp

Survey“ (DYFS) auszuwerten, der seitens der Bundesforschungsanstalt für Fischerei zur Verfügung gestellt wurde.

Der DYFS ist ein internationaler Survey, der die Aufgabe hat, jährlich einen Überblick über die Jahrgangsstärke kommerziell wichtiger Arten in Küstennähe zu erarbeiten (van Beek *et al.*, 1989). Seit Anfang der 70er Jahre wird hierzu in Deutschland mit einer 3-Meter-Kurre mit Rollergeschirr und einer Maschenöffnung von 20mm ein Stationsnetz befischt, das zumindest seit Anfang der 80er Jahre feste Stationen aufweist, die zum größten Teil im unmittelbaren Wattenmeerbereich, also hinter den Inseln, liegen. Die Deutschen Befischungen finden einmal im Frühjahr (April-Mai) und ein zweites mal im Herbst (September-Oktober) statt. Zu beiden Zeiten werden dabei im Küstenverlauf insgesamt rund 100 Stationen befischt.

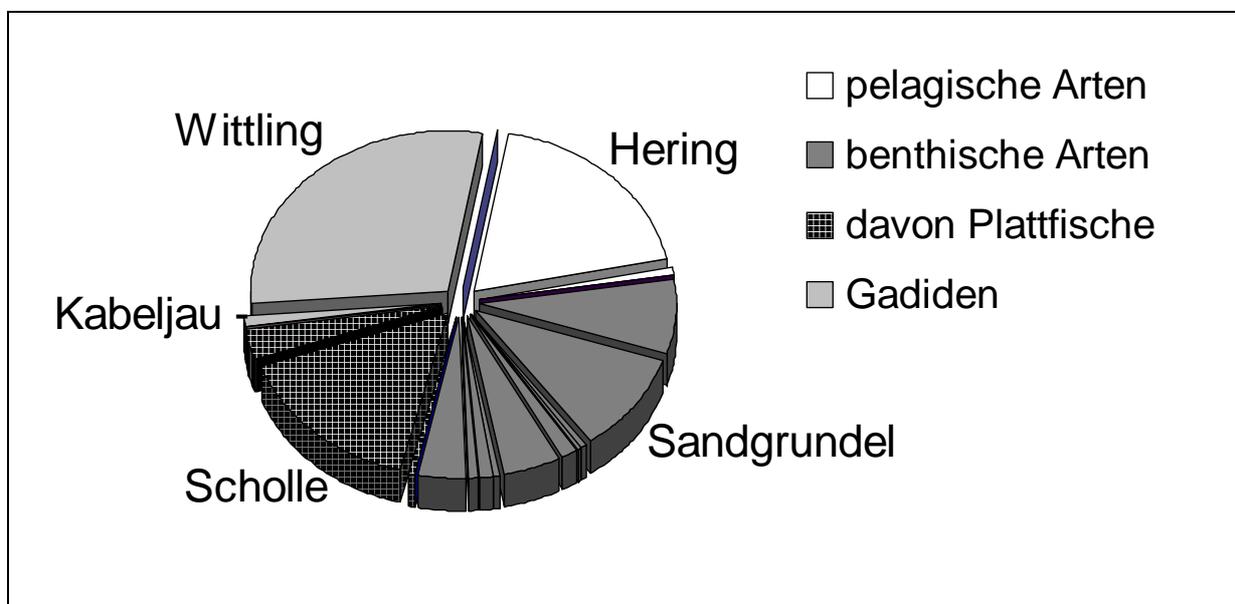
Für die vorliegende Arbeit wurde sich auf die Auswertung derjenigen Fänge beschränkt, die aus dem Schleswig-Holsteinischen Teil des Survey stammten. Sie machten mit im Mittel 52 Stationen jeweils im Frühjahr und im Herbst rund die Hälfte des gesamten Deutschen Anteils des Survey aus. Der Schleswig-Holsteinische Teil umfaßt dabei allerdings nicht das Sylt-Rømø-Tidebecken selbst. Seine nördlichsten Stationen liegen im Bereich Norderaue, zeitweise im südlichen Hörnumtief. Da kein dänischer Beitrag zum DYFS existiert, ist dies die geographisch dem Untersuchungsgebiet nächstliegende längere Zeitserie von Fischabundanzdaten, die ausgewertet werden konnte.

Die Daten lagen auf Einzelholbasis vor und wurden auf die vom Netz überstrichene Fläche bezogen. Die Schleppstrecken errechneten sich für die Zeit nach 1987 aus den seit dem aufgenommenen genauen Fier- und Hievpositionen des Netzes; für die Zeit vor 1987 wurde von der angestrebten Schleppgeschwindigkeit von 4 Knoten und der angestrebten Holdauer von einer Viertelstunde ausgegangen, was zu einer überstrichenen Fläche von rund 5600 m<sup>2</sup> führt. Tatsächlich dürfte die überstrichenen Fläche im Mittel um rund den Faktor 0,8 kleiner gewesen sein (Neudecker *et al.*, 1998). Daten über die Sandgrundel aus dem Zeitraum vor 1989 wiesen verschiedene Plausibilitätsprobleme auf, so daß sie nicht auf Einzelholbasis zur Auswertung herangezogen wurden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeine Ergebnisse zur Ichthyofauna der Sylt-Rømø-Bucht

Die Fischartengemeinschaft der Sylt-Rømø-Bucht wird von benthischen und bentho-pelagischen Arten dominiert (Abbildung 4.01). Im Jahresmittel 1993 (April-November) betrug der Anteil pelagischer Arten nur 20% der in den Standardbefischungen beobachteten Gesamtfischbiomasse. Der Anteil der im Folgenden näher zu betrachtenden Arten Wittling (*Merlangius merlangus*) und Kabeljau (*Gadus morhua*) betrug zusammen nahezu ein Drittel. Neben diesen beiden Arten stellten der Hering mit 19%, die Scholle mit 16% und die Sandgrundel mit 10% noch quantitativ bedeutende Elemente der Ichthyofauna dieses Wattengebiets dar.



**Abbildung 4.01:** Verteilung der beobachteten Gesamt-Fischbiomasse auf die einzelnen Gruppen im Jahresmittel 1993 (April-November)

Die Gesamtliste der im Untersuchungsgebiet vorgefundenen Fischarten gibt die Tabelle 4.01 wieder. Von den 50 zwischen 1991 und 1994 im Nordsylter Wattenmeer vorgefundenen Fischarten wurden nur 21 zu jeder Jahreszeit angetroffen. Ein Teil der seltener angetroffenen Arten, wie Ährenfisch, Sardelle, Streifenbarbe und Roter Knurrhahn gehören einem südlicheren Faunenkreis an und wurden nur in den Sommermonaten gefangen. Eine Kuriosität in dieser Liste stellt der Lachshering (*Maurolicus muelleri*, Gmelin) dar, der in März und April 1993 mit insgesamt 16 Exemplaren in den Hamenfängen und den Fängen des pelagischen Trawls auftrat und dessen eigentlicher Lebensbereich das küstenferne Pelagial in ca. 150m Tiefe ist. Das Auftreten dieser Art ist für die Wattenmeerküste Deutschlands bisher nicht beschrieben worden.

**Tabelle 4.01:** Liste der im Nordsylter Wattenmeer angetroffenen Fischarten

<b>Ganzjährige Arten</b>		<b>W</b>	<b>F</b>	<b>S</b>	<b>H</b>	<b>Aufenthalt</b>	
<i>Aqonus cataphractus</i>	Steinpicker	+	+	+	+	B	
<i>Ammodytes marinus</i>	Kleiner Sandaal	+	+	+	+		BP
<i>Ammodytes tobianus</i>	Kleiner Sandaal	+	+	+	+		BP
<i>Ciliata mustela</i>	5-bärtelige Seequappe	+	+	+	+	B	
<i>Clupea harengus</i>	Hering	+	+	+	+		P
<i>Gadus morhua</i>	Dorsch	+	+	+	+		BP
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	3-stacheliger Stichling	+	+	+	+		BP
<i>Hyperoplus lanceolatus</i>	Großer Sandaal	+	+	+	+		BP
<i>Limanda limanda</i>	Kliesche	+	+	+	+	B	
<i>Merlangius merlangus</i>	Wittling	+	+	+	+		BP
<i>Microstomus kitt</i>	Limande	+	+	+	+	B	
<i>Myoxocephalus scorpius</i>	Seeskorpion	+	+	+	+	B	
<i>Osmerus eperlanus</i>	Stint	+	+	+	+		BP
<i>Pholis gunnellus</i>	Butterfisch	+	+	+	+	B	
<i>Platichthys flesus</i>	Flunder	+	+	+	+	B	
<i>Pleuronectes platessa</i>	Scholle	+	+	+	+	B	
<i>Pomatoschistus microps</i>	Strandgrundel	+	+	+	+	B	
<i>Pomatoschistus minutus</i>	Sandgrundel	+	+	+	+	B	
<i>Sprattus sprattus</i>	Sprotte	+	+	+	+		P
<i>Zoarces viviparus</i>	Aalmutter	+	+	+	+	B	
<b>Fast ganzjährige Arten</b>							
<i>Cyclopterus lumpus</i>	Seehase	o	+	o	o	B	
<i>Anguilla anguilla</i>	Aal		+	+	+	B	
<i>Callionymus lyra</i>	Gestreifter Leierfisch		+	+	+	B	
<i>Solea solea</i>	Seezunge		+	+	+	B	
<i>Trachurus trachurus</i>	Stöcker		+	+	+		P
<i>Trisopterus luscus</i>	Franzosendorsch		+	+	+		BP
<i>Syngnatus rostellatus</i>	Kleine Seenadel		+	+	+	B	
<i>Buglossidium luteum</i>	Zwergzunge		o	+	o	B	
<i>Spinachia spinachia</i>	Seestichling		o	o	o	B	
<i>Syngnatus acus</i>	Große Seenadel		o	o	o	B	
<i>Liparis liparis</i>	Großer Scheibenbauch	o		o	+	B	
<i>Aphia minuta</i>	Glasgrundel	o	o	+		B	
<b>Seltene Arten</b>							
<i>Alosa fallax</i>	Finte			+	o		P
<i>Atherina presbyter</i>	Ährenfisch				o		P
<i>Belone belone</i>	Hornhecht				o		P
<i>Coregonus oxyrhynchus</i>	Nordseeschnäpel				o		P
<i>Engraulis encrasicolus</i>	Sardelle				o		P
<i>Entelurus aequoreus</i>	Große Schlangennadel		o			B	
<i>Eutrigla gurnardus</i>	Grauer Knurrhahn			+	+	B	
<i>Lampetra fluviatilis</i>	Flussneunauge			o	o	B	
<i>Maurolicus muelleri</i>	Lachshering		+				P
<i>Mugil chelo</i>	Meeräsche				o		BP
<i>Mullus surmuletus</i>	Streifenbarbe				o	B	
<i>Pollachius virens</i>	Seelachs				o		BP
<i>Salmo trutta</i>	Forelle		o				P
<i>Scomber scombrus</i>	Makrele				o		P
<i>Scophthalmus maximus</i>	Steinbutt				o	B	
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Glattbutt		o		o	B	
<i>Trigla lucerna</i>	Roter Knurrhahn		o			B	
<i>Taurulus bubalis</i>	Seebull		o		o	B	

o = weniger als 10 Individuen in der Summe der Fänge

Saison: W = Dez-Feb; F = März-Mai; S = Jun-Aug; H = Sep-Nov

Aufenthalt: P = pelagisch; B = benthisch; BP = benthopelagisch

## 4.2 Verteilung der Gadiden

In diesem Kapitel soll zunächst die Verteilung der Räuber im Untersuchungsgebiet betrachtet werden, bevor im nächsten (Kap. 4.3) auf die Verteilung der Beute eingegangen wird. Wenn im Folgenden über Gadiden gesprochen wird, so sind hiermit die zwei im Nordsylder Wattenmeer bei weitem häufigsten Vertreter dieser Familie gemeint, namentlich der Wittling und der Kabeljau. Neben diesen Zweien wurden noch drei weitere Arten der Familie Gadidae in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffen: die Fünfbärtelige Seequappe (*Ciliata mustela*), der Franzosendorsch (*Trisopterus luscus*) und der Köhler (*Pollachius virens*). Ihre Anteile waren jedoch insgesamt sehr gering. So trugen Seequappen nur 0,21% und Franzosendorsche gar nur 0,03% zur Abundanz der Gadiden bei. Der Köhler wurde in nur zwei Exemplaren gefangen. Damit lag die Häufigkeit dieser drei Arten so weit unter der von Wittling und Kabeljau, daß das Datenmaterial für eine eingehende Betrachtung nicht ausreicht und diese Arten in ihrer Rolle als Räuber unberücksichtigt bleiben müssen.

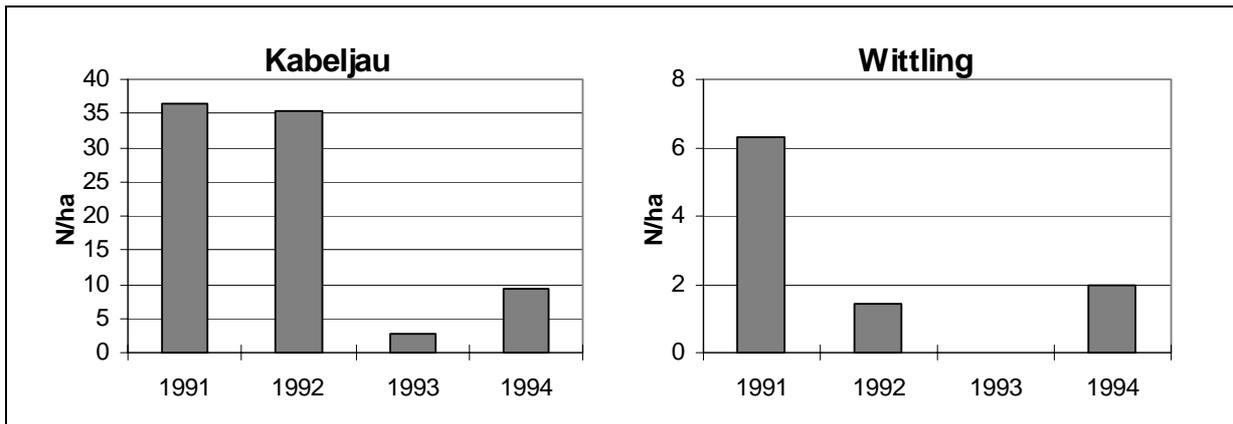
Der räumliche und der zeitliche Aspekt der Verteilung der betrachteten Fischarten sind nicht unabhängig voneinander. Der Übersichtlichkeit halber sollen diese zwei Aspekte der Variabilität im Folgenden dennoch getrennt behandelt werden.

### 4.2.1 Zeitliche Variabilität

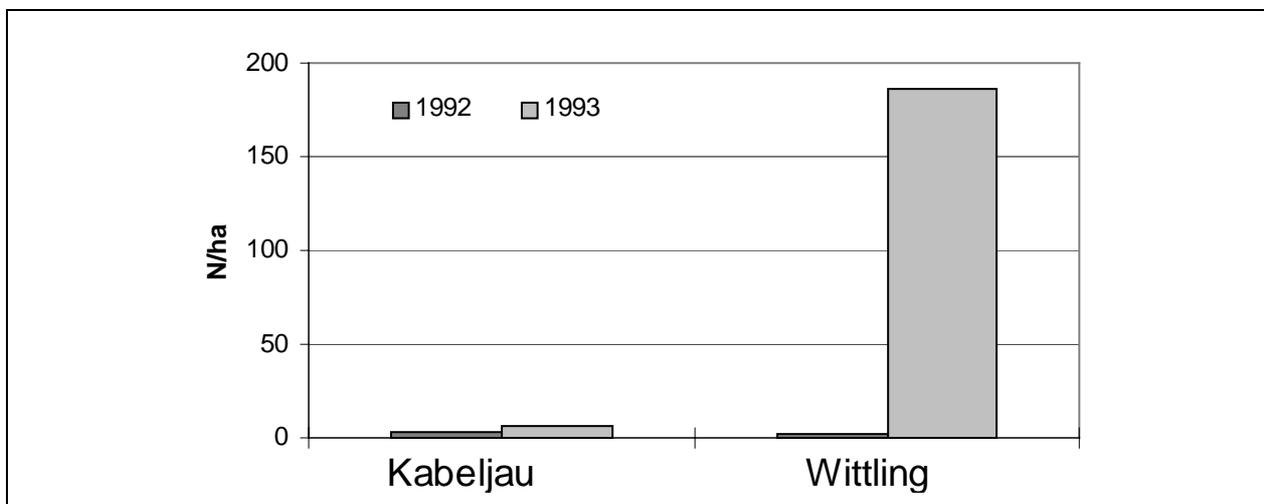
#### Mehrjährige Skala

Die längste Probenserie dieser Untersuchung liegt in Form der Februar-Befischungen der Jahre 1991 bis 1994 mit dem Forschungskatamaran "Mya" vor. In diesem Zeitraum traten Wittling und Kabeljau in sehr unterschiedlichen mittleren Dichten in den Fängen auf (Abbildung 4.02). Hierbei lagen die Abundanzen für den Kabeljau im Spätwinter in allen Jahren um ein Mehrfaches über denen des Wittlings. In der Februar-Befischung 1993 wurde der Wittling gar nicht angetroffen.

Ein Vergleich der Abundanzen in Spätsommer- und Herbst, also zu der Zeit da diese Arten am häufigsten sind (s.u.), ist für die sowohl 1992 als auch 1993 befischten Stationen der Sublitoralserie des Standard-Stationsnetzes (Stationen ST1 bis ST6 auf der Karte in Abb. 3.01) möglich. Die Abbildung 4.03 zeigt, daß sowohl Kabeljau als auch Wittling im Jahr 1993 (6,7 bzw. 185,8 Ind./ha) in deutlich höherer Abundanz im Nordsylder Wattenmeer auftraten als im Vorjahr (3,30 bzw. 1,96 Ind./ha). Beim Kabeljau lag im Mittel dieser Fänge zwischen den Abundanzen der Jahre der Faktor 2. Für den Wittling wurden 1993 im Mittel 95-fach höhere Abundanzen festgestellt. 1993 war ein sogenanntes „Wittlingsjahr“ mit überdurchschnittlich großen Mengen der Altersklasse 0 dieser Art, die ab Sommer in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffen wurden.



**Abbildung 4.02:** Vergleich der in den Februar-Befischungen vorgefundenen mittleren Dichten des Kabeljau und des Wittlings in den Jahren 1991 bis 1994.



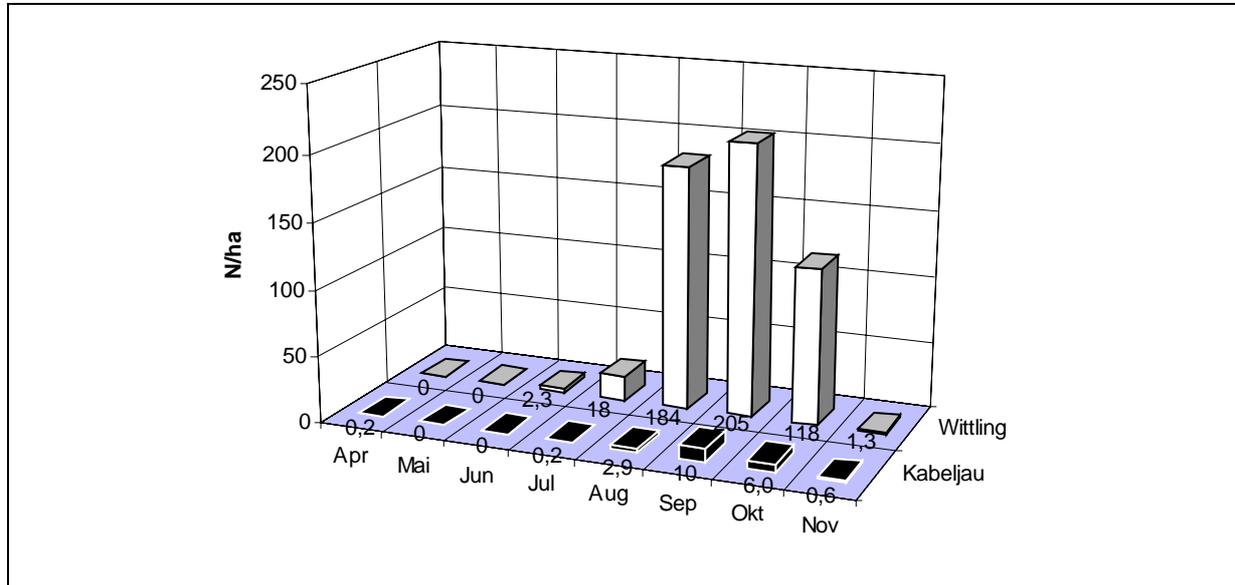
**Abbildung 4.03:** Vergleich der Abundanzen des Kabeljau und Wittlings im Mittel der sowohl 1992 als auch 1993 mit dem Scherbrettnetz beprobten Standard-Stationen (Spätsommer und Herbst).

### Saisonale Skala

Für die Untersuchung der saisonalen Verteilung des Auftretens und der Abundanzen der Gadiden soll das Jahr 1993 betrachtet werden, da aus diesem Jahr die längste und räumlich wie zeitlich dichteste Probenahmeserie vorliegt. Der Kabeljau wurden zu allen Jahreszeiten, nicht aber in jedem beprobten Monat im Nordsylter Wattenmeer angetroffen. Wittlinge hingegen traten in Winter und Frühling 1993 nicht in den Fängen auf.

Kabeljau der Altersklasse (AK) 1 waren in den Fängen der Februar-Befischung und auch in der im März durchgeführten Hamenfischerei-Kampagne vertreten. Letzte Individuen dieser Altersklasse traten noch im April in geringen Zahlen in den Fängen der Sublitoral-Serie des Standardstationsnetzes (ST-Stationen, s. Abb. 3.01) auf. Danach wurden für den Rest des

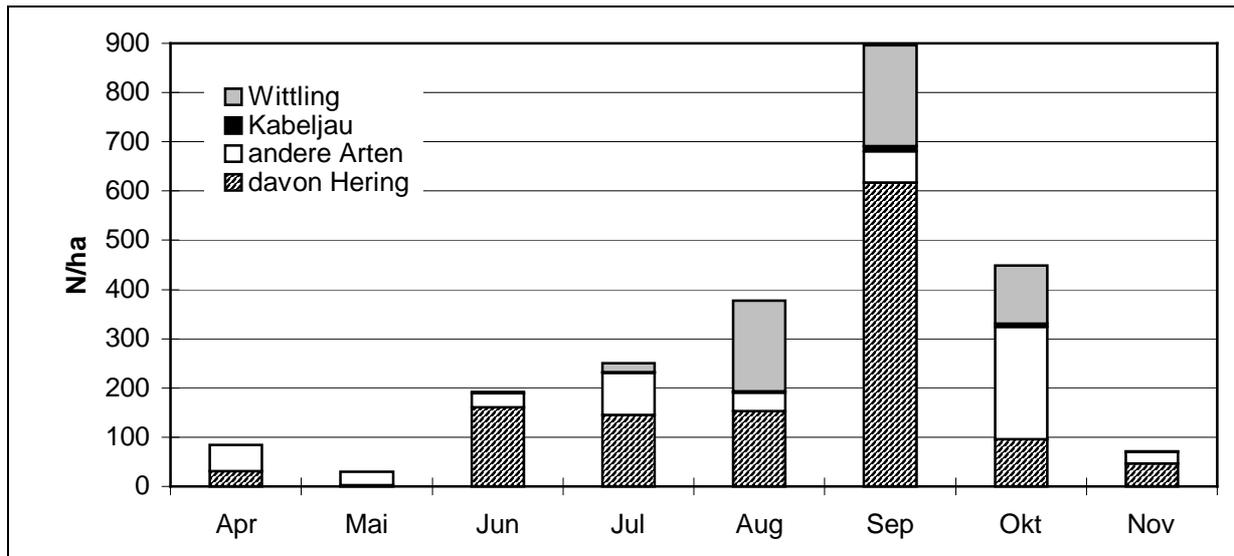
Jahres nur noch Tiere der AK 0 angetroffen, die ab Juli in die Sylt-Rømø-Bucht einwanderten. Das Maximum ihrer Abundanz wurde im September mit 10,8 Ind./ha im Mittel der Stationen der Sublitoral-Serie des Standard-Stationsnetzes erreicht. Mit abnehmender Abundanz wurde der Kabeljau bis November angetroffen (Abbildung 4.04).



**Abbildung 4.04:** Saisonaler Verlauf der Abundanz von Kabeljau und Wittling im tiefen Sublitoral des Nordsylter Wattenmeers 1993.

Erste Individuen der AK 0 des Wittlings erreichten im Juni, also einen Monat vor dem Kabeljau, die Sylt-Rømø-Bucht (Abbildung 4.04). Von diesem Zeitpunkt an nahmen die Abundanzen stark zu und erreichten im September mit 228,4 Ind./ha im Mittel der Stationen der Sublitoral-Serie des Standard-Stationsnetzes das Maximum, um von da an bis November wieder stark abzunehmen. 1993 trat die AK 1 des Wittlings im Frühjahr nicht in den Fängen auf, wohingegen sie im Jahr 1992 noch bis Anfang Mai in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffen worden war.

Beide Arten zeigten einen ähnlichen Abundanzverlauf mit einer Einwanderung im Sommer, einem Maximum im September und einer Abwanderung zum Winter. Durch das massive Auftreten des Wittlings im Jahr 1993 machten sie zeitweilig einen Großteil der Gesamt-Fischabundanz aus (Abbildung 4.05). Neben dem Hering dominierten Wittling und Kabeljau in den Tiefs und Prielen zumindest zeitweise die Zusammensetzung der Fischartengemeinschaft. Sie waren von den Arten, die als Raubfische für die Sandgarnele und Sandgrundel in Frage kamen, bei weitem die häufigsten.



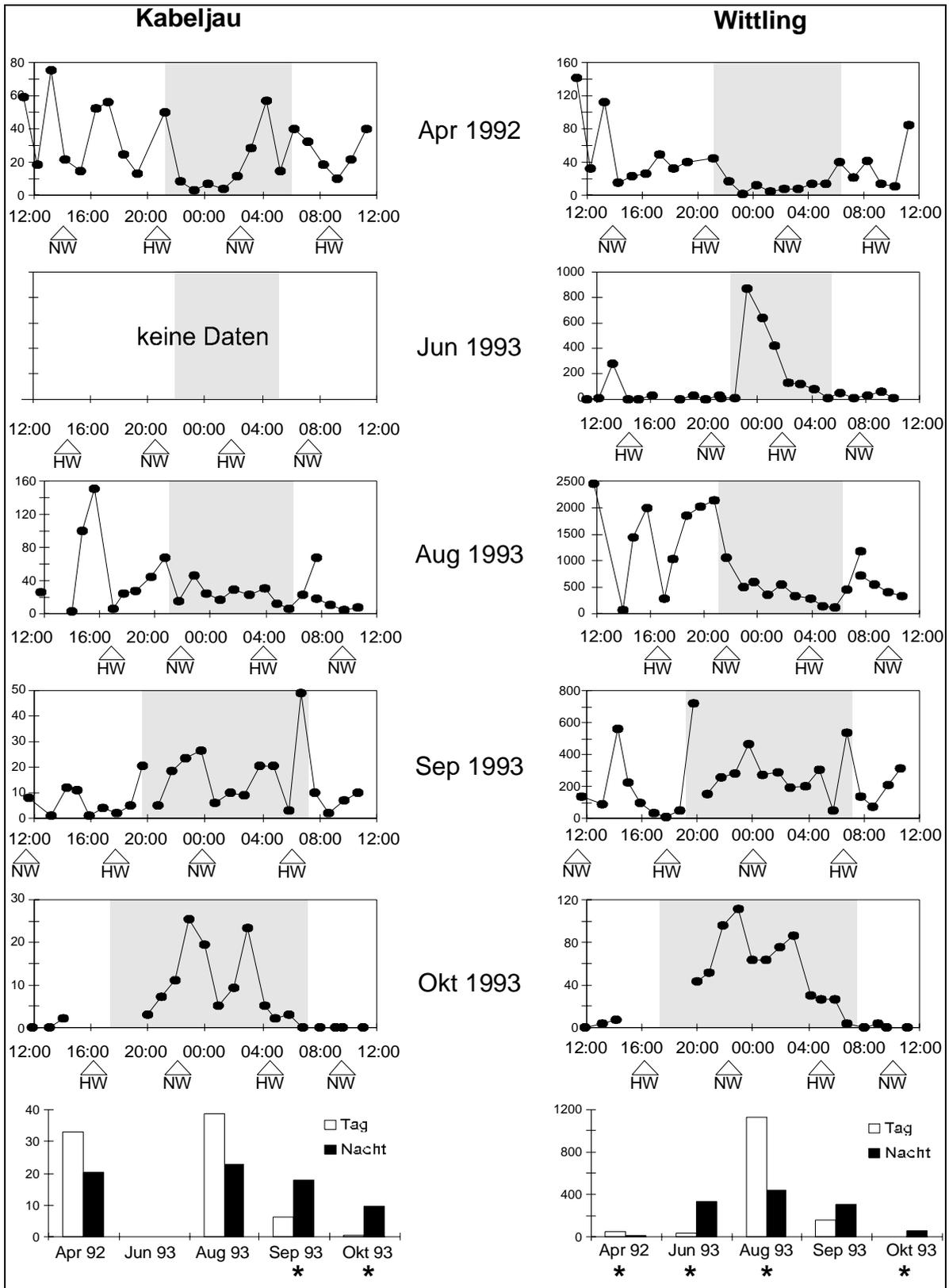
**Abbildung 4.05:** Saisonaler Verlauf des Anteils von Kabeljau und Wittling an der Gesamt-Fischabundanz aus den Schleppnetzfangen des Standardstationsnetzes (ST1-ST6) in 1993

#### Diurnale und tidale Skala

Eine Variabilität der Fänge von Gadiden im Tagesgang konnte sowohl bei den mit den Scherbrettnett durchgeführten 24-Stunden-Fischereien (s. Tab. 3.02), als auch bei der Hamenfischerei-Kampagne im Oktober 1993 beobachtet werden. Aus den 24-Stunden-Fischereien stammen hierbei die dichtesten Datenserien. Es zeigte sich, daß die Fänge von Wittling und Kabeljau sowohl nachts, als auch tagsüber höher sein können (Abbildung 4.06 und 4.07). Dabei ist auffällig, daß in allen 24-Stunden-Fischereien in denen sowohl Wittling als auch Kabeljau beprobt werden konnten, das Vorzeichen der Differenz zwischen der mittleren Tages- und der mittleren Nachtabundanz jeweils für beide Arten gleich war.

Signifikant höher waren die nächtlichen Abundanzen des Wittlings im Juni und Oktober 1993. Signifikant größere Tagfänge traten hingegen im April 1992 und August 1993 auf. Für den Kabeljau wurden größere Abundanzen am Tage im April 1992 und August 1993 beobachtet und größere nächtliche Dichten im Oktober statistisch abgesichert.

Für den Oktober 1993 liegen für den Wittling zusätzlich Daten aus den Hamenfängen vor. Mit diesem Gerät wurden im mittleren Nachtfang 2,3-fach höhere Wittlingsabundanzen festgestellt als im mittleren Tagfang (Ergebnis aus 17 Fängen, davon 9 Nachtfänge). Dies deckt sich mit den höheren nächtlichen Fängen der 24-Stunden-Fischerei des selben Monats.



**Abbildung 4.06** (links) und **Abbildung 4.07** (rechts): Verlauf der Abundanzen von Kabeljau und Wittling in den 24-Stunden-Fischereien. Nachtzeiten grau hinterlegt; alle Ordinaten in Ind./ha. Untere Reihe: Vergleich der mittleren Abundanz bei Tag und Nacht; \* = signifikante Unterschiede der Mittelwerte im Mann-Whithney-Test für nicht-parametrische unabhängige Stichproben ( $p < 0,05$ ).

Eine augenfällige Abhängigkeit der Abundanzen vom Tidenstand ist in den Fängen der einzelnen 24-Stunden-Fischereien (Abbildungen 4.06 und 4.07) nicht zu entdecken. Daher war es notwendig, die Daten mehrerer 24-Stunden-Fischereien zusammen auf diesen Aspekt hin zu untersuchen. Um einen (von der Gesamtmenge der in der jeweiligen 24-Stunden-Fischerei gefangenen Fische unabhängigen) Einblick in die Verteilung der Fänge auf die Tag/Nacht und Ebbe/Flut-Kombinationen zu bekommen, wurde für jede 24-Stunden-Fischerei die Summe der mittleren Abundanzen aller vier Tiden/Tageszeit-Kombinationen als 100(%) ausgedrückt. Dann wurde der prozentuale Anteil jeder Tiden/Tageszeit-Kombination hieran berechnet. Hierdurch wurden unterschiedliche Tageslängen und ausgefallene Hols etc. berücksichtigt, da so für einen hypothetischen Tag mit gleich langen Tiden/Tageszeit-Kombinationen extrapoliert wurde. Abschließend wurde der Mittelwert der Anteile der jeweiligen Kombinationen über alle 24h-Fischereien, in denen die betrachtete Art vorkam, gebildet. Diese Mittelwerte finden sich in Tabelle 4.02. Die Berechnungen wurden zweifach durchgeführt: zum einen wurde der tidale Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser, zum anderen zwischen auf- und ablaufendem Wasser gemacht. Letzterer war größer.

**Tabelle 4.02:** Relative Bedeutung von Tag, Nacht, Ebbe und Flut für die Fänge von Wittling und Kabeljau in den 24h-Fischereien.

<b>Wittling (N=30.415)</b>			
		Diurnale Unterschiede	Tidale Unterschiede
Tag/Flutstrom	19,2	41,2 (Tag)	58,0 (Flutstrom)
Nacht/Flutstrom	<b>38,8</b>		
Tag/Ebbstrom	22,0	58,8 (Nacht)	42,0 (Ebbstrom)
Nacht/Ebbstrom	20,0		
<b>Differenz</b>		<b>17,6</b>	<b>16,0</b>

<b>Kabeljau (N=1.663)</b>			
		Diurnale Unterschiede	Tidale Unterschiede
Tag/Flutstrom	22,0	39,75 (Tag)	61,5 (Flutstrom)
Nacht/Flutstrom	<b>39,5</b>		
Tag/Ebbstrom	17,75	60,25 (Nacht)	38,5 (Ebbstrom)
Nacht/Ebbstrom	20,75		
<b>Differenz</b>		<b>20,5</b>	<b>23,0</b>

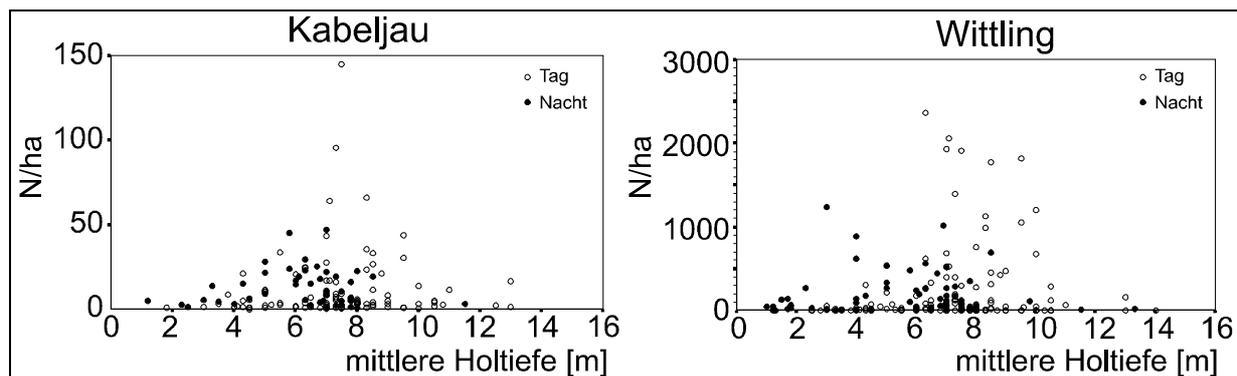
Der Tabelle ist zu entnehmen, daß, über alle 24-Stunden-Fischereien hinweg betrachtet, bei Nacht im Mittel die relativ höheren Abundanzen auftraten. Ebenfalls gilt für beide Arten, daß bei auflaufendem Wasser größere Fänge zu erwarten waren als bei ablaufendem Wasser. Des weiteren wird deutlich, daß für beide Arten der Einfluß von Tageszeit und Tide jeweils etwa gleich groß ist. Für beide Arten ist die Wirkrichtung und -stärke der beiden Faktoren Tageszeit und Tide also gleich.

## 4.2.2 Räumliche Verteilung

Auch die räumliche Verteilung der Fische ist auf unterschiedlichen Skalen beobachtbar. Die größte Skala (An- oder Abwesenheit in der Sylt-Rømø-Bucht) wurde weiter oben im Zusammenhang mit der Saisonalität des Auftretens bereits erwähnt (Abb. 4.04). Zu Zeiten ihrer Anwesenheit im Nordsyler Wattenmeer sind für beide Arten horizontale und vertikale Verteilungsmuster darstellbar.

### Vertikalverteilung

Die Vertikalverteilung von Wittling und Kabeljau ließ sich aus den vorgefundenen Abundanzen in den Fängen des Scherbrettnetzes ablesen (Abbildung 4.08). Die Fänge, die die größeren Abundanzen an Gadiden enthielten, wurden vorwiegend in Tiefen zwischen 5 und 10m durchgeführt. Bei nächtlichen Fängen war dieser Tiefenbereich etwas nach oben verschoben und lag etwa zwischen 4 und 8m Tiefe.

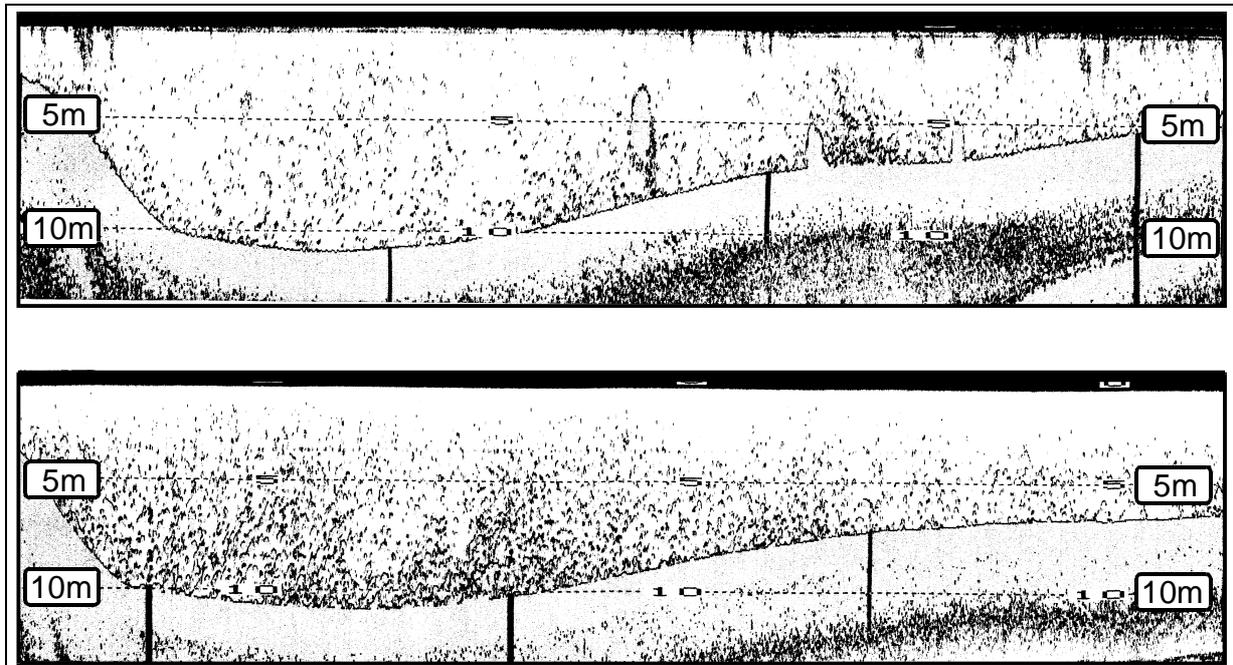


**Abbildung 4.08:** Verteilung der Abundanzen von Kabeljau und Wittling über die mittlere Hottiefe aller Schleppnetzholts, die die jeweilige Art enthielten. Kabeljau: N=168; Wittling: N=229

Oberhalb von 4m Wassertiefe war die Mehrzahl der Scherbrettnetzfüge in denen überhaupt Kabeljau oder Wittling angetroffen wurden nächtliche Fänge, obwohl in dieser Tiefenstufe insgesamt deutlich mehr Tagfänge durchgeführt worden waren (s. Abb. 3.04). So wurden in 1993 in 9% aller Tagfänge dieser Tiefenstufe Kabeljau und in 52% Wittlinge festgestellt. Bei den Nachtfängen stiegen diese Anteile aber auf 29% für den Kabeljau und 100% für den Wittling.

Dieses nächtliche Aufsteigen der Fische konnte auch auf den Aufzeichnungen mit dem Schreiber-Echolot festgehalten werden, von denen ein Beispiel in Abbildung 4.09 wiedergegeben ist. Bei diesen Querschnittaufzeichnungen war das Pandertief zweimal am selben Ort im Abstand von 12 Stunden, jeweils kurz vor Niedrigwasser, von Nordost nach Südwest überquert worden. Auf der am Tage entstandenen Aufzeichnung sind in der rechten Bildhälfte kompakte Heringschwärme in 4-7m Tiefe zu erkennen. Nahe dabei finden sich

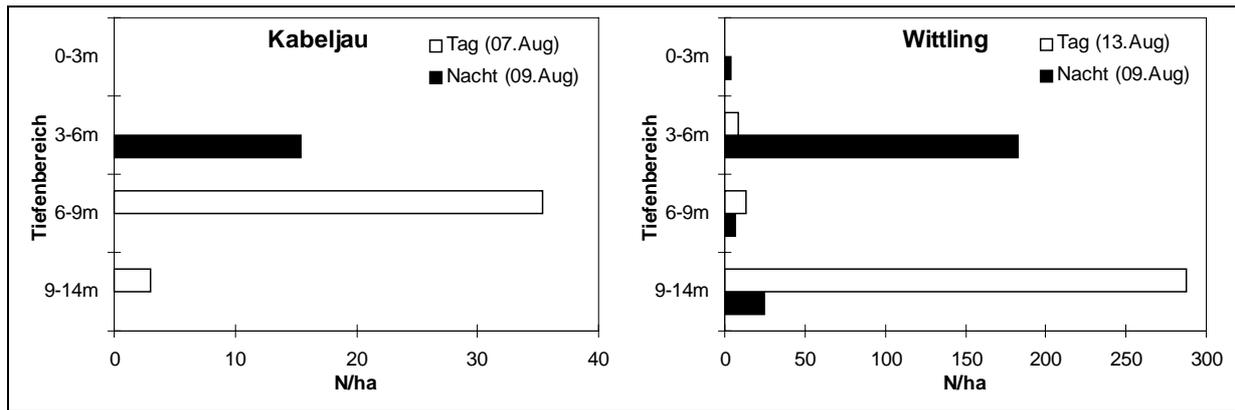
relativ bodennah dichte Aggregationen juveniler Gadiden. Auf der zur Nachtzeit entstandenen Aufzeichnung fällt die recht gleichmäßige insgesamt dichtere Verteilung der Fische auf, wobei die obersten 2m etwas dünner bevölkert scheinen als der darunter liegende Teil der Wassersäule. In nachfolgenden Schleppnetzfangen konnte am Tage wie nachts abgesichert werden, daß es sich bei diesen Fischen um juvenile Gadiden und zum kleineren Teil um Stinte handelte. Heringe traten in den nächtlichen Fängen nicht mehr auf.



**Abbildung 4.09:** Zwei Echolot-Querschnittaufzeichnungen des Pandertiefs am 13/14.8.1993 um 16:00h (oben) und 04:00h (unten). Fahrgeschwindigkeit 2kn (1m/s); die Abstände zwischen den senkrechten schwarzen Balken entsprechen 2 Minuten, also einer Distanz von 120m.

Daß dieses Phänomen der Loslösung vom Grund von der Lichtintensität abhängig ist, konnte bei einem Echolot-Längsschnitt durch Pandertief und Lister Ley festgestellt werden, der über die Abenddämmerung hinaus durchgeführt wurde und bei dem der Aufstieg selbst in der Aufzeichnung festgehalten werden konnte.

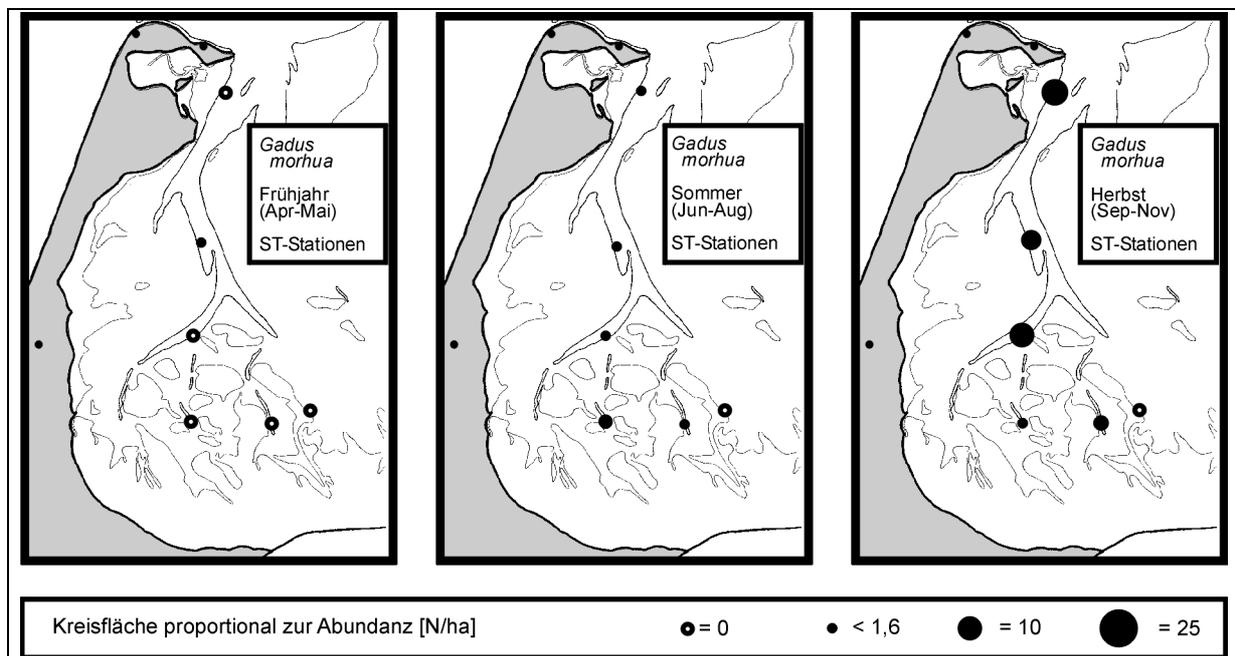
Aus den tiefenstratifizierten Befischungen ergab sich ebenfalls das Bild einer nach oben gerichteten Veränderung der Vertikalverteilung der Gadiden zur Nacht. In diesem Fall waren die Abundanzen nachts insgesamt geringer als tagsüber, was dem Befund der 24-Stunden-Fischerei aus dem selben Monat entspricht (Abbildung 4.10).



**Abbildung 4.10:** Tiefenverteilung der Abundanzen von Kabeljau und Wittling an Tag und Nacht aus tiefenstratifizierten Probenahmen mit dem Scherbrettnetz.

### Horizontalverteilung

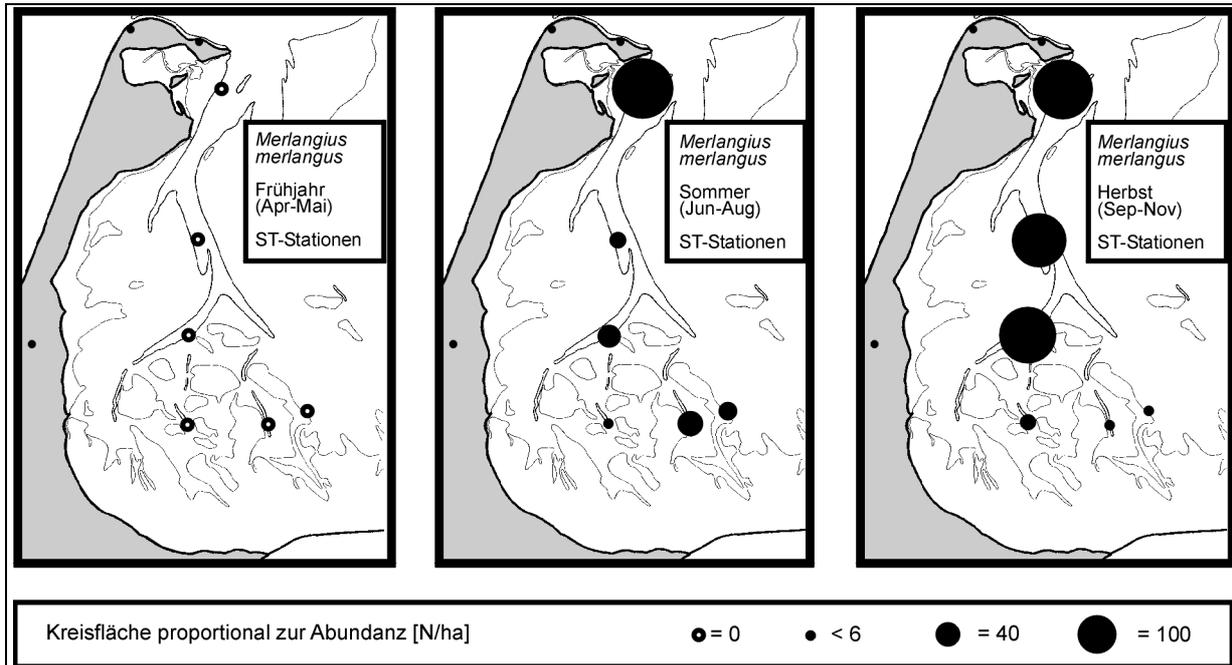
Die Horizontalverteilung von Kabeljau und Wittling im Nordsylter Wattenmeer war im wesentlichen von der Morphologie des Untersuchungsgebiets in Verbindung mit der für die Vertikalverteilung beschriebenen Tiefenpräferenz bestimmt. Bei den Befischungen Standardstationsnetzes wurden beide Arten weder im Eulitoral (CS-Stationen in Abb. 3.01) noch in der im flachen Sublitoral (SF-Stationen) durchgeführten Serie des Standard-Stationennetzes angetroffen.



**Abbildung 4.11:** Horizontalverteilung der Abundanzen des Kabeljau auf den Stationen des tiefen Sublitorals des Standardstationsnetzes in drei Jahreszeiten 1993.

Zumindest bei der letztgenannten Serie liegt dies nicht am Fanggerät, da die 2-Meter-Kurre in der Tiefe durchaus Wittling und Kabeljau erfaßte, wie aus Parallelbefischungen mit beiden Geräten geschlossen werden konnte. Aber auch innerhalb der Serie der tieferen

Sublitoralstationen (ST-Stationen) konnte ein Muster der Horizontalverteilung festgestellt werden, das sich für beide Arten wiederum ähnelte (Abb. 4.11 u. 4.12).



**Abbildung 4.12:** Horizontalverteilung der Abundanzen des Wittlings auf den Stationen des tiefen Sublitorals des Standardstationsnetzes in drei Jahreszeiten 1993.

Kabeljau (Abbildung 4.11) war, wie oben erwähnt, auch im Frühjahr in der Sylt-Rømø-Bucht vertreten. Allerdings in sehr geringen Anzahlen und auf nur einer Station des Standardstationsnetzes. Im Sommer war die Horizontalverteilung der gefundenen Fische gleichmäßiger und die Art trat auf fast allen Stationen in ähnlicher Abundanz auf. Im Herbst zeichnete sich ab, daß der Kabeljau sich vorzugsweise in den Tiefs (Lister Tief, Lister Ley und Pandertief) aufhielt und daß die Abundanzen in den Prielen deutlich geringer blieben.

Beim Wittling (Abbildung 4.12) war dieses horizontale Verteilungsmuster im Herbst noch deutlicher ausgeprägt. Die Abundanzen auf den Stationen in den Tiefs lagen hier um ein mehrfaches über denen der südlichen Priele. Ein weiteres ausgeprägtes Phänomen der Horizontalverteilung war im Frühsommer erkennbar: die soeben in das Nordsylder Wattenmeer eingewanderten Wittlinge konzentrierten sich zunächst auf der Wattseite des Lister Tiefs in der Nähe der Station ST1 (s. Abb. 3.01). Hier wurden in Juni, Juli und August in einem sehr kleinen Gebiet im Nehrwirbel des Flutstroms südlich des Ellenbogens extrem hohe Abundanzen von bis zu 2370 Individuen/ha festgestellt. Wie der Kabeljau ist auch der Wittling im Herbst in den Tiefs in höheren Abundanzen anzutreffen als in den Prielen im Süden des Untersuchungsgebiets

Inwieweit sich die nächtlich aufsteigenden Wittlinge bei Hochwasser von den Tiefs und ihren Rändern entfernten und auf die Platen wanderten, konnte nicht abschließend geklärt

werden. In den Fängen der 5000m<sup>2</sup>-Einschließungsanlage, die im Oktober 1991 auf der Plate im Königshafen betrieben wurde, waren Wittlinge weder tagsüber noch nachts vertreten, so daß für diese Zeit und diesen Ort keine eine nächtliche Wanderung auf die Platen nicht nachgewiesen werden konnte. 1990, in der Vorlaufphase des Projekts aus dem die hier beschriebenen Daten stammen, waren an der selben Stelle mit diesem Gerät nachts größere Fänge juveniler Wittlinge gemacht worden. Nächtliche Schleppnetzfüge auf den Platen wurden auch aus Sicherheitsgründen insgesamt in zu geringer Zahl durchgeführt, um Aussagen zur Dichte zu erlauben. Nur für das flache Sublitoral, das bei der abgebrochenen 24-Stunden-Fischerei vom 20./21. Juli 1993 in der oberen Westerley nachts befishet wurde, kann eine Angabe gemacht werden. Hier wurde in den geringen Tiefen zwischen 1m und 2,5m in 5 nächtlichen Hols Abundanzen zwischen 30 und 145 Wittlingen pro Hektar gefunden, also Dichten vergleichbar denen, die tagsüber in den Tiefs angetroffen wurden. Wittlinge können somit nachts in größeren Mengen in sehr flachen Bereichen der Bucht auftreten. Inwieweit sie dies regelmäßig tun muß dahingestellt bleiben.

### 4.3 Verteilung der Sandgarnele und der Sandgrundel

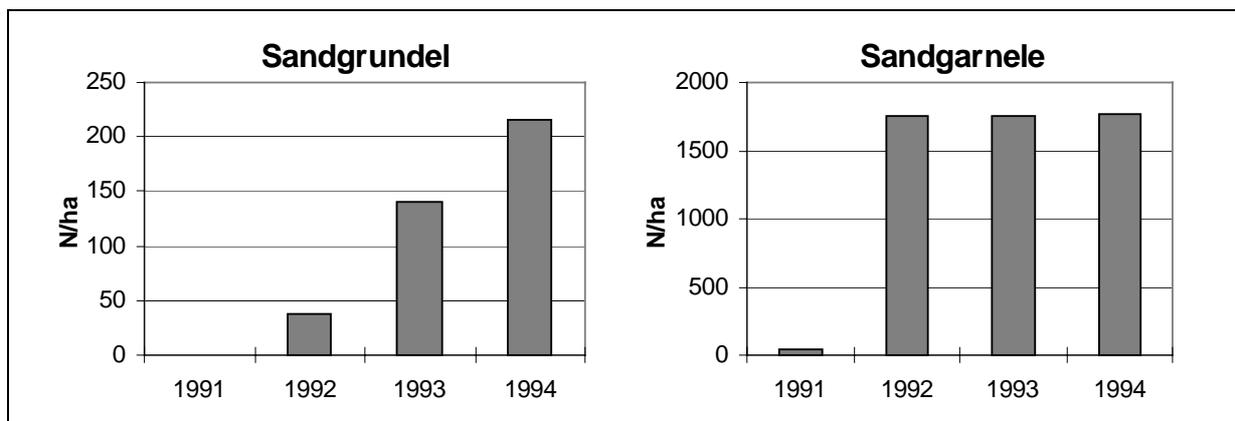
Wie schon für die Gadiden, so gilt auch für ihre Beute, daß räumliche und zeitliche Aspekte der Verteilung dieser Arten in der Sylt-Rømø-Bucht letztlich nicht vollständig voneinander zu trennen sind. Dennoch sollen sie hier zunächst getrennt behandelt werden.

#### 4.3.1 Zeitliche Variabilität

##### Mehrjährige Skala

Im Vergleich der Februar-Befischungen (Abbildung 4.13) fällt der starke gleichförmige Anstieg in der Abundanz von Sandgrundeln zwischen 1991 - wo kein einziges Individuum dieser Art angetroffen wurde - und 1994 auf. Zwischen den Abundanzen der letzten drei Jahre liegt der Faktor 3,7 bzw. 1,5.

Bei der Sandgarnele lagen die Werte für die Jahre 1992 bis 1994 sehr nahe beieinander. In 1991 waren mit im Mittel nur 46 gefangenen Tieren pro Hektar befischter Fläche ganz außergewöhnlich geringe Dichten registriert worden.

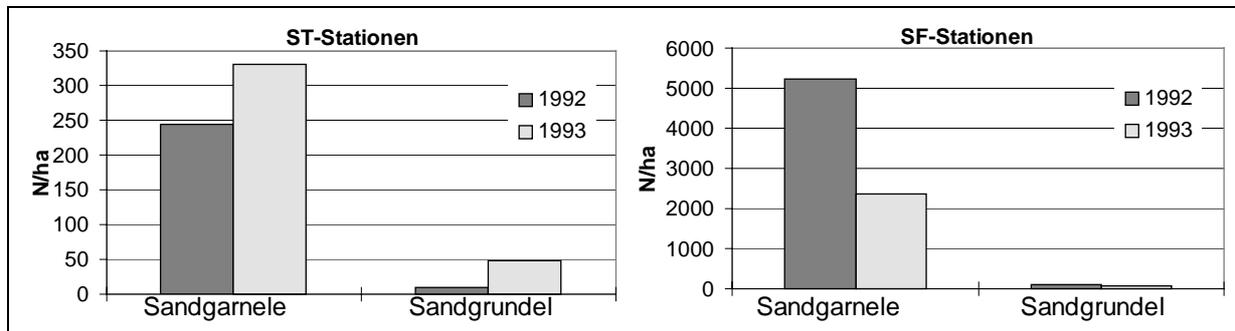


**Abbildung 4.13:** Vergleich der in den Februar-Befischungen vorgefundenen mittleren Dichten der Sandgrundel und der Sandgarnele in den Jahren 1991 bis 1994.

Ein Vergleich der Spätsommer- und Herbstabundanzen auf den in 1992 und 1993 befischten Stationen der Sublitoralserie, wie er weiter oben schon für die Gadiden durchgeführt wurde, zeigt für beide Arten in diesem Stratum einen Anstieg der Werte (Abbildung 4.14 links). Bei der Sandgarnele wurden 1993 1,4-fach und bei der Sandgrundel 5-fach höhere Abundanzen festgestellt.

Ein hierzu widersprüchliches Bild ergibt die Halbierung der Abundanzen sowohl der Sandgarnele als auch der Sandgrundel im Vergleich zwischen 1992 und 1993, wenn die mit der 2-Meter-Kurre befischten Stationen des tiefen Eulitorals und flachen Sublitorals (SF-

Stationen) betrachtet werden (Abbildung 4.14 rechts). Diese Abnahme betrifft vorwiegend die kleineren Größengruppen beider Arten, wie weiter unten zum Thema der tiefenabhängigen Längen/Häufigkeits-Verteilung ausgeführt werden wird.



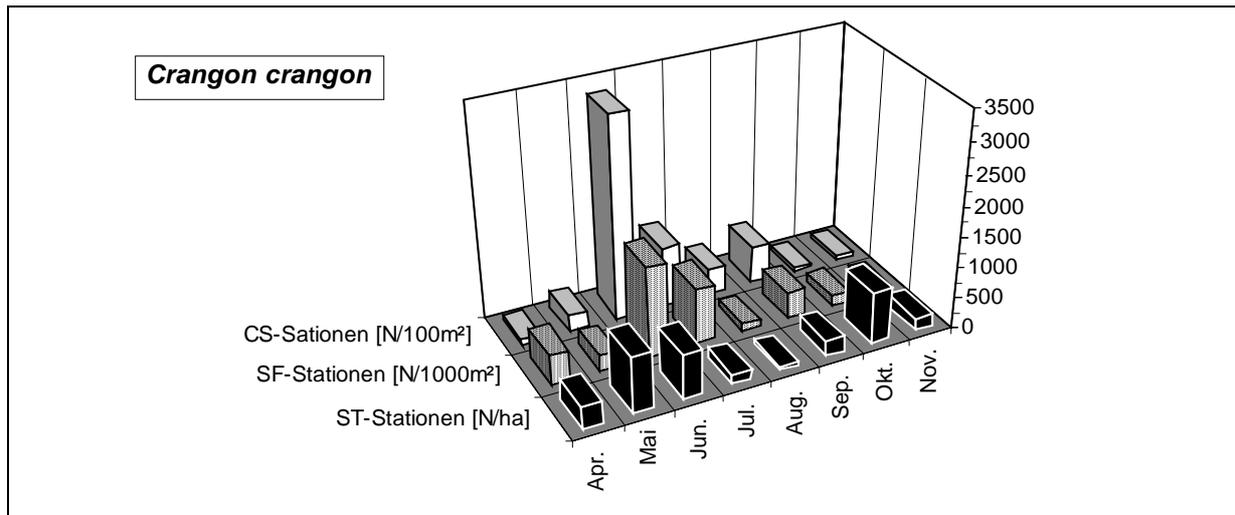
**Abbildung 4.14:** Vergleich der Abundanzen der Sandgarnele und der Sandgrundel im Mittel der in Spätsommer und Herbst 1992 und 1993 mit dem Scherbrettnetz im tiefen Sublitoral (links) und der mit der 2-Meter-Kurre im flachen Sublitoral und tiefen Eulitoral (rechts) beprobten Standard-Stationen.

### S a i s o n a l e S k a l a

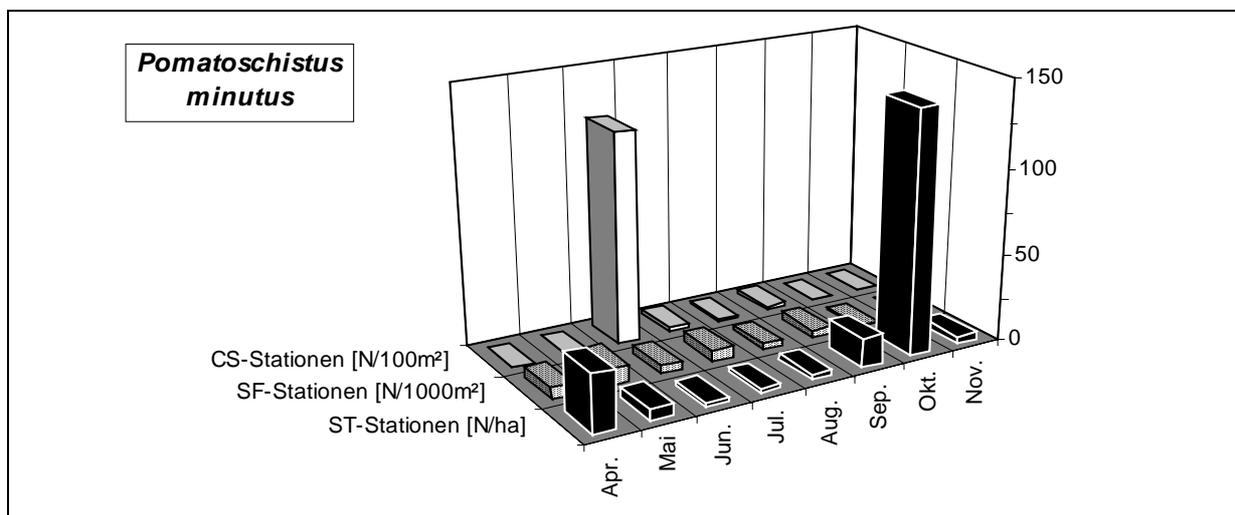
Beide Arten, die Sandgarnele wie auch die Sandgrundel, wurden zu allen Jahreszeiten in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffen. Dabei variierte die Abundanz im saisonalen Verlauf in den drei Tiefenstrata allerdings stark.

Die Sandgarnele (Abbildung 4.15), die nur in sehr wenigen Proben überhaupt nicht enthalten war, zeigte einen saisonalen Abundanzverlauf, der im flachen Eulitoral wesentlich durch die Rekrutierung geprägt war. Hier wurden im Juni die größten Garnelendichten überhaupt mit bis zu 33 Ind./m<sup>2</sup> im Mittel der CS-Stationen des oberen Eulitorals erreicht. Auf der Station CS3 am Süden der Bucht, wo die Rekrutierung besonders stark ausfiel, traten dabei Abundanzen von über 82 Ind./m<sup>2</sup> auf (s. a. Horizontalverteilung, Abb. 4.27). In allen drei durch die Standardstationen abgedeckten Tiefenstrata zeigte sich für die Sandgarnele eine Zunahme der Abundanzen im Frühjahr und eine kräftige Abnahme zum November. Zudem wiesen alle Serien ein Minimum der Abundanzen im August auf. Weiterhin ist auffällig, daß die Variabilität mit zunehmender Tiefe geringer wurde, die saisonale Bestandsschwankung im Flachwasser also am größten war.

Auch der saisonale Verlauf der Abundanzen der Sandgrundel war durch die Ankunft der Rekruten geprägt (Abbildung 4.16). Im Juni wurden im Eulitoral Dichten von 274 Ind./100m<sup>2</sup> erreicht. In April, Oktober und November wurden hier keine Sandgrundeln angetroffen. Im tiefen Sublitoral wurden zwei Maxima verzeichnet, eines im April mit 33 Ind./ha und eines im Oktober mit 140 Ind./ha. Auf den SF-Stationen lagen die Abundanzen zwischen 3,4 und 9,9 Ind./1000m<sup>2</sup> mit einer deutlichen Abnahme der Werte gegen Oktober/November. Demnach verlassen auch die Sandgrundeln die Flachwasserbereiche gegen Winter.



**Abbildung 4.15:** Saisonaler Abundanzverlauf der Sandgarnele auf den drei Tiefenstrata des Standardstationsnetzes in 1993. Die Abundanzwerte auf den drei Stationsserien sind in unterschiedlichen Einheiten angegeben.



**Abbildung 4.16:** Saisonaler Abundanzverlauf der Sandgrundel auf den drei Tiefenstrata des Standardstationsnetzes in 1993. Die Abundanzwerte auf den drei Stationsserien sind in unterschiedlichen Einheiten angegeben.

### Diurnale und tidale Skala

In den 24-Stunden-Fischereien, in denen die Fänge von Sandgarnelen und Sandgrundeln ausgewertet wurden, zeigt sich für beide Arten ein eindeutiges Bild der Tag- und Nachtverteilung der Abundanz (Abbildungen 4.17 und 4.18). Beide Arten wurden nachts jeweils in deutlich größeren Mengen gefangen als tagsüber.

Dies wurde in allen 24-Stunden-Fischereien beobachtet und in allen 24-Stunden-Fischereien waren die Unterschiede der Mittelwerte der Abundanz zwischen Tag und Nacht signifikant. Bei der Sandgarnele lag der nächtliche Mittelwert der Abundanz um das 5- und 10-fache höher als der am Tage erreichte. Für die Sandgrundel lagen diese Faktoren zwischen

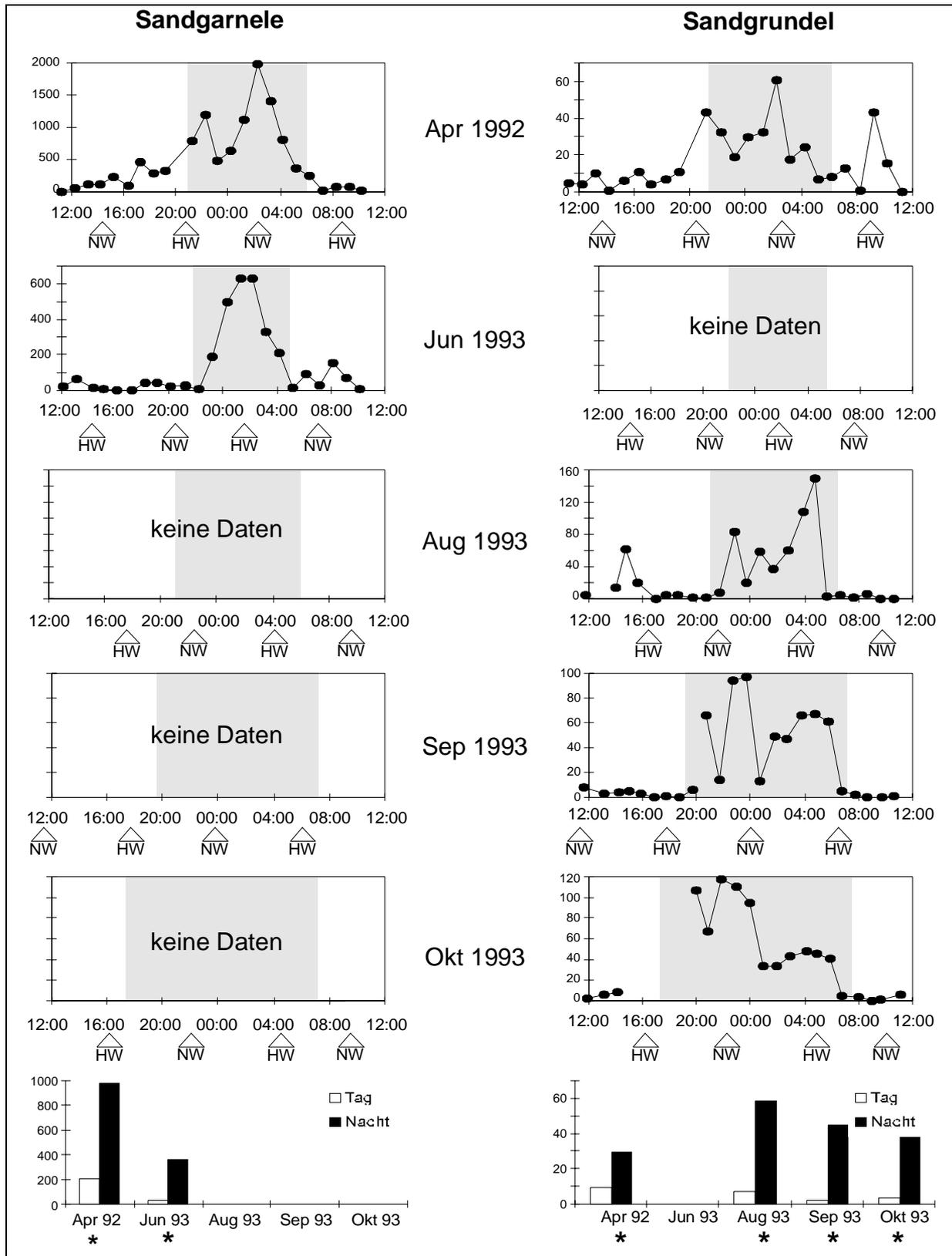
3 und 20. Hierbei waren die Variationskoeffizienten nachts deutlich geringer als am Tage, was auf eine gleichmäßigere Verteilung hindeutet. Ein tidaler Einfluß auf die Höhe der Abundanzen ließ sich in den 24-Stunden-Fischereien nicht erkennen.

**Tabelle 4.03:** Verteilung der prozentualen Anteile des Einheitsfangs (s. Kap. 3.3) auf die unterschiedlichen Tageszeit/Tiden-Kombinationen in den Hamenfischerei-Kampagnen 1993 und 1994 jeweils für Sandgarnele und Sandgrundel. T=Tag; N=Nacht; E=Ebbstrom; F=Flutstrom

Hamen-Kampagne / Art	Anzahl	T/E	T/F	N/E	N/F
04.-16. März 1993 (3x2m-Hamen)	32 Hols	8 Hols	8 Hols	8 Hols	8 Hols
Sandgrundel	457	2 %	16 %	9 %	73 %
Sandgarnele	10635	11 %	7 %	36 %	46 %
17.-23. August 1993 (3x2m-Hamen)	20 Hols	8 Hols	6 Hols	2 Hols	6 Hols
Sandgrundel	29	0 %	0 %	20 %	80 %
Sandgarnele	1326	1 %	0 %	85 %	14 %
12.-17. Oktober 1993 (3x2m-Hamen)	17 Hols	4 Hols	4 Hols	4 Hols	5 Hols
Sandgrundel	79	6 %	0 %	18 %	76 %
Sandgarnele	150	19 %	28 %	31 %	22 %
07.-09. März 1994 (7x3m-Hamen)	8 Hols	2 Hols	1 Hol	2 Hols	3 Hols
Sandgrundel	17	0 %	15 %	8 %	77 %
Sandgarnele	511	3 %	37 %	8 %	52 %

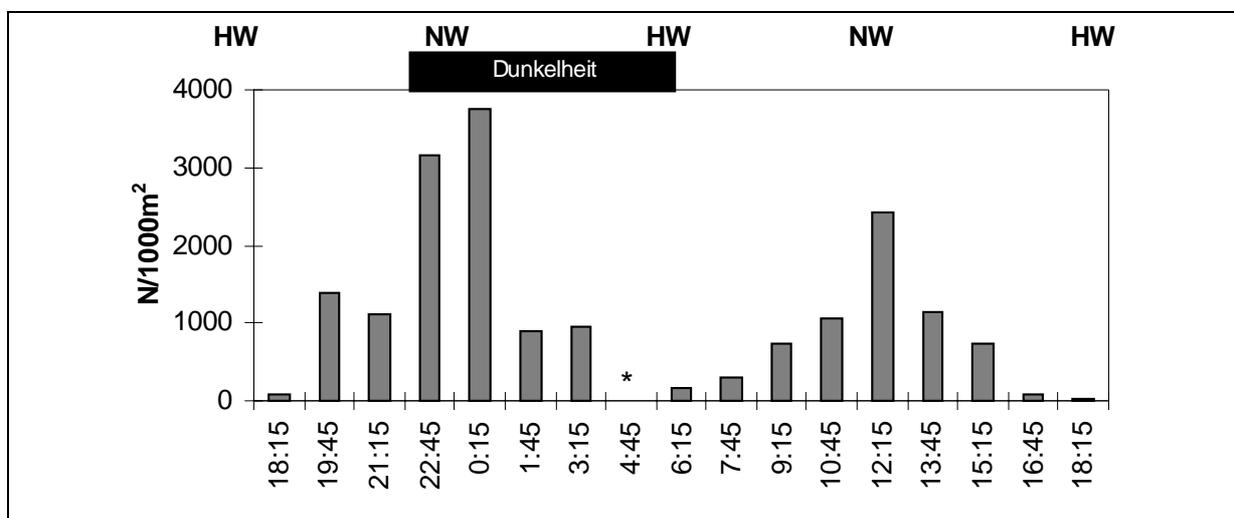
In den Hamenfischerei-Kampagnen im Lister Tief wurden ebenfalls nachts mehr Sandgarnelen und Sandgrundeln gefangen als tagsüber. Die Ergebnisse dieser Fänge in bezug auf den prozentualen Anteil der Tag/Tiden-Kombination am jeweiligen Einheitsfang dieser zwei Arten sind der Tabelle 4.03 zu entnehmen. Der Anteil der nächtlichen Fänge am Einheitsfang der Sandgrundel lag zwischen 82% und 100%, im Mittel bei 90%, also jeweils deutlich höher als der Anteil der am Tage durchgeführten Fänge. Für die Sandgarnele lagen diese Werte zwischen 53% und 99%, im Mittel bei 74%. Beide Arten treten demnach in der Nacht verstärkt im Pelagial der Sylt-Rømø-Bucht auf, wo sie vom Hamen erfaßt werden können, ein Phänomen das auch für junge Schollen festgestellt wurde. Alle drei Arten sind bei den herrschenden Strömungsgeschwindigkeiten nicht in der Lage sich gegen die Strömung zu halten, werden also nachts in großen Zahlen im Pelagial passiv verdriftet.

In den Fängen der Hamenfischerei konnte auch - im Gegensatz zu den 24-Stunden-Fischereien - ein Einfluß der Tide auf den Fangertag festgestellt werden. So lagen für die Sandgrundel die Summen der Anteile in des Flutstroms in allen Befischungen deutlich höher als jene des Ebbstroms, was für die Zeiten der Hamenfischereien auf einen Nettotransport von Grundeln in die Bucht hinein schließen läßt. Für die Sandgarnele ergab sich kein einheitliches Bild hinsichtlich eines Nettotransports.



**Abbildung 4.17:** (links) und **Abbildung 4.18** (rechts): Verlauf der Abundanzen von Sandgarnele und Sandgrundel in den 24-Stunden-Fischereien. Nachtzeiten grau hinterlegt; alle Ordinaten in Ind./ha. Untere Reihe: Vergleich der mittleren Abundanz bei Tag und Nacht; \* = signifikante Unterschiede der Mittelwerte im Mann-Whitney-Test für nichtparametrische unabhängige Stichproben ( $p < 5\%$ ).

Eine Untersuchung zur Tidenwanderung der Sandgarnele in Ufernähe wurde in Mai 1994 mit der 24-Stunden-Fischerei #9 durchgeführt. Diese 24-Stunden-Fischerei wurde mit dem Schiebehamen am Strand nördlich von List in gleichbleibender Wassertiefe von nur einem halben Meter durchgeführt. Da aber der Wasserstand mit der Tide wechselte, änderte sich folglich der Probenort, bzw. seine Entfernung von der HW-Linie. Die Fänge der Sandgarnele bei dieser Fischerei zeigten eine deutliche Abhängigkeit vom Tidenstand (Abbildung 4.19). Die höheren Abundanzen wurden bei Niedrigwasser verzeichnet. Dies legt den Schluß nahe, daß eine gewisse Tidenwanderung stattgefunden hat und daß sich die Garnelen bei Niedrigwasser am Prielrand konzentrierten, während sie sich bei Hochwasser auf den Eulitoralflächen verteilten. Wäre allerdings die gesamte bei NW gefangene Konzentration mit der Tide gewandert, so hätten die Fänge ungefähr konstant bleiben sollen.



**Abbildung 4.19:** Verlauf der Abundanz der Sandgarnele in der 24-Stunden-Fischerei #9 vom 28./29. Mai 1994 an der Lister Odde. Bei \* keine Probe.

### 4.3.2 Räumliche Verteilung

#### Vertikalverteilung

Die Vertikalverteilung der Sandgarnele ist aus den Ergebnissen der tiefenstratifizierten Probennahmen zu ersehen (Abbildung 4.20). Es können zwei Muster erkannt werden, eines für den Tag, ein anderes für die Nacht. Danach liegen die Schlepstriche auf denen die größten Tagfänge gemacht wurden unterhalb einer Tiefe von 5m. Nachts kehrt sich die Vertikalverteilung um, und die größten Abundanzen werden auf Tiefen von weniger als 5m erreicht. Dies galt zumindest - unabhängig vom Fanggerät - für die hier wiedergegebenen tiefenstratifizierten Probennahmen, die an den Rändern der Tiefs durchgeführt wurden. Auf den Platen und den Eulitoralbereichen, die vom Ufer her mit geringer Neigung gegen die Tiefs

oder Priele abfallen, konnten diese Verteilungsmuster nicht oder nicht durchgängig beobachtet werden. Allerdings dürfte bei den Befischungen dieser Bereiche aufgrund der großen horizontalen Distanz zwischen den Schleppstrichen der Tiefenstufen neben der Vertikalverteilung auch die Horizontalverteilung einen Einfluß auf die beobachteten Verteilungsmuster gehabt haben. Insgesamt bleibt festzuhalten, daß es auch bei den Garnelen einen nächtlichen Aufstieg gab, der mit dem vermehrten nächtlichen Auftreten im Pelagial (s. Hamenfischerei) gut übereinstimmt.

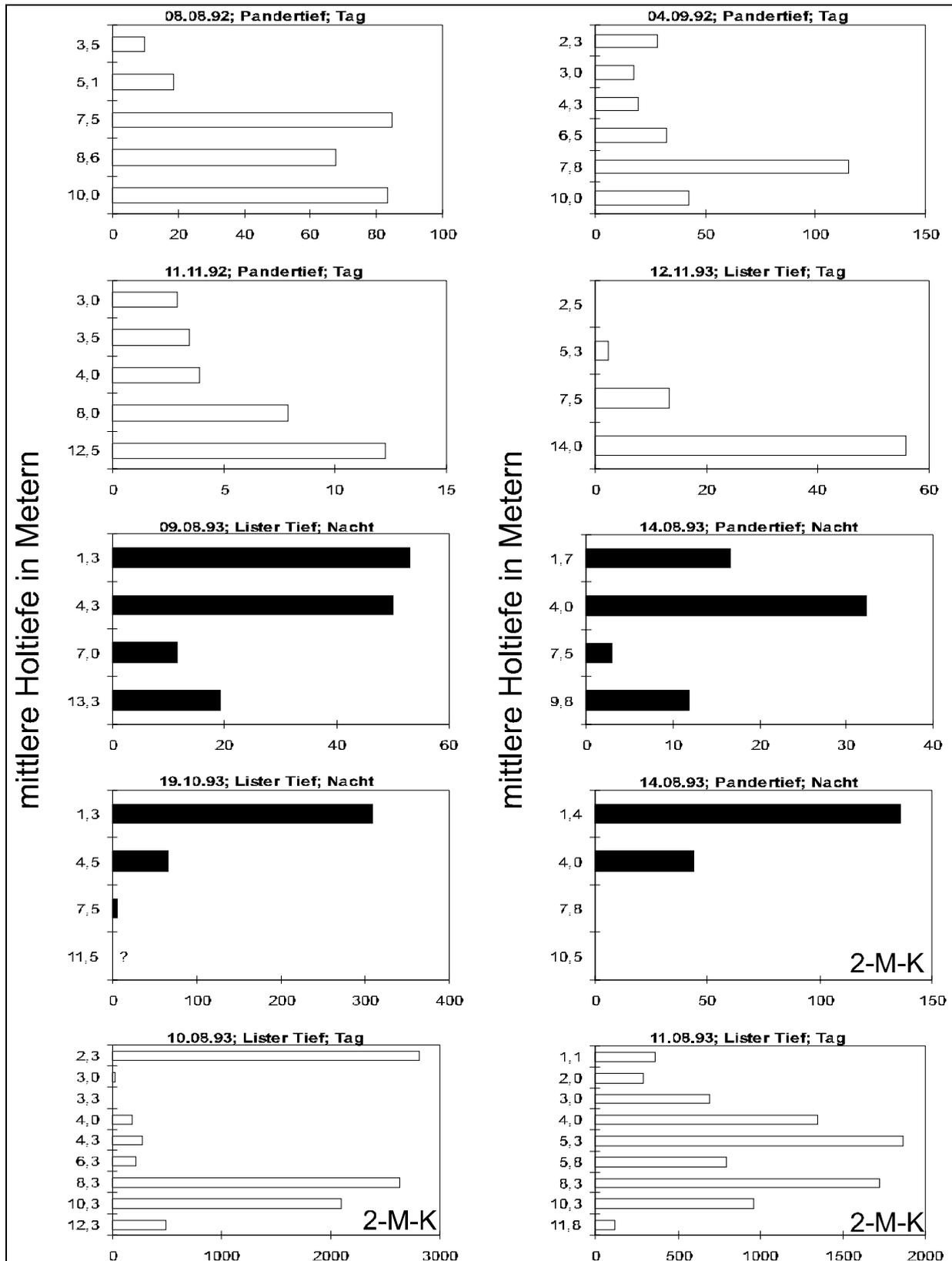
Neben der Vertikalverteilung der Abundanzen konnte für die Sandgarnele auch eine Verschiebung des Längenspektrums mit der Tiefe festgestellt werden. So wurden im Flachen im Allgemeinen die kleineren Größengruppen angetroffen, während im tieferen Wasser die Längen/Häufigkeits-Verteilung zugunsten der größeren Längensklassen verschoben war. Die Abbildungen 4.21a und 4.21b geben solche Verteilungen wieder.

Beide in Abbildung 4.21 dargestellte tiefenstratifizierte Befischungen wurden am Tage durchgeführt, daher sind die größten Dichten jeweils in den unteren Tiefenstufen anzutreffen. In der oberen Abbildung lassen sich drei Gipfel in der Längen/Häufigkeits-Verteilung erkennen: Sandgarnelen von 25-30mm Länge sind in 3m Tiefe am häufigsten, solche von 35-40mm in 5,3m Tiefe und 45-50mm lange Tiere sind es in 8,3m Tiefe.

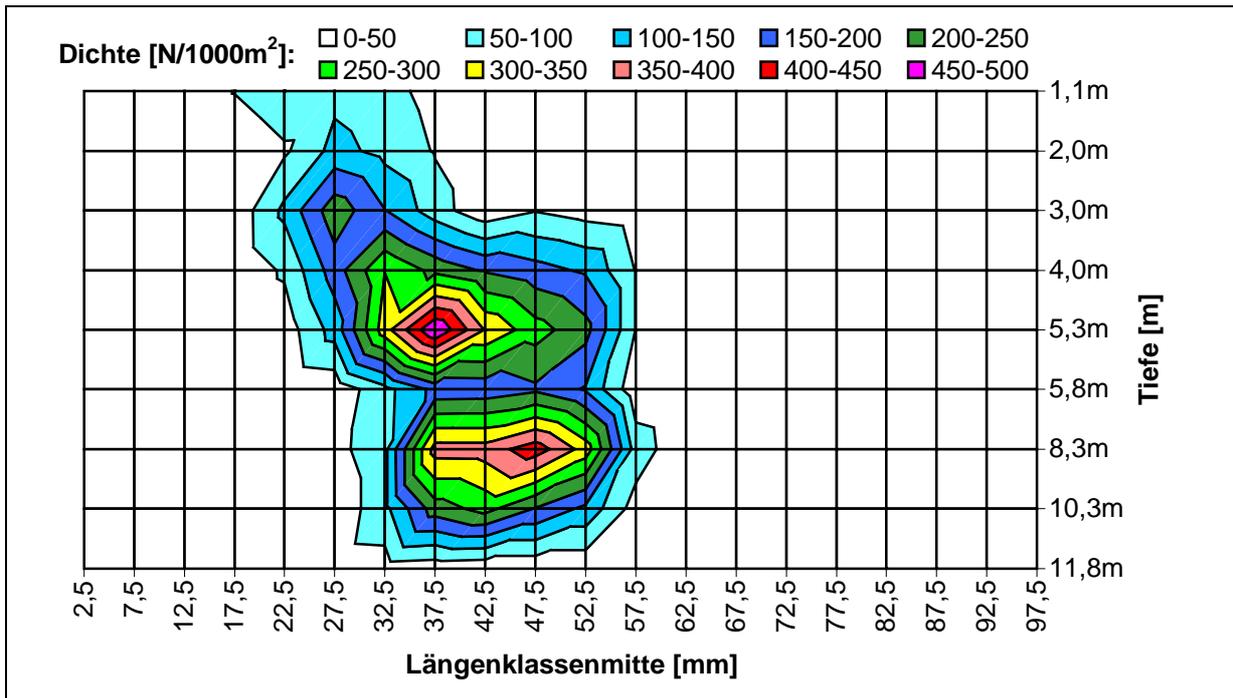
Auch in der unteren Abbildung, die die Ergebnisse einer tiefenstratifizierten Befischung entlang eines Tiefenprofils mit sehr geringer Neigung darstellt, zeigt sich eine Tiefenabhängigkeit der Gipfelwerte der Längen/Häufigkeits-Verteilung. Hier sind die Größengruppen aber stärker getrennt. Im Flachbereich der Plate bei 1,2m Tiefe treten kleine Sandgarnelen mit einer Länge von nur 15-20 mm in höheren Dichten auf. Diese Längensklasse ist in gleicher Dichte auch noch bei 1,8-2,0m Tiefe vertreten, geht hier aber in der Flanke des Gipfels der Längensklasse von 20-25mm verloren, die auf dieser Tiefe ihr Maximum erreichten. Garnelen über 30mm hatten erst bei 2,7m Tiefe ihr Dichtemaximum.

Auch die Vertikalverteilung der Sandgrundel zeigt wiederkehrende Verteilungsmuster, die durch einen nächtlichen Aufstieg erklärbar sind. In Abbildung 4.22 sind die Ergebnisse aus den tiefenstratifizierten Probennahmen wiedergegeben.

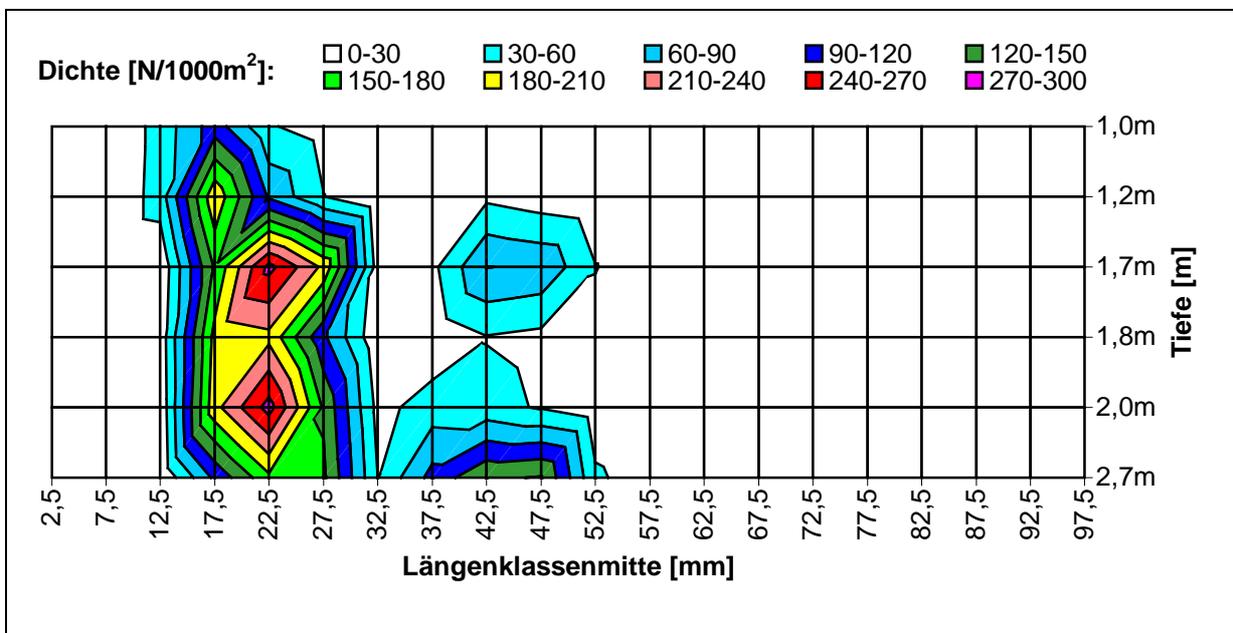
Eine Veränderung der Längen/Häufigkeits-Verteilung mit der Tiefe konnte bei der Sandgrundel ebenfalls beobachtet werden. In Abbildung 4.23 ist dies summiert für die mit der 2-Meter-Kurre im Lister Tiefdurchgeführten tiefenstratifizierten Befischungen vom 10. und 11.08.1992 dargestellt.



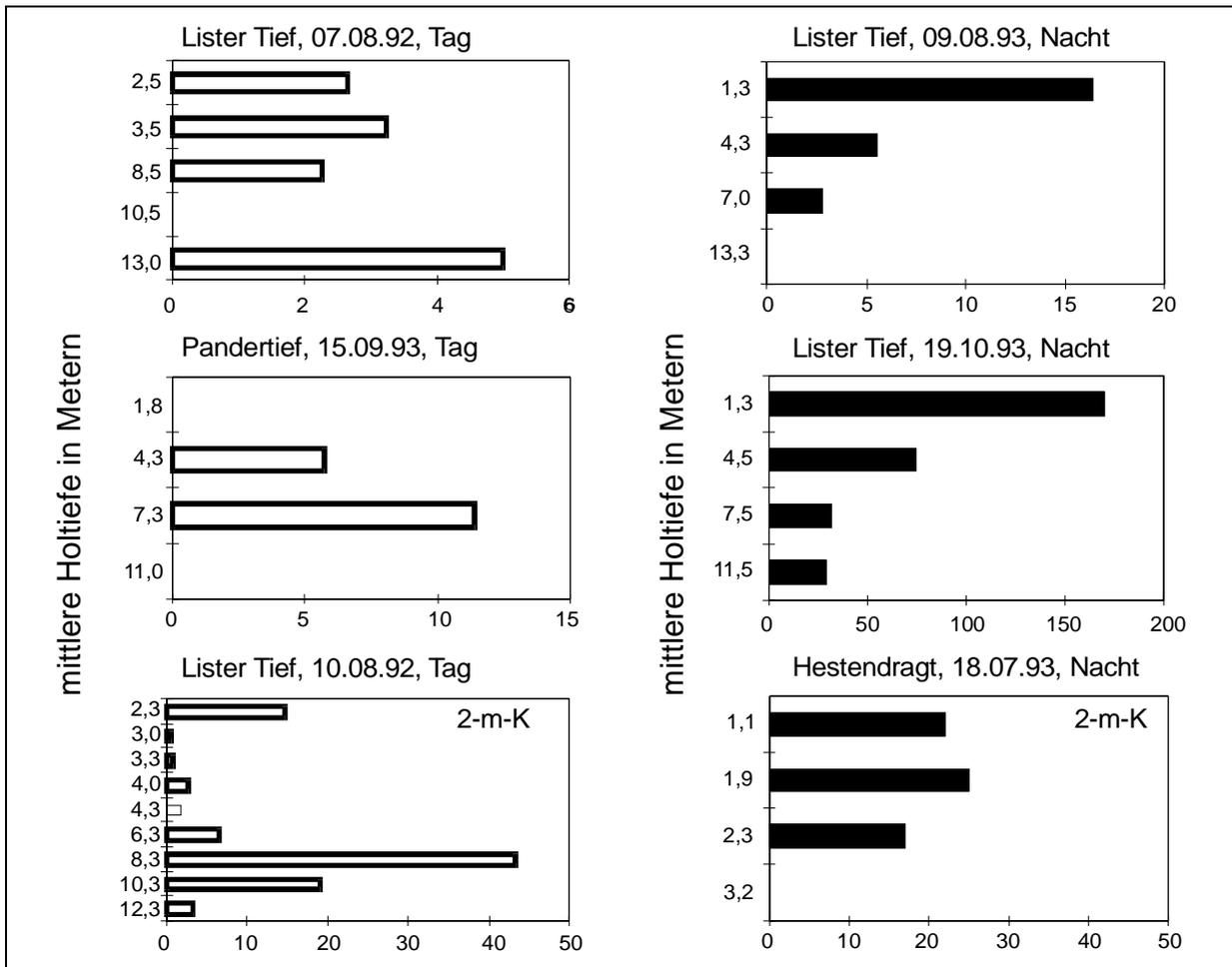
**Abbildung 4.20:** Vertikalverteilung der Abundanz der Sandgarnele in den Fängen der tiefenstratifzierten Probennahmen mit Scherbrettnetz und 2-Meter-Kurre. Schwarze Balken stehen für Nachtfänge. Die letzten 3 Grafiken geben Befischungen mit der 2-Meter-Kurre (2-M-K) wieder, hier ist die Abundanz in N/1000m<sup>2</sup> angegeben, bei den anderen in N/ha.



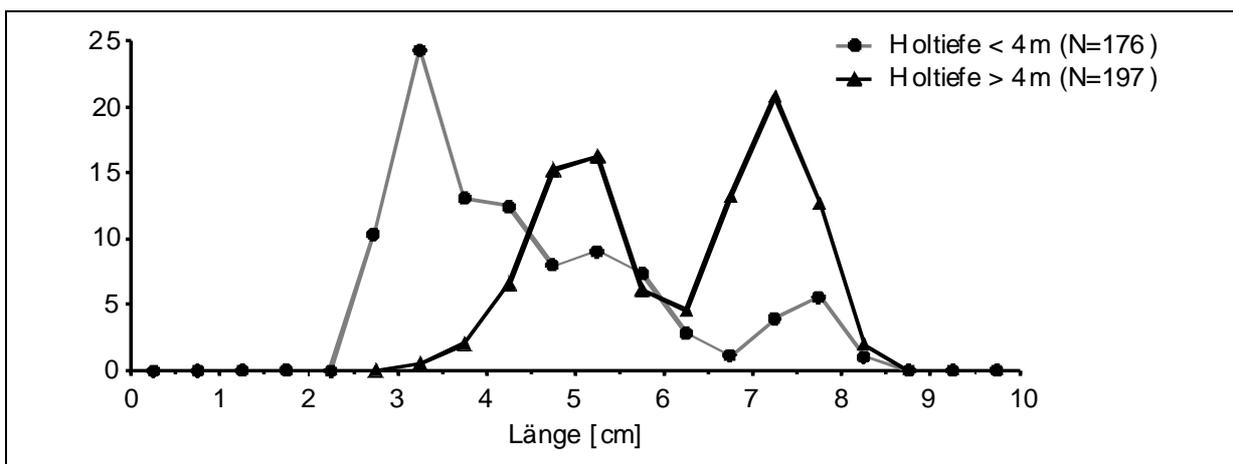
**Abbildung 4.21a:** Dichteverteilung der 5mm-Längenklassen der Sandgarnele über die Tiefenstufen der tiefenstratifizierten Befischung vom 11.August 1992 im Lister Tief mit der 2-Meter-Kurre.



**Abbildung 4.21b:** Dichteverteilung der 5mm-Längenklassen der Sandgarnele über die Tiefenstufen der tiefenstratifizierten Befischung vom 13.Juni 1993 zwischen Hestendragt und Westerley mit der 2-Meter-Kurre.



**Abbildung 4.22:** Vertikalverteilung der Abundanz der Sandgründel in den Fängen der tiefenstratifizierten Probennahmen mit Scherbrettnetz und 2-Meter-Kurre. Schwarze Balken stehen für Nachtfänge. Die letzten 2 Grafiken geben Befischungen mit der 2-Meter-Kurre (2-m-K) wieder, hier ist die Abundanz in  $N/1000m^2$  angegeben, in den anderen Grafiken in  $N/ha$ .

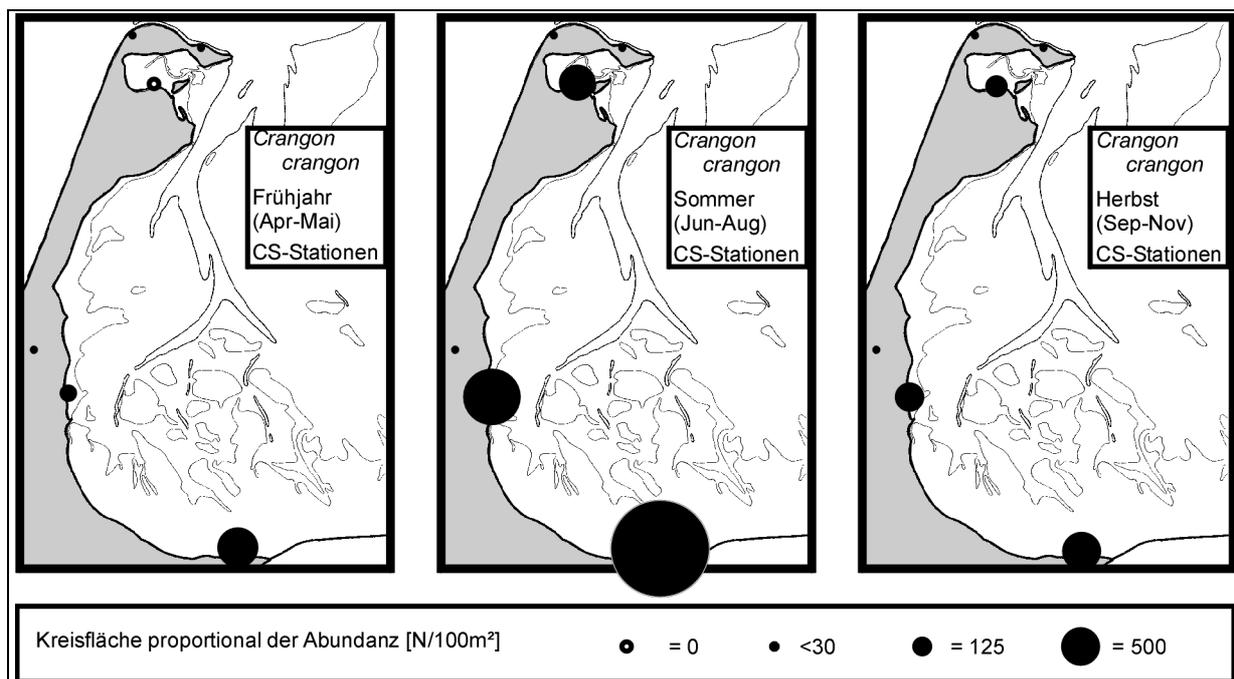


**Abbildung 4.23:** Tiefenabhängige prozentuale Längen/Häufigkeits-Verteilung der Sandgründel in den tiefenstratifizierten Befischungen vom 10./11. August 1992 im Lister Tief.

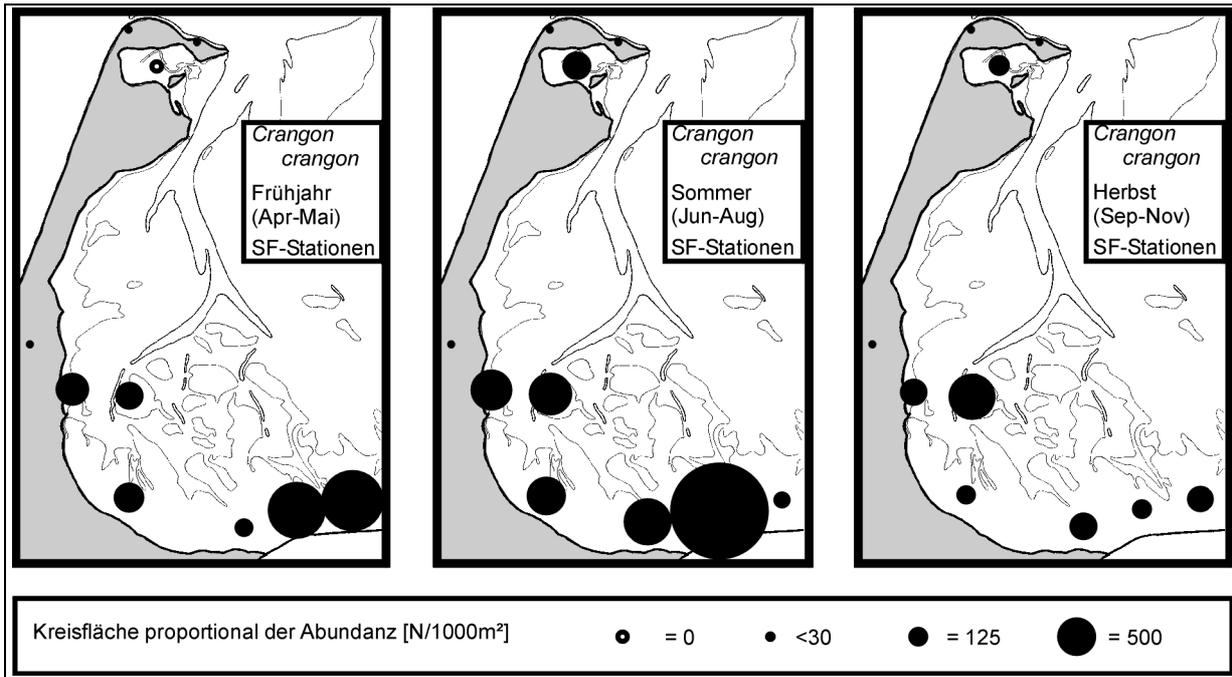
## Horizontalverteilung

In der Horizontalverteilung der Sandgarnele zeigte sich in allen drei Serien des Standardstationsnetzes, daß die jeweils höheren Abundanzen in den südlichen Bereichen des Nordsylter Wattenmeers erreicht wurden (Abbildung 4.24 bis 4.26). Auf den Stationen des Eulitorals (CS-Serie) wurde dies besonders deutlich, da hier zu jeder Jahreszeit die jeweils größten Abundanzen auf der Station CS3 vor dem Morsumkliff erreicht wurden und die jeweils geringste auf der Station CS1 im Königshafen (Abbildung 4.24). Die Station CS3 ist auch diejenige, auf der das Rekrutierungsgeschehen der Sandgarnele am kräftigsten ausfiel. Hier wurden im Juni 1993 Dichten von bis zu 82 frisch zum Bodenleben übergegangenen Sandgarnelen pro Quadratmeter festgestellt (Abbildung 4.27).

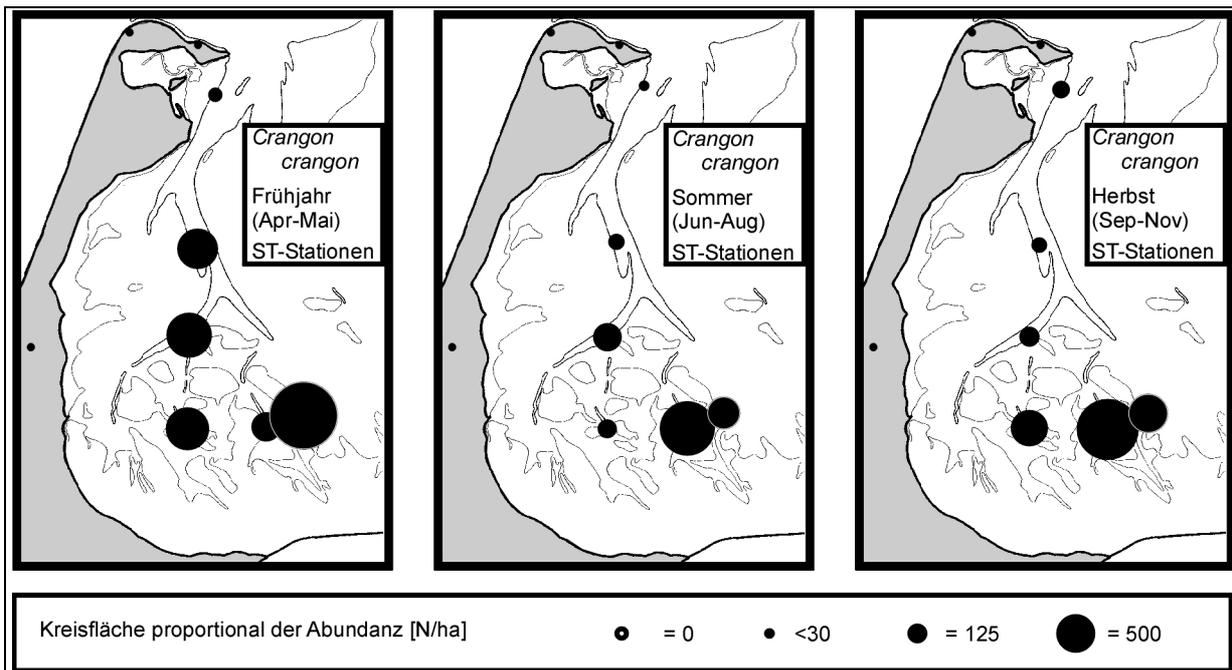
Auch im tieferen Eulitoral und flachen Sublitoral wurden größere Abundanzen auf den südlichen Stationen beobachtet, wobei wiederum der Königshafen (SF1) durch besonders geringe Sandgarnelendichten auffiel (Abbildung 4.25). Im tieferen Sublitoral waren es die drei Prielstationen (ST4-6), die gegenüber den Stationen in den Tiefs mehr Garnelen in den Fängen aufwiesen (Abbildung 4.26).



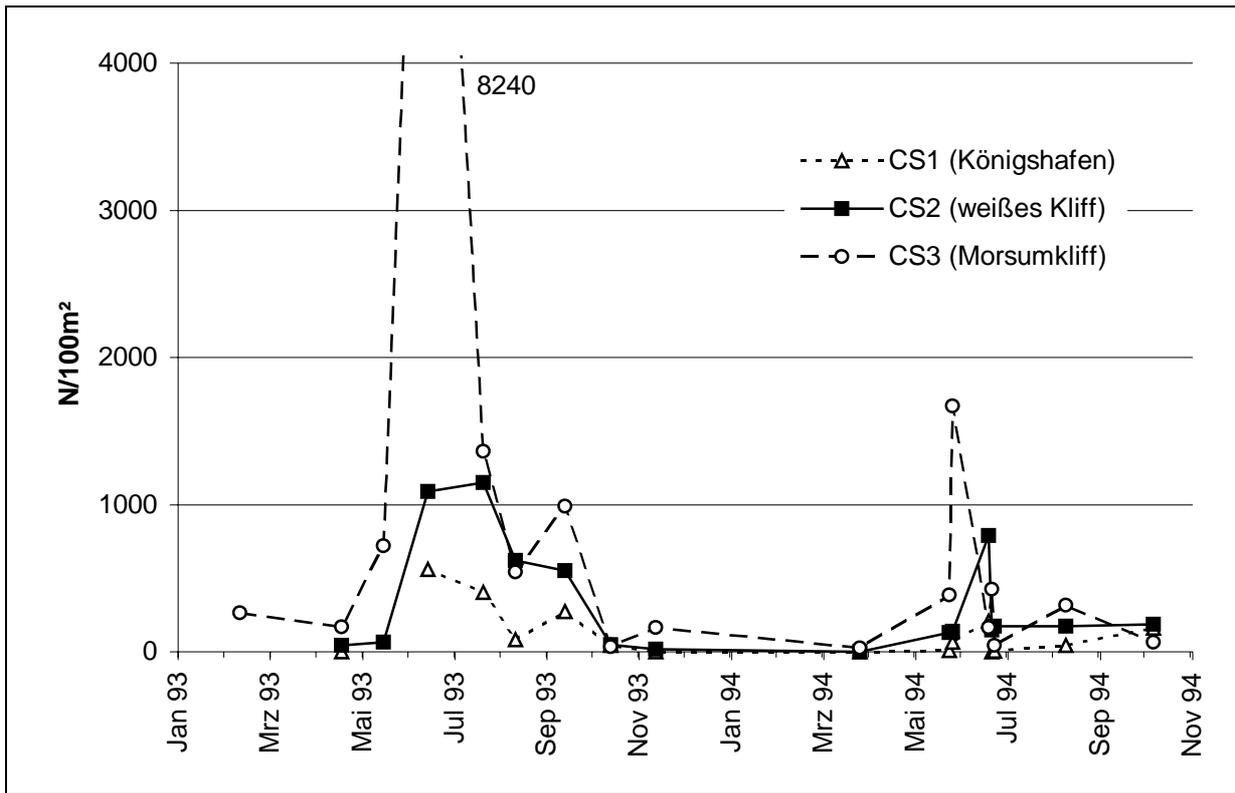
**Abbildung 4.24:** Horizontalverteilung der Abundanzen der Sandgarnele im oberen Eulitoral (Station CS1 bis CS3 des Standardstationsnetzes) in drei Jahreszeiten 1993.



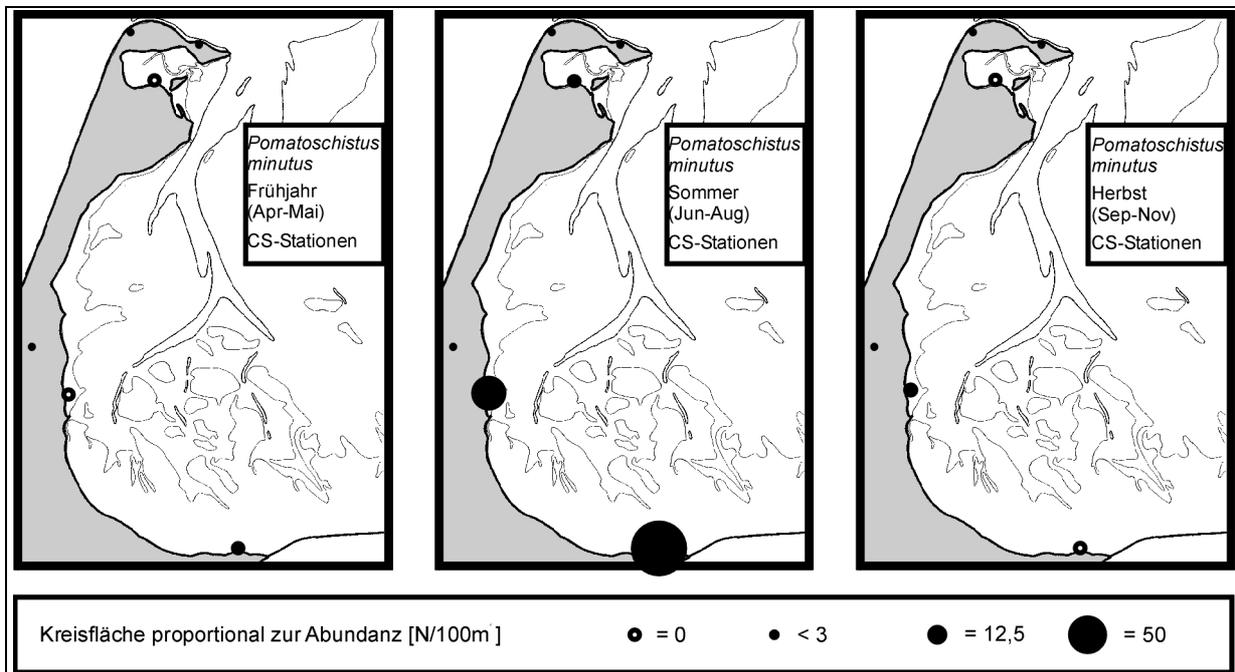
**Abbildung 4.25:** Horizontalverteilung der Abundanzen der Sandgarnele im tieferen Eulitoral und flachen Sublitoral (Station SF1 bis SF7 des Standardstationsnetzes) in drei Jahreszeiten 1993.

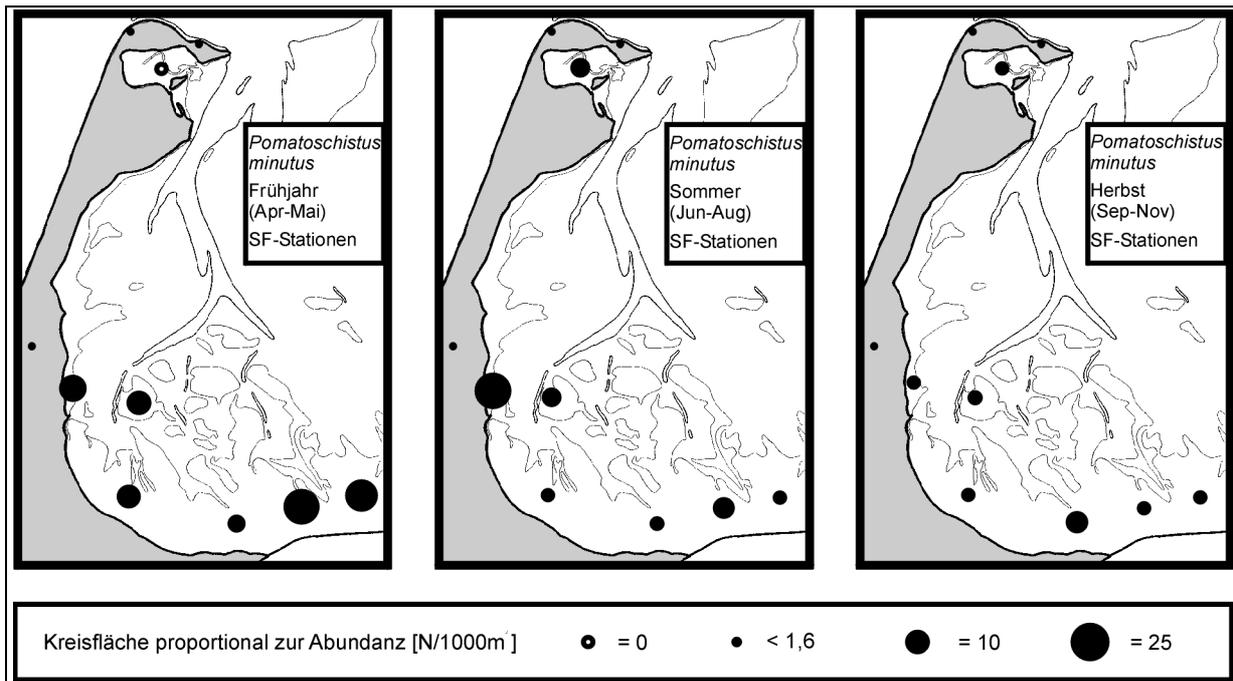


**Abbildung 4.26:** Horizontalverteilung der Abundanzen der Sandgarnele im tiefen Sublitoral (Station ST1 bis ST6 des Standardstationsnetzes) in drei Jahreszeiten 1993.

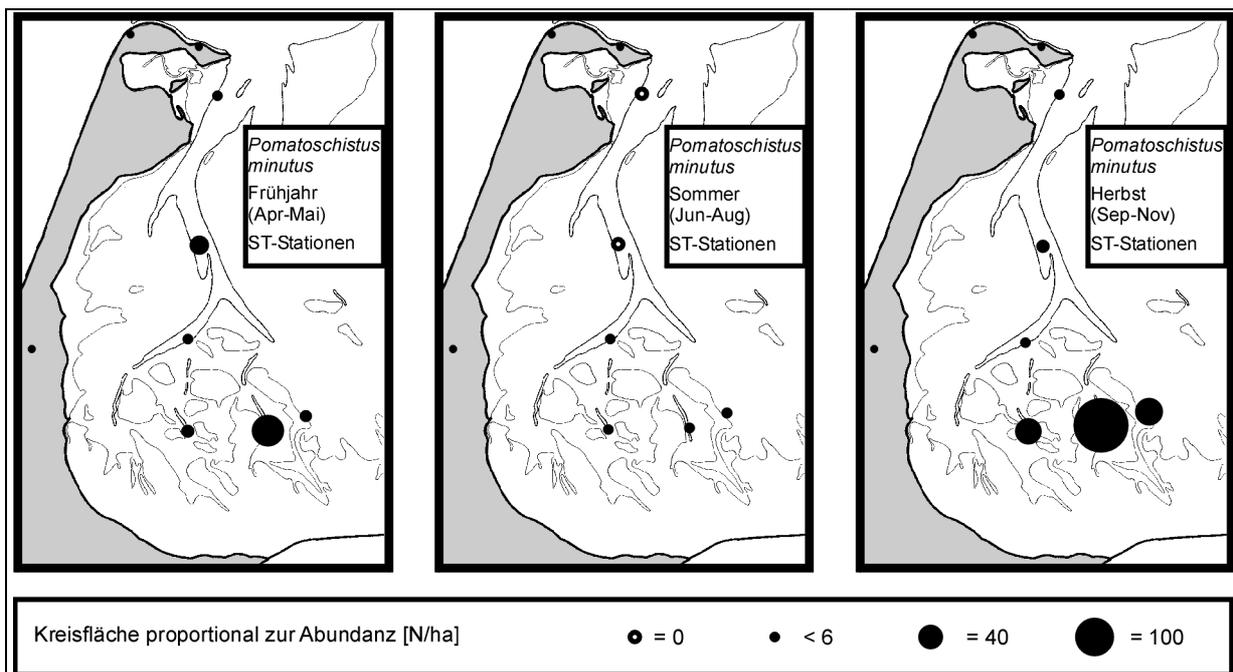


**Abbildung 4.27:** Abundanzen der Sandgarnelle auf den Stationen CS1 bis CS3 im Verlauf der Jahre 1993 und 1994.





**Abbildung 4.29:** Horizontalverteilung der Abundanzen der Sandgrundel im tieferen Eulitoral und flachen Sublitoral (Station SF1 bis SF7 des Standardstationsnetzes) in drei Jahreszeiten 1993.



**Abbildung 4.30:** Horizontalverteilung der Abundanzen der Sandgrundel im tiefen Sublitoral (Station ST1 bis ST6 des Standardstationsnetzes) in drei Jahreszeiten 1993.

In der Horizontalverteilung der Sandgrundel kann das gleiche Phänomen wie bei der Sandgarnelle, nämlich eine Bevorzugung der südlichen Bereiche der Bucht im tieferen Sublitoral (ST-Stationen, Abbildung 4.30), wo die Priele immer die größeren Abundanzen aufweisen als die Tiefs, und in den sommerlichen Proben des Eulitorals (CS-Stationen,

Abbildung 4.28) beobachtet werden. Im letzteren Fall ist es wiederum die Station CS3, auf der die größten Dichten der kleinsten Längengruppen der Sandgrundel festgestellt wurden. Im tieferen Eulitoral und flachen Sublitoral (SF-Stationen, Abbildung 4.29) war ein solches Muster nicht erkennbar.

## 4.4 Wachstum und Produktion

### 4.4.1 Wachstum der Räuber

Wittling und Kabeljau wurden 1993 in Sommer und Herbst in nur einer Altersklasse, der AK0, in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffen. Individuen der AK1 waren 1993 beim Kabeljau nur bis April und vom Wittling gar nicht im Untersuchungsgebiet vertreten. Da also nie zwei Altersklassen gemeinsam vorkamen bestehen die Längen/Häufigkeits-Verteilungen, die für Abbildung 4.31 über die einzelnen Monate summiert wurden, aus nur jeweils einem Gipfel der einer Kohorte entspricht.

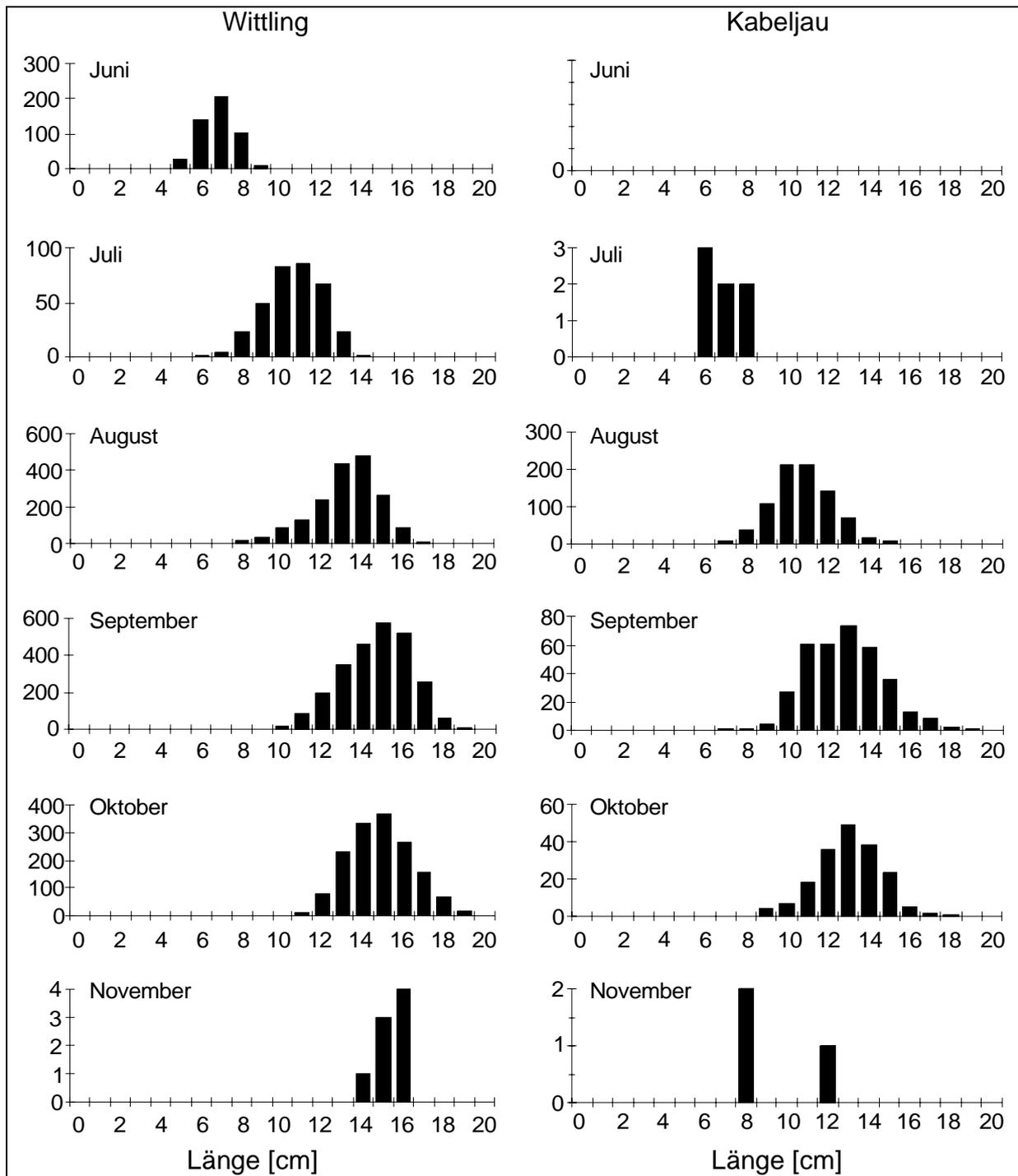
Beide Arten wanderten mit einer mittleren Länge von rund 7cm in das Nordsylder Wattenmeer ein, der Wittling im Juni, der Kabeljau einen Monat später. Bis zum Zeitpunkt ihrer Abwanderung im Oktober/November war der Wittling auf ca. 15cm und der Kabeljau auf ca. 13cm herangewachsen. Der Wittling wuchs demnach in 4½ Monaten um 8cm und der Kabeljau in 3½ Monaten um 6cm heran.

**Tabelle 4.04:** Mittlere Länge, mittleres Gewicht, Zuwachs und Wachstumsrate von Wittling und Kabeljau aus den 24-Stunden-Fischereien 1993. Die Längen und Gewichte der beiden 24-Stunden-Fischereien vom 15. August und vom 19. August wurden zusammen dem 17. August zugeordnet.

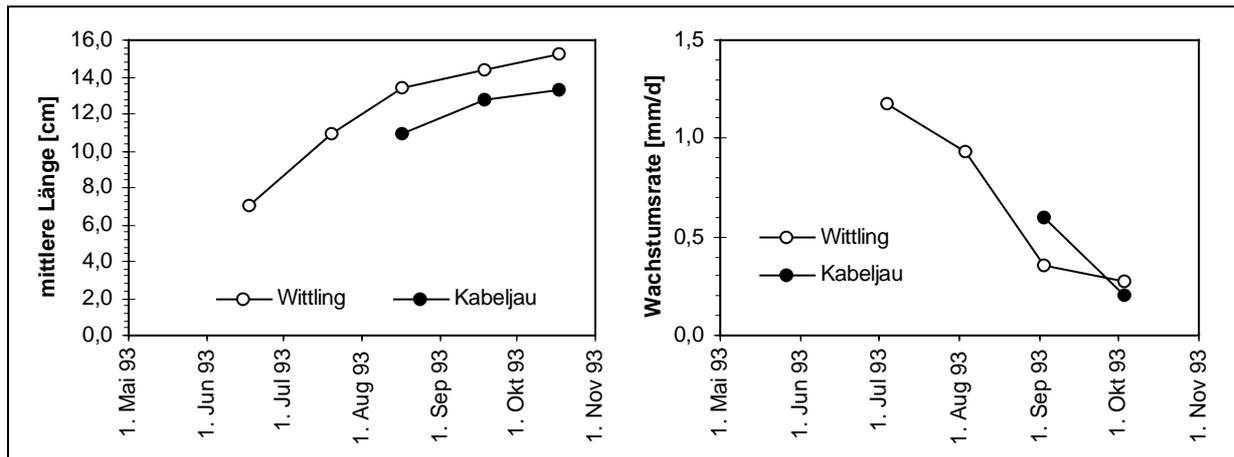
<b>Wittling</b>					
24-Stunden-Fischerei vom	18.06.93	21.07.93	17.08.93	19.09.93	18.10.93
Anzahl der Fische	329	147	617	469	238
mittlere <b>Länge</b> [cm]	7,05	10,93	13,45	14,43	15,22
Längenzuwachs [cm]	---	3,88	2,52	1,09	0,79
Wachstumsrate [mm/d]	---	0,12	0,93	0,35	0,27
mittleres <b>Gewicht</b> [g]	3,09	11,58	21,82	25,87	28,22
Gewichtszuwachs [g]	---	8,49	10,24	4,05	2,35
Wachstumsrate [g/d]	---	0,26	0,38	0,12	0,08
Gewichtszuwachs in % pro Monat	---	254	100	17	10

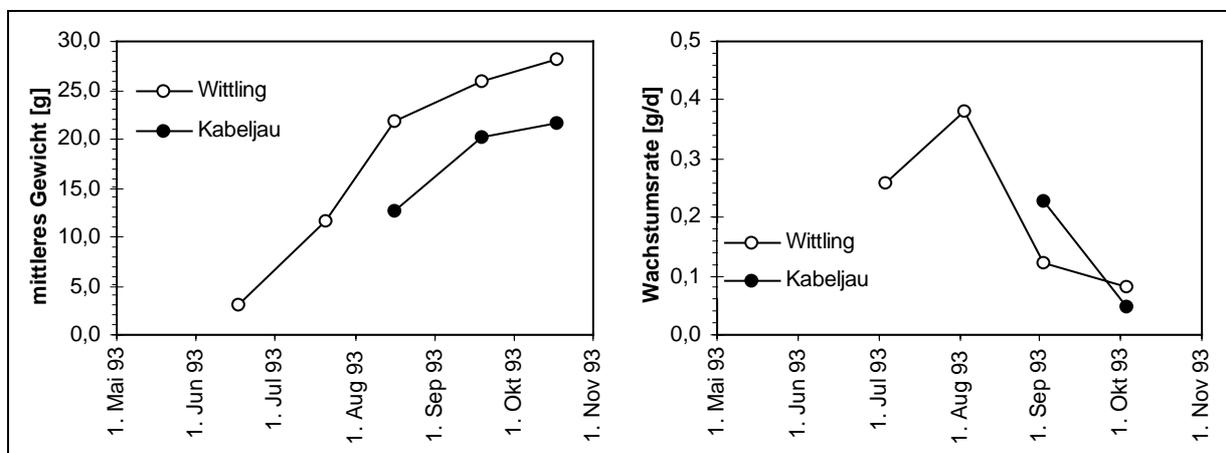
<b>Kabeljau</b>					
24-Stunden-Fischerei vom	18.06.93	21.07.93	17.08.93	19.09.93	18.10.93
Anzahl der Fische	0	0	415	228	101
mittlere <b>Länge</b> [cm]	---	---	10,89	12,75	13,34
Längenzuwachs [cm]	---	---	---	1,84	0,59
Wachstumsrate [mm/d]	---	---	---	0,59	0,20
mittleres <b>Gewicht</b> [g]	---	---	12,66	20,22	21,65
Gewichtszuwachs [g]	---	---	---	7,56	1,42
Wachstumsrate [g/d]	---	---	---	0,23	0,05
Gewichtszuwachs in % pro Monat	---	---	---	55	7



**Abbildung 4.31:** Längen/Häufigkeits-Verteilungen von Wittling und Kabeljau aus allen Scherbrett-netzfängen des Jahres 1993, monatsweise summiert.



**Abbildung 4.32:** Mittlere Längen und Längenwachstumsraten von Wittling und Kabeljau aus den 24-Stunden-Fischereien 1993.



**Abbildung 4.33:** Mittlere Gewichte und Gewichtswachstumsraten von Wittling und Kabeljau aus den 24-Stunden-Fischereien 1993.

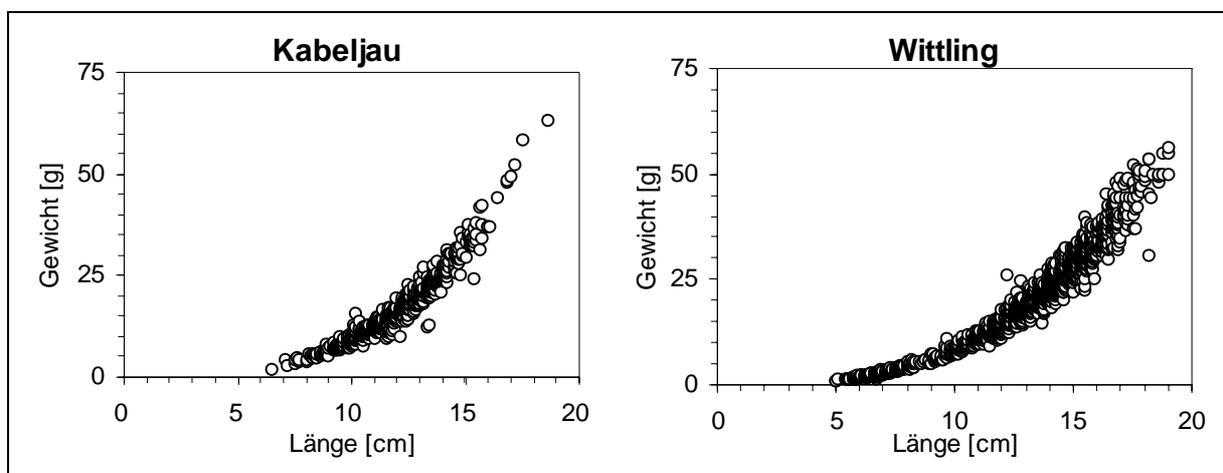
Zur Berechnung der Wachstumsraten von Länge und Gewicht wurden die Daten der in den 24-Stunden-Fischereien gefangenen Fische benutzt, da hier ausreichend große Längen/Häufigkeits-Verteilungen in Millimeterklassen von jeweils genau einem Zeitpunkt vorlagen und die Einzelgewichte der Fische bestimmt worden waren (Tabelle 4.04).

Der Wachstumsverlauf für beide Arten ist unterschiedlich. Die mittleren Längen des Wittlings liegen in allen Monaten über denen des Kabeljau. Die Differenz beträgt dabei im August 2,6cm und im Oktober noch 1,9cm. Der Wittling verlor damit im Laufe des Herbsts einen Teil seines Längenvorsprungs als Folge der deutlich höheren Längenwachstumsrate des Kabeljau von 0,59mm pro Tag zwischen August und September (Tab. 4.04; Abbildung 4.32).

Auch die Gewichtswachstumsrate des Kabeljau war im August/September mit 0,23g/Tag fast doppelt so hoch, wie die des Wittlings (Tab. 4.04; Abbildung 4.33), während im September/Oktober die Wachstumsraten beider Arten nahe beieinander lagen.

Insgesamt nahm das Längen- und Gewichtswachstum beider Arten im Jahresverlauf deutlich ab. Dies wird besonders augenfällig, wenn man den monatlichen Gewichtszuwachs als Anteil des mittleren Vormonatsgewichts ausdrückt also den prozentualen Gewichtszuwachs betrachtet (Tabelle 4.04).

Die Längen/Gewichts-Relationen konnten ebenfalls aus den Proben der 24-Stunden-Fischereien gewonnen werden. Die über alle 24-Stunden-Fischereien summierte Zusammenstellung wird in Abbildung 4.34 wiedergegeben. Diese Längen/Gewichts-Verteilungen schließen die 24-Stunden-Fischerei #1 vom April 1992 nicht mit ein, da in dieser Fischerei die AK1 der beiden Arten gefangen wurde und zumindest die Wittlinge nach dem Winter ein deutlich verändertes Längen/Gewichts-Verhältnis aufweisen (s.u.).



**Abbildung 4.34:** Längen und Gewichte von 744 Kabeljau und 1801 Wittlingen der AK0 aus den 24-Stunden-Fischereien 1993.

Für die juvenilen Kabeljau und Wittlinge der Sylt-Rømø-Bucht konnten die in Abbildung 4.34 gezeigten Längen/Gewichts-Verhältnisse wie folgt beschrieben werden:

$$\text{Kabeljau: } W = 0,00815 * L^{3,047}$$

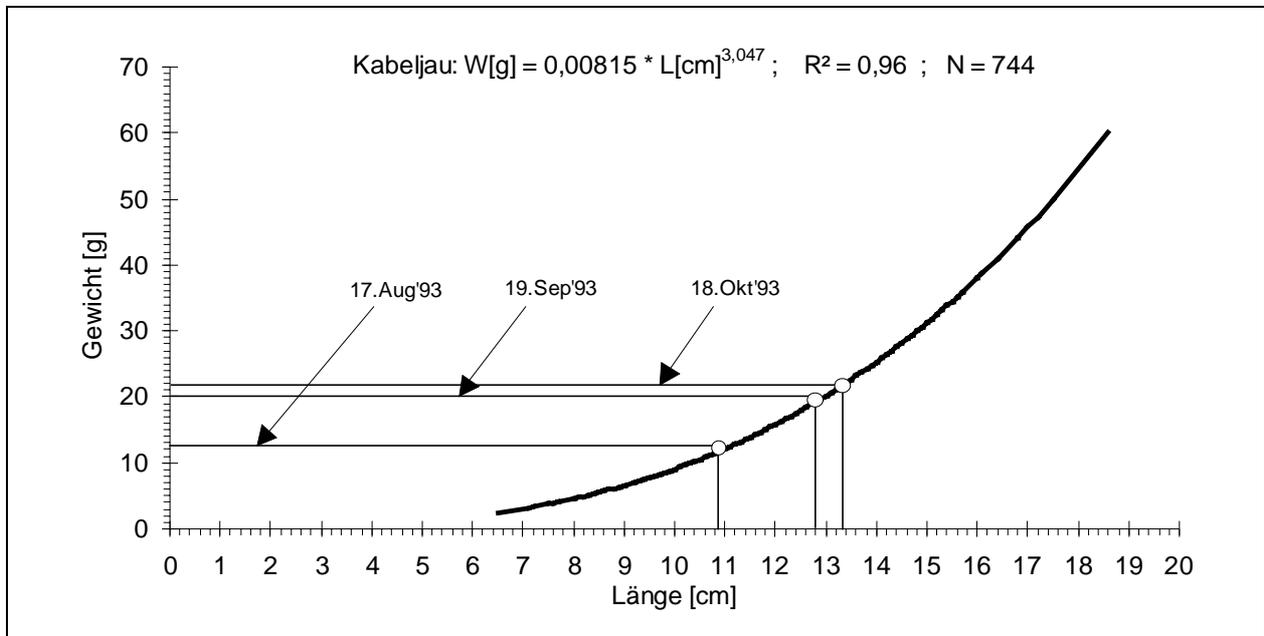
$$\text{Wittling: } W = 0,00907 * L^{2,965}$$

mit  $W$  = Gewicht in Gramm  
und  $L$  = Länge in Zentimetern

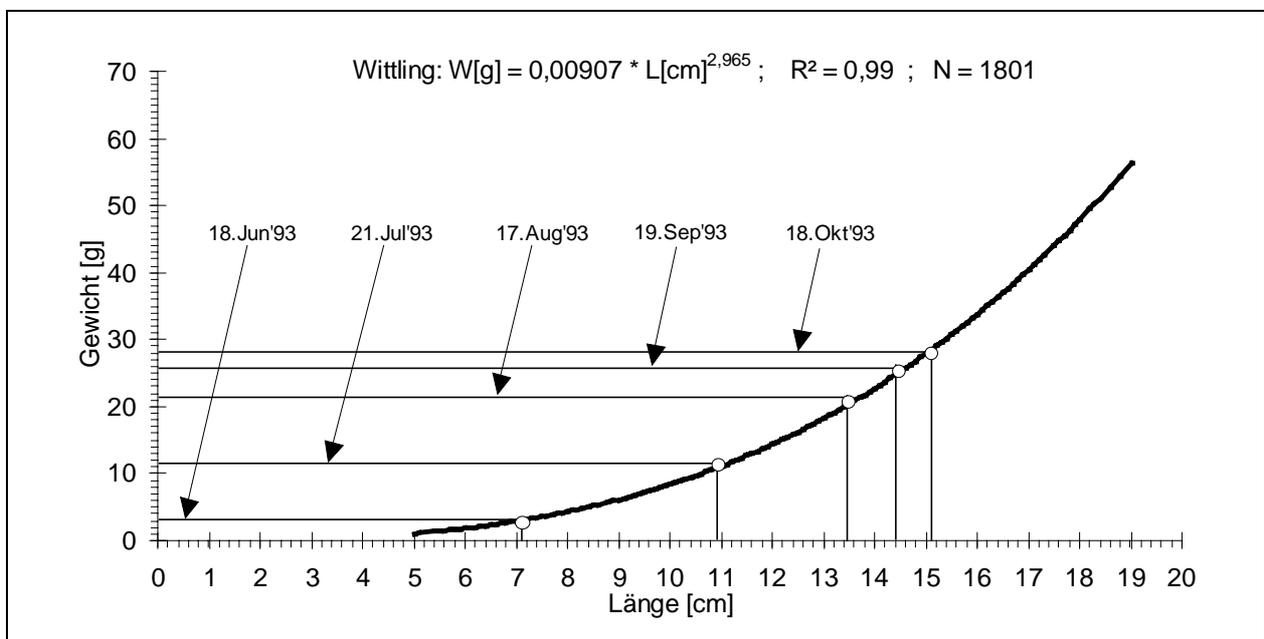
Der größere Exponent für den Kabeljau ist Folge der Tatsache, daß diese Fische bei wachsender Länge schneller schwerer wurden als Wittlinge, was sich im steileren Verlauf der Längen/Gewichts-Verteilung in Abbildung 4.34 andeutet und gut mit dem im Feld erhaltenen Eindruck der vergleichsweise zunehmend gedrungenen Form der jungen Kabeljau übereinstimmt.

Wie schon erwähnt, wichen die Längen/Gewichts-Relationen der Fische der AK1 in der 24-Stunden-Fischerei #1 von denen der AK0 ab. Hier wurden für den Kabeljau Werte von

$a=0,0073$  und  $b=3,073$  (mit einem  $R^2$  von 0,93) und für den Wittling von  $a=0,0124$  und  $b=2,782$  (mit einem  $R^2$  von 0,95) ermittelt. Damit lag der Exponent für den Kabeljau der AK1 wenig über demjenigen der für die AK0 ermittelt wurde, während der Exponent für die AK1 des Wittlings deutlich unter demjenigen der AK0 lag. Dies bedeutet eine Verflachung der Längen/Gewichtsbeziehung, die auf schlankere Fische nach dem Winter hinweist.

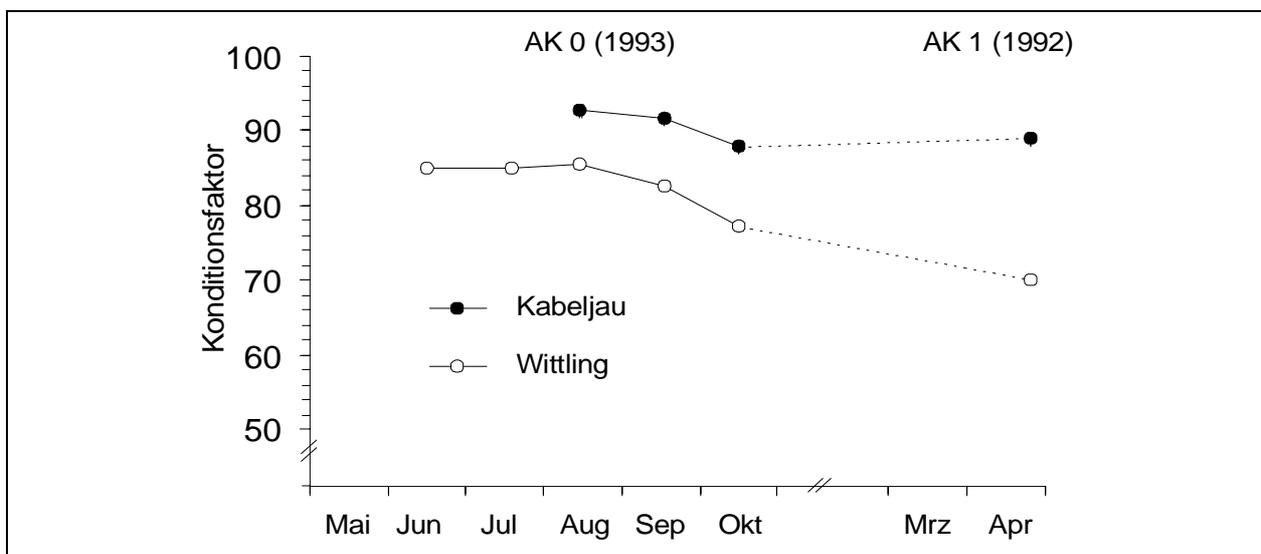


**Abbildung 4.35:** Längen/Gewichts-Relation der AK0 des Kabeljau 1993.



**Abbildung 4.36:** Längen/Gewichts-Relation der AK0 des Wittlings 1993 und Mittelwerte in den Proben der jeweiligen 24-Stunden-Fischerei

Bei der Betrachtung der Konditionsfaktoren ( $W/L^3 \cdot 100$ ) im zeitlichen Verlauf wird dieser Eindruck bestätigt (Abbildung 4.37). Der Konditionsfaktor lag für den Kabeljau in allen Fällen über demjenigen des Wittlings. Dabei nimmt die Kondition beider Arten vom Sommer zum Herbst hin ab. Nach dem Winter (allerdings hier dem Winter 91/92, da keine Kohorte durchgehend verfolgt werden konnte) wurden die geringsten Werte erreicht. Während Kabeljau der AK1 im April 1992 mit einem Konditionsfaktor von 0,89 leicht über dem Oktoberwert 1993 für die AK0 lag, erreichte der Wittling hier nur einen Konditionsfaktor von 0,70. Vorausgesetzt, daß die Entwicklung der Konditionsfaktoren der AK0 in den jeweiligen Vorjahren (1991 und 1993) vergleichbar war, hatte der Wittling über den Winter also deutlich im Verhältnis zur Länge an Gewicht verloren, während dies für den Kabeljau nicht zutrifft.



**Abbildung 4.37:** Saisonaler Verlauf des mittleren Konditionsfaktors der AK0 von Wittling und Kabeljau in 1993 und Vergleich zur AK1 von 1992.

#### 4.4.2 Wachstum der Beute

Das Wachstum der beiden hier betrachteten Beutearten konnte nicht - wie bei den Räuberarten im vorangegangenen Kapitel - aus den Daten der 24-Stunden-Fischereien gewonnen werden, da ihr Vorkommen sich nicht auf die Tiefs und Priele konzentrierte (s. Kap. 4.3.2) und sich die verschiedenen Größengruppen unterschiedlich auf die verschiedenen Tiefenstufen des Untersuchungsgebiets verteilte (Abb. 4.21 u. 4.23).

##### 4.4.2.1 Grundeln

Der Jahresverlauf der Längen/Häufigkeits-Verteilungen der Sandgrundel in den unterschiedlichen Tiefenstufen und des Standardstationsnetzes und zusätzlicher Fänge im

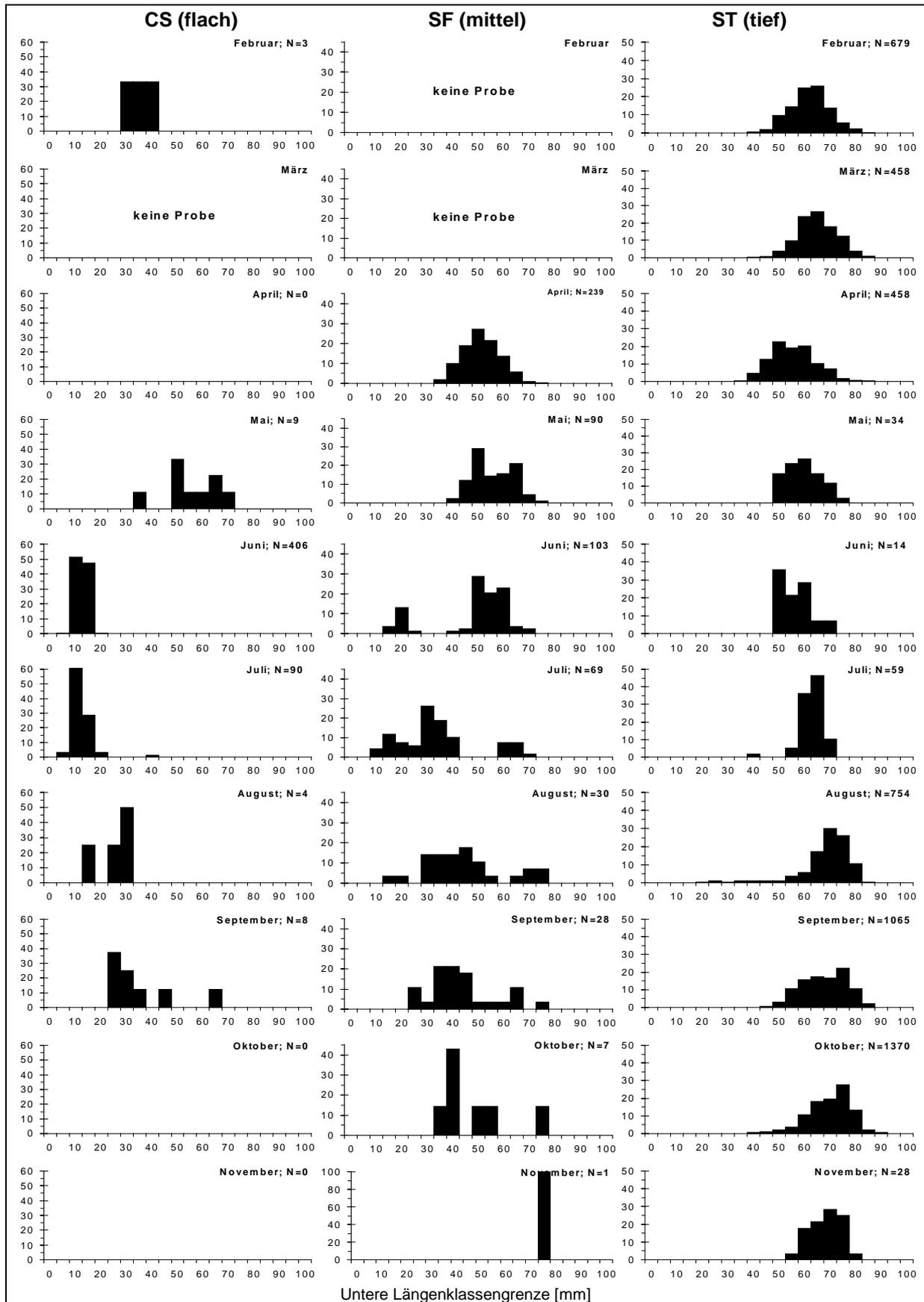
Februar und März ist in Abbildung 4.38 wiedergegeben. Es wird deutlich, daß die kleineren Sandgrundeln in den Fängen der flacheren Serie und die größeren Tiere vorwiegend in der tieferen Serie gefunden wurden. Innerhalb der Standard-Stationsserien läßt sich eine Zunahme der Modalwerte der Längen/Häufigkeits-Verteilungen für die flache CS-Serie zwischen Juli und September und für die tiefe ST-Serie zwischen Juni und September/Okttober feststellen. In der in mittlerer Tiefe durchgeführten SF-Serie sind im gleichen Zeitraum meist 2 bis 3 Modalwerte zu erkennen.

Wenn die monatlichen Längen/Häufigkeits-Verteilungen mit den Abundanzen dieser Art in den einzelnen Serien verrechnet wird und über das Verhältnis „befischte Fläche“ zu „Fläche des Stratums“ hochgerechnet werden, so kann eine hypothetische Längen/Häufigkeits-Verteilung für den Sandgrundelbestand der Sylt-Rømø-Bucht im jeweiligen Monat errechnet werden. Der Jahresgang dieser errechneten Längen/Häufigkeits-Verteilungen ist in Abbildung 4.39 wiedergegeben.

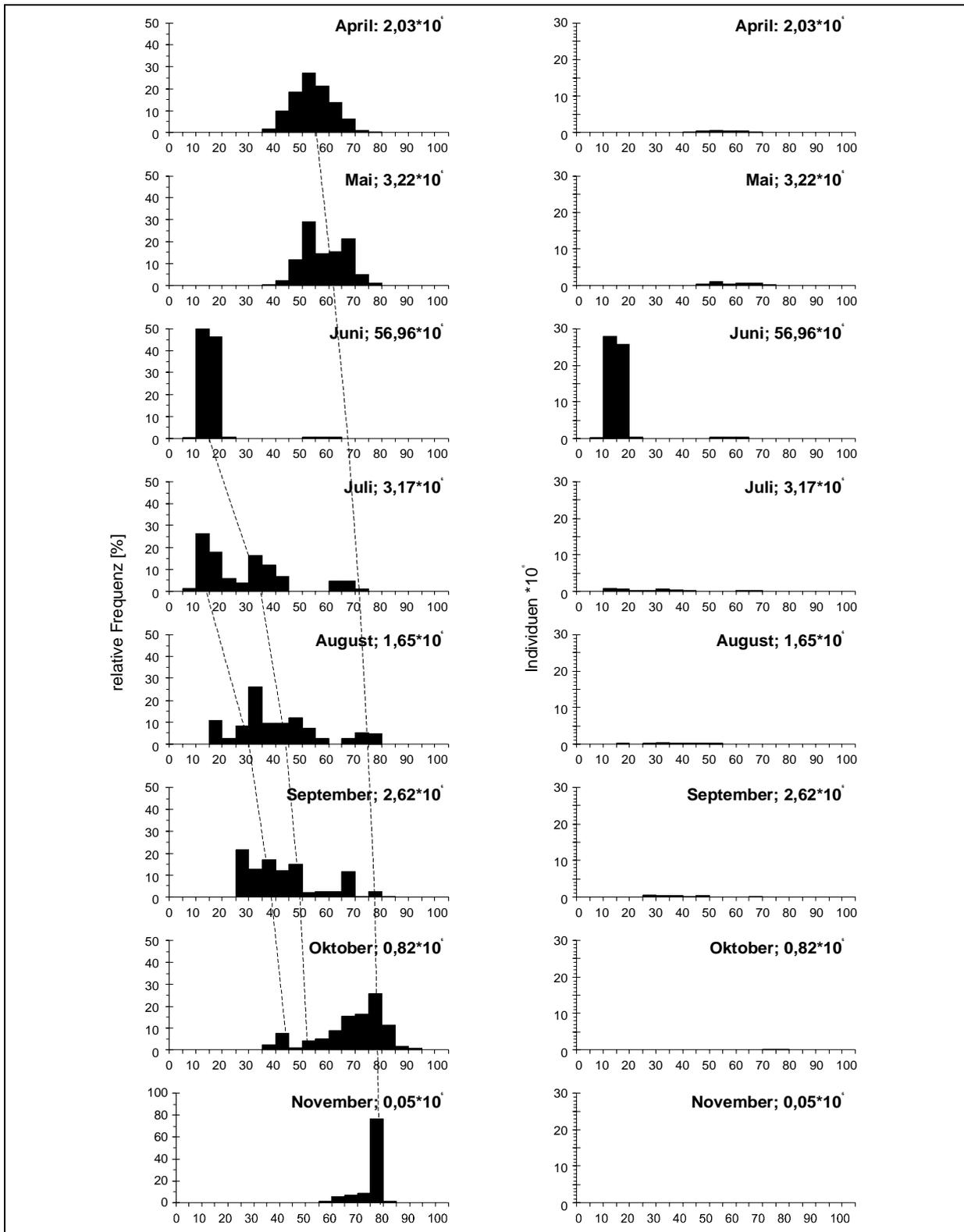
Hierbei erweist sich die Rekrutierung kleiner Sandgrundeln im flachen Wasser der südlichen Bucht (siehe auch Abb. 4.28) als das alles überragende Ereignis für den Bestand dieser Art in der Sylt-Rømø-Bucht, wie die absolute Längen/Häufigkeits-Verteilung im rechten Teil der Graphik zeigt. Diese Rekrutierung findet im Wesentlichen im Juni, mit einem kleinen „Nachschlag“ im Juli, statt. Die Kohorte, die im Juni eine Länge von 10-20mm aufweist, wächst dabei sehr schnell und kann im Folgemonat schon mit einer Länge von 30-40mm im flachen Sublitoral wiedergefunden werden. Sie hat also für diesen Monat einen Zuwachs von rund 0,6mm/d. Gleichzeitig unterliegt sie in diesem ersten Monat offensichtlich einer enormen Mortalität, da sich nach dieser Zeit nur noch rund zweieinhalb Prozent der Tiere wiederfinden lassen, wenn man zugrunde legt, daß die 5-25mm langen Sandgrundeln des Juni im Monat darauf unter den 25-45mm langen Tieren wiederzufinden seien.

Im August und September sind die beiden Kohorten aus Juni und Juli schon nicht mehr eindeutig voneinander zu trennen, setzen sich aber von den 65-80mm langen Tieren der Altersklasse 1 ab. Die Altersklasse 1 der Sandgrundel, die im April mit einer mittleren Länge von 50-60mm in den Fängen gefunden wird, wächst über den Sommer auf Längen von 70-90mm im Herbst heran.

Weiterhin auffällig ist das Fehlen von Grundeln der größeren Längenklassen, die der Altersklasse 1 oder älter zugeordnet werden können, während des Sommers. Diese Tiere halten sich vorwiegend in größerer Tiefe auf. Ihre Abwesenheit deutete sich schon in der sommerlich geringen Grundelabundanz in den Fängen der tiefen Stationen des Standardstationsnetzes an (Abb. 4.16).



**Abbildung 4.38:** Prozentuale Längen/Häufigkeits-Verteilung der Sandgrundel auf den drei Strata des Standardstationsnetzes.



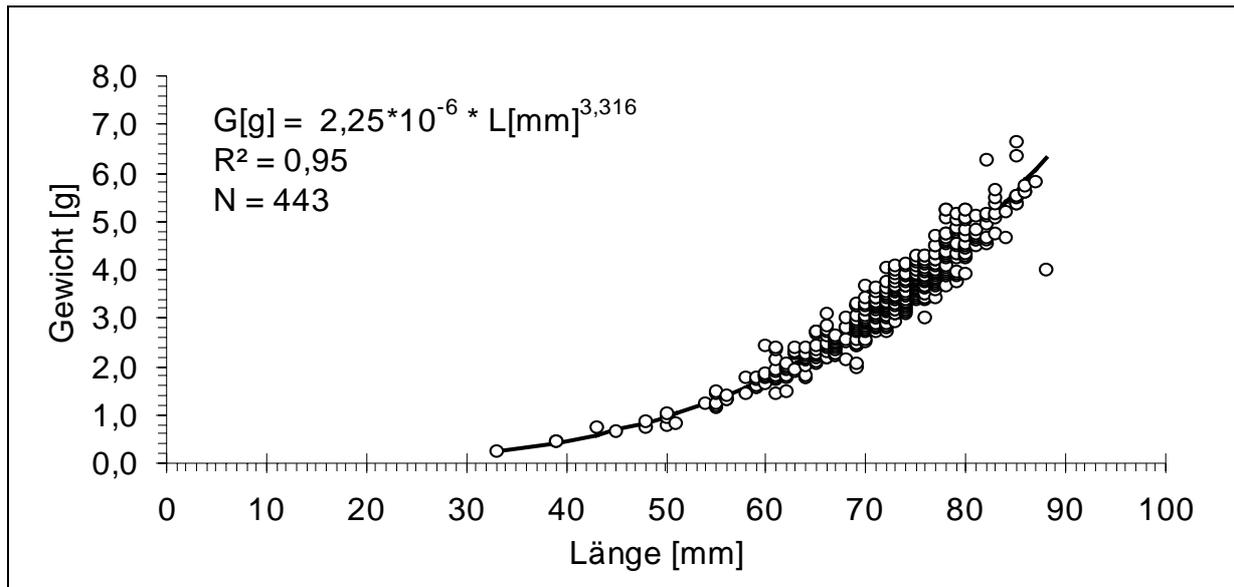
**Abbildung 4.39:** Errechnete relative (links) und absolute (rechts) Längen/Häufigkeits-Verteilung der Sandgrundeln der Sylt-Rømø-Bucht in 1993.

## Längen/Gewichts-Relation

Aus den Gewichten von 443 in den 24-Stunden-Fischereien gefangenen Sandgrundeln konnte folgende Formel für die Längen/Gewichts-Beziehung dieser Art in der Sylt-Rømø-Bucht bestimmt werden:

$$W[\text{g}] = 2,25 \cdot 10^{-6} \cdot L[\text{mm}]^{3,316}$$

Die Einzelwerte und die errechnete Funktion sind in Abbildung 4.40 wiedergegeben.

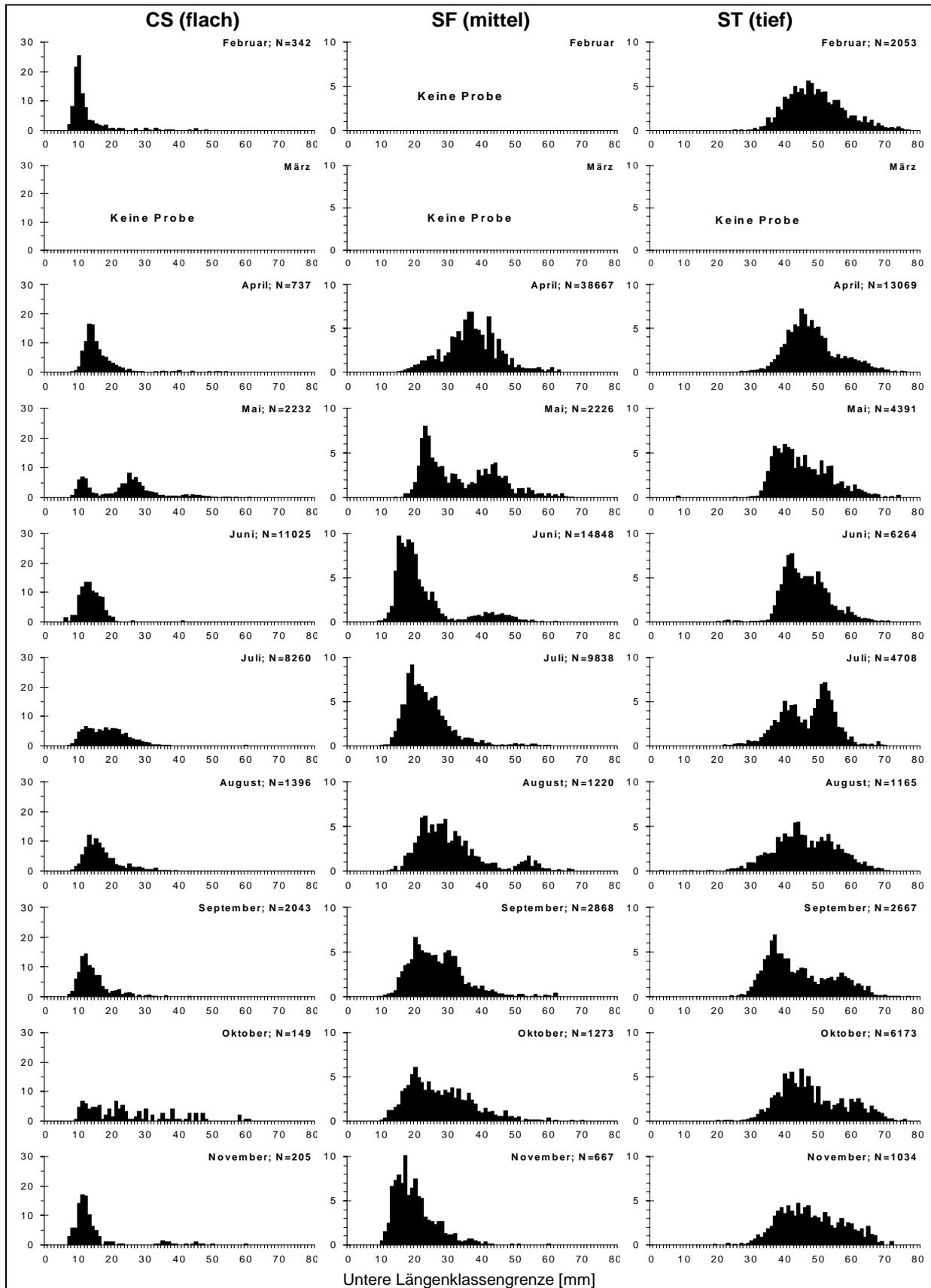


**Abbildung 4.40:** Längen/Gewichts-Relation der Sandgrundel in der Sylt-Rømø-Bucht 1993.

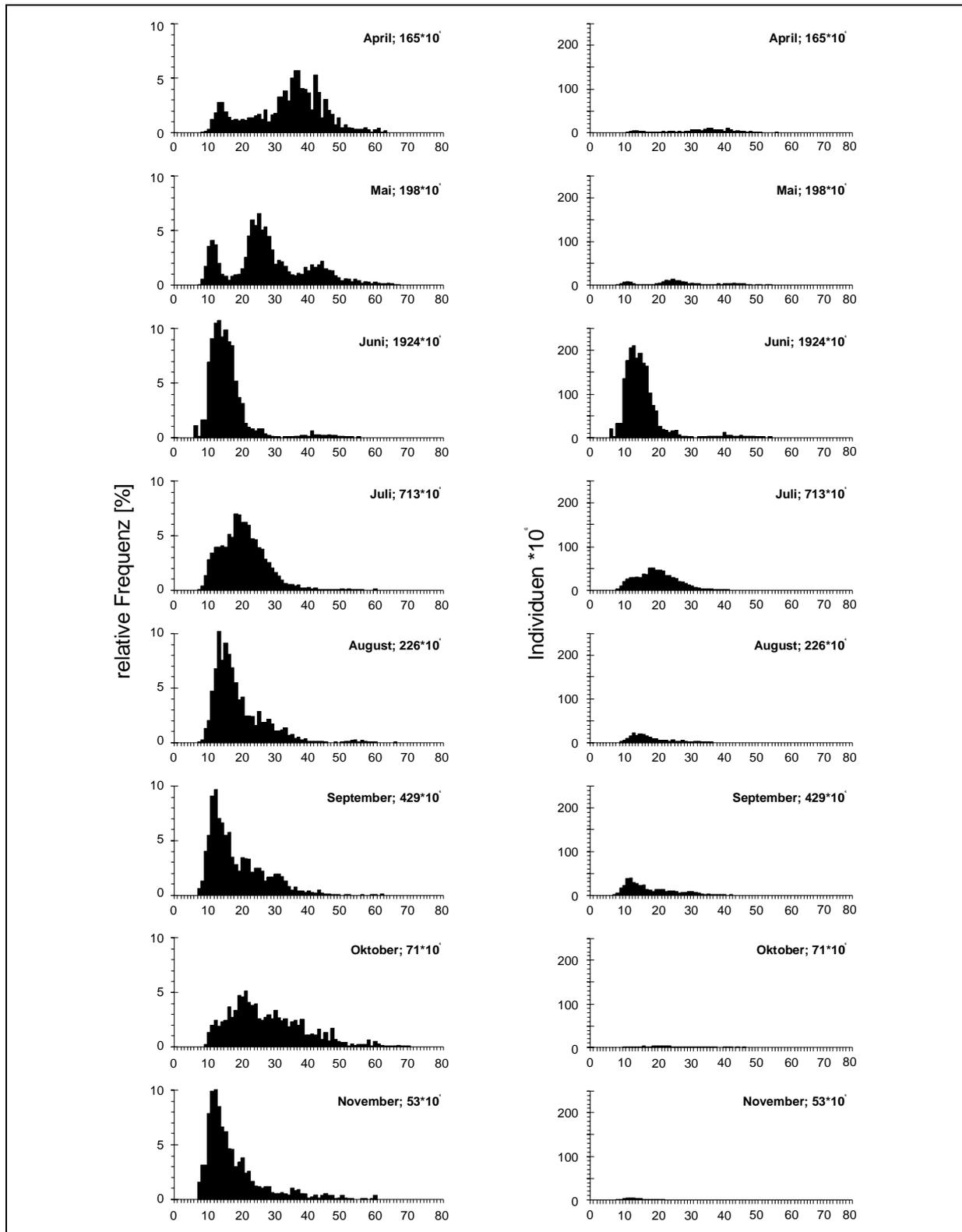
### 4.4.2.2 Garnelen

Auch bei der Sandgarnele kann eine Trennung der Längensklassen nach der Tiefe festgestellt werden. Allerdings zeigen sich im Gegensatz zur Sandgrundel hier weder in den für die drei Standard-Stationsserien getrennt aufgetragenen relativen Längen/Häufigkeits-Verteilungen (Abb. 4.41) noch in der errechneten Längen/Häufigkeits-Verteilung für den gesamten Bestand in der Sylt-Rømø-Bucht (Abb. 4.42) Kohorten, die sich über einen längeren Zeitraum verfolgen ließen.

Auch bei der Sandgarnele stellt die Rekrutierung im Juni das quantitativ auffälligste Ereignis im Jahresgang dar, wie in der in absoluten Werten dargestellten rechten Hälfte der Abb. 4.41 deutlich wird. Allerdings scheint das Rekrutierungsgeschehen nicht auf die Sommermonate beschränkt zu sein. Zumindest können das ganze Jahr hindurch - sogar im Februar - in wechselnder Menge Sandgarnelen mit einer Länge von rund 10mm im flachen Eulitoral gefangen werden.



**Abbildung 4.41:** Prozentuale Längen/Häufigkeits-Verteilung der Sandgarnele auf den drei Strata des Standardstationsnetzes.



**Abbildung 4.42:** Errechnete relative (links) und absolute (rechts) Längen/Häufigkeits-Verteilung der Sandgarnelen der Sylt-Rømø-Bucht in 1993.

Der Juni-Gipfel junger Garnelen von rund 15mm Länge zeichnet sich im folgenden Monat noch einmal bei 20 bis 25mm ab, ist im darauf folgenden Monat aber schon nicht mehr

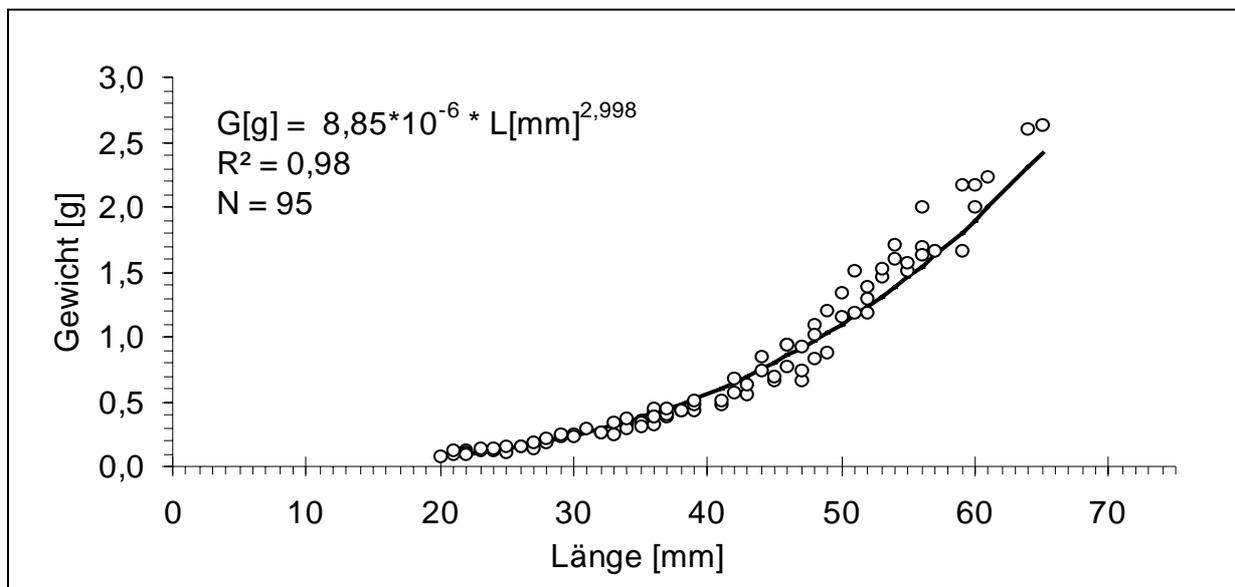
vom Rest der Längen/Häufigkeits-Verteilung zu trennen. Schon im August sind es wieder die kleinsten Längensklassen von etwas über 10mm, die - obwohl absolut in viel geringerer Stückzahl als im Juni - die Längen/Häufigkeits-Verteilung dominieren. Eine Verfolgung der Kohorten zur Bestimmung des Wachstums und der Produktion scheidet daher aus.

#### L ä n g e n / G e w i c h t s - R e l a t i o n

Anhand einer Probe von annähernd gleichmäßig über das Längenspektrum verteilten Garnelen wurde die Längen/Gewichts-Beziehung ermittelt. Sie kann mit der folgenden Formel beschrieben werden:

$$G[\text{g}] = 8,849 \cdot 10^{-6} * L[\text{mm}]^{2,998}$$

Die Einzelwerte und die errechnete Funktion sind in Abbildung 4.43 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß die für diese Art von Verhältnissen vorgegebene Potenzfunktion die Daten für die Sandgarnele nicht in idealer Weise beschreibt.



**Abbildung 4.43:** Längen/Gewichts-Relation der Sandgarnele in der Sylt-Rømø-Bucht 1993.

#### 4.4.3 Überschlagn des Jahresverlaufs der Biomasse und der Produktion

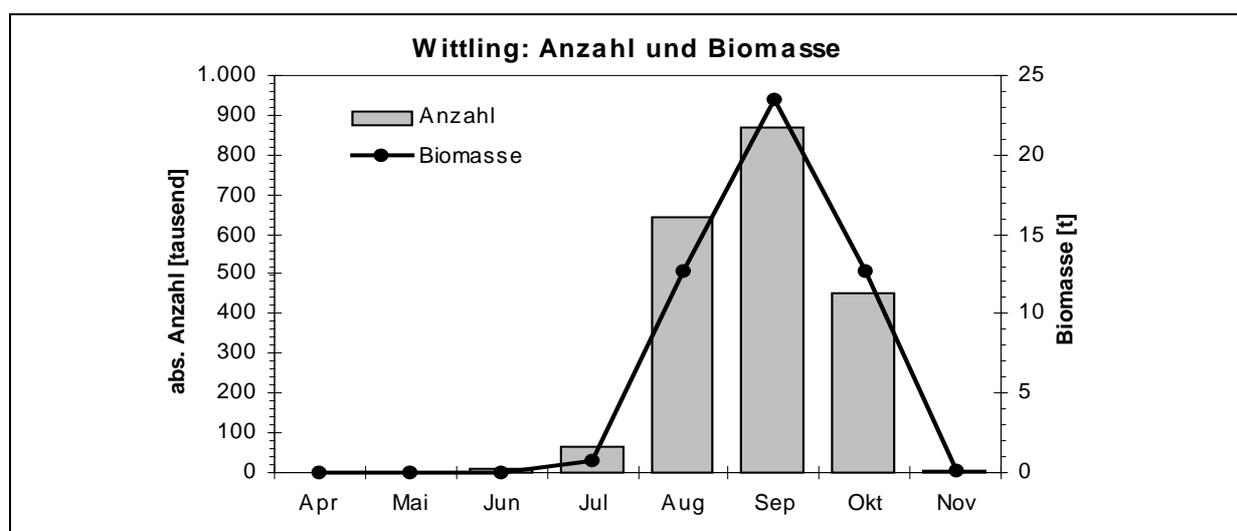
Aus den monatsweise gewonnenen Abundanzwerten und den ebenfalls monatlich erfaßten Längen/Häufigkeits-Verteilungen kann unter Verwendung der oben angeführten Längen/Gewichts-Funktionen eine Abschätzung der Biomasse der betreffenden Arten im Untersuchungsgebiet erfolgen (s. Kap. 3.3 zum Berechnungsverfahren).

Die beiden Räuberarten wurden bei Fängen auf dem Standardstationsnetz nur im tieferen Sublitoral angetroffen, weswegen sich eine getrennte Beschreibung für die unterschiedlichen Strata erübrigt. Beide Arten hatten den Gipfel des Jahresgangs ihrer Biomasse im September, wenn auch mit sehr unterschiedlicher Höhe (Abb. 4.44 u. 4.45). Die Biomasse des Wittlings in der Sylt-Rømø-Bucht erreichte ein Maximum von rund 24t, die höchste berechnete Biomasse für den Kabeljau lag bei 0,85t, also beinahe um den Faktor 30 niedriger. Die Zunahme der Biomasse beider Arten bis zum September ist sowohl die Folge ansteigender Abundanzen, also fortgesetzter Zuwanderung in die Sylt-Rømø-Bucht, als auch des Wachstums der Individuen (s.o.). Die Abnahme der Biomasse nach dem September dürfte im wesentlichen eine Folge der Abwanderung in die offene Nordsee sein, da für eine Mortalität in dieser Höhe im Untersuchungsgebiet die erforderliche Menge Räuber 2. bzw. 3. Ordnung fehlten.

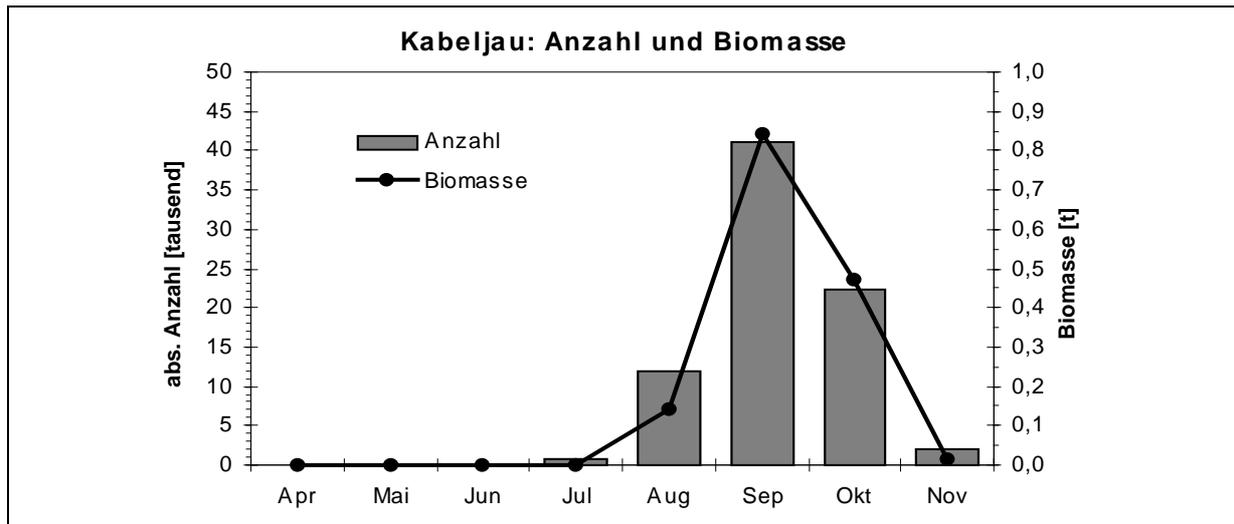
Für die beiden Räuberarten lassen sich nach der in Kap. 3.3 angegebenen Gleichung 3.3 die in Tab. 4.05 wiedergegebenen Produktionswerte für die gesamte Sylt-Rømø-Bucht ermitteln:

**Tabelle 4.05:** Produktion von Kabeljau und Wittling in kg in der Sylt-Rømø-Bucht zwischen April und November 1993. Jeweils von Monatsmitte bis Monatsmitte.

Spezies	Apr-Mai	Mai-Jun	Jun-Jul	Jul-Aug	Aug-Sep	Sep-Okt	Okt-Nov	Summe
Kabeljau	0	0	0	0	201	45	0	246
Wittling	0	0	0	3629	3062	1556	0	8247



**Abbildung 4.44:** Verlauf der Gesamtzahl und der Biomasse der Wittlinge der Sylt-Rømø-Bucht in 1993.



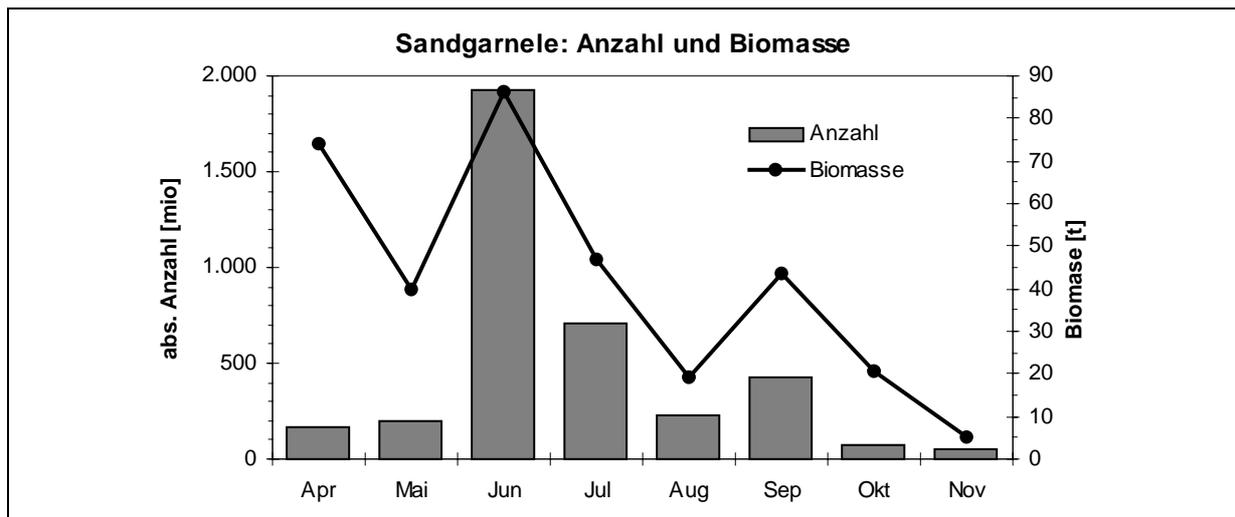
**Abbildung 4.45:** Verlauf der Gesamtzahl und der Biomasse der Kabeljau der Sylt-Rømø-Bucht in 1993.

Aufgrund der geringen Fangzahlen im November (s. Abb. 4.32) - und der damit verbundenen Unsicherheit hinsichtlich der Bestimmung des mittleren Gewichts - wurde für den November jeweils das mittlere Gewicht der Fische vom Oktober eingesetzt. Dieses 'Nullwachstum' der Individuen hat eine entsprechende 'Nullproduktion' zur Folge.

Weniger einfach als bei den Gadiden stellt sich der Verlauf der Biomasse der Beutearten im Untersuchungsgebiet dar. Einerseits war das Vorkommen der Sandgarnelen und Sandgrundeln nicht auf ein Stratum des Standardstationsnetzes beschränkt, zum anderen sind diese Arten zumindest zeitweise mit mehr als einer Altersklasse in den Proben vertreten.

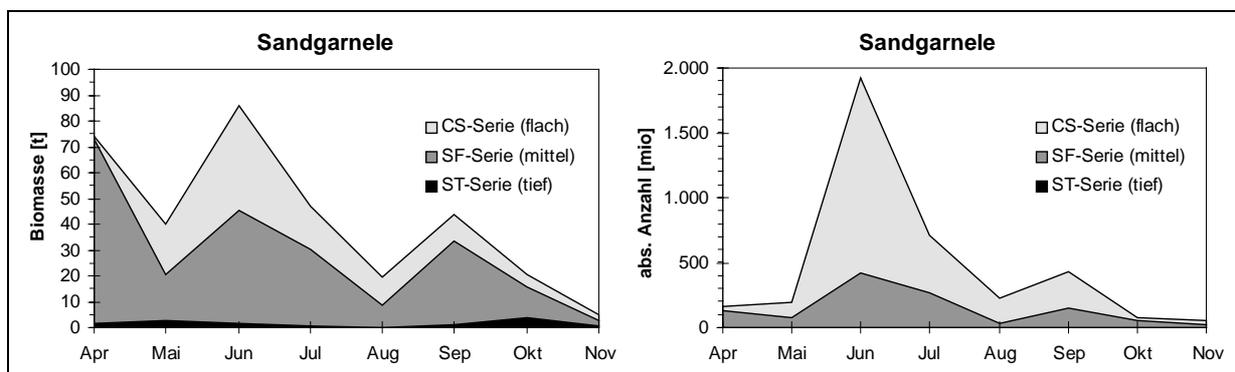
Beide Arten zeigen einen mehrgipfeligen Jahresverlauf der Biomasse. Bei der Sandgarnele liegen die Maxima im April, Juni und September, wobei der Juni mit 86t in der Sylt-Rømø-Bucht das Gesamtmaximum aufweist (Abb. 4.46). Dies ist auch der Monat, in dem - bedingt durch die immens hohen Dichten von zum frisch Bodenleben übergegangenen kleinen Sandgarnelen im oberen Eulitoral - die höchsten Abundanzen dieser Art in der Sylt-Rømø-Bucht erreicht wurden. Der Biomasegipfel im April geht auf eine wesentlich kleinere Anzahl deutlich größerer Tiere zurück und der Gipfelwert des Septembers stellt eine Mischung dar von anhaltend hohen Anzahlen nachrekrutierender kleiner Tiere und dem Gewichtszuwachs der Kohorte des Hauptrekrutierungsschubs aus dem Juni (s.a. Abb. 4.42).

An dieser Stelle sei erwähnt, daß die mittlere Biomasse der Sandgarnele von ca. 42t ziemlich genau der Doppelten mittleren Biomasse aller Fische der Sylt-Rømø-Bucht entspricht.



**Abbildung 4.46:** Verlauf der Gesamtzahl und der Biomasse der Sandgarnele der Sylt-Rømø-Bucht in 1993.

Bei der Betrachtung der Verteilung der Biomasse der Sandgarnele auf die verschiedenen Tiefenstrata (Abb. 4.47) wird deutlich, daß das in der SF-Serie befischte tiefe Eulitoral und flache Sublitoral im gesamten Jahr den größten Anteil der Biomasse trägt, während die Anzahlen der Tiere meist im flachen Eulitoral höher liegen; eine Folge der weiter oben erwähnten größenabhängigen Tiefenverteilung der Sandgarnele.



**Abbildung 4.47:** Verteilung der Biomasse und Anzahl der Sandgarnele auf den Strata des Standardstationsnetzes.

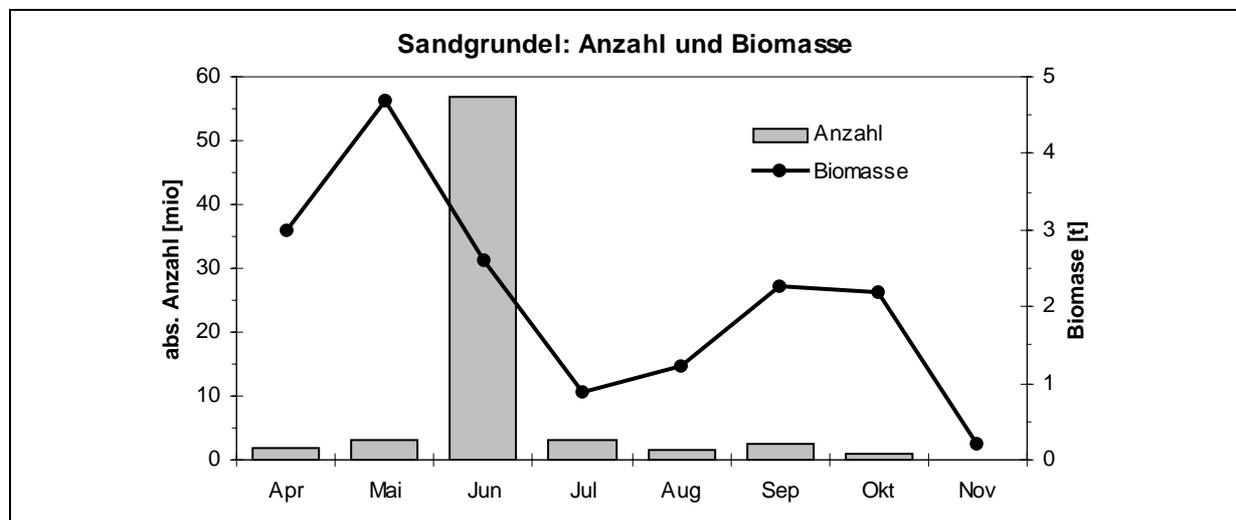
Da ein Wachstum nach Kohorten nicht bestimmt werden konnte (s. Kap. 4.4.2.2, Abb. 4.42) wurde zur Produktionsberechnung auf die mittleren monatlichen P/B-Quotienten aus einer anderen Arbeit im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer (del Norte-Campos, 1995) zurückgegriffen. Diese, und die sich damit errechnenden Gesamtproduktionen der Sylt-Rømø-Bucht sind in Tabelle 4.06 wiedergegeben.

**Tabelle 4.06:** Produktion der Sandgarnele in der Sylt-Rømø-Bucht in Tonnen zwischen April und Oktober 1993. Jeweils von Monatsmitte bis Monatsmitte gerechnet.

\*) P/B-Quotienten nach del Norte-Campos, 1995

	Apr-Mai	Mai-Jun	Jun-Jul	Jul-Aug	Aug-Sep	Sep-Okt
P/B <sup>*)</sup>	0,4	0,7	1,1	1,1	2,4	1,9
Produktion [t]	31,0	26,8	92,9	51,3	46,3	83,5

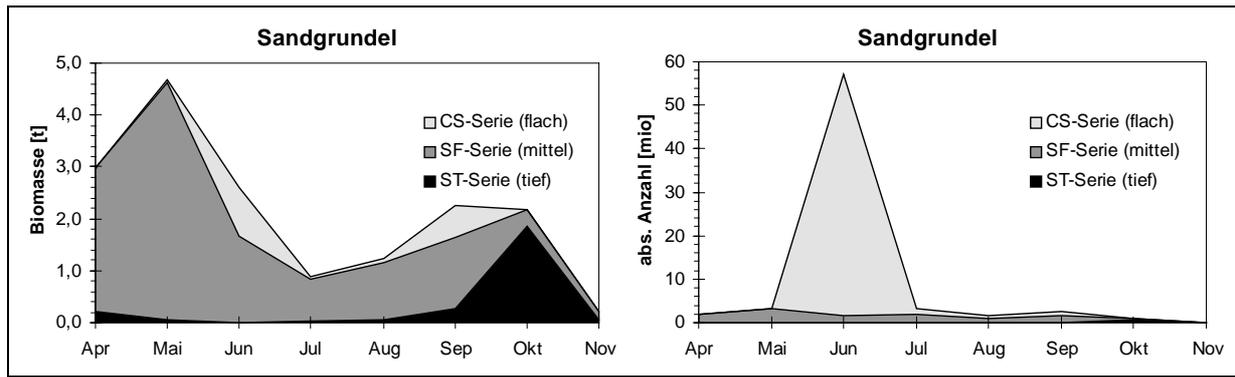
Nochmals anders stellt sich der Jahresverlauf der Biomasse der Sandgrundeln dar (Abb. 4.48). Hier liegt das Maximum mit rund 4,5t im Mai, einen Monat bevor die Rekrutierung im flachen Eulitoral zum Maximum der Anzahl der Tiere dieser Art in der Sylt-Rømø-Bucht führt. Der zweite Gipfel der Biomasse liegt im September/Oktober. Dann aber werden nur noch Werte von etwas oberhalb 2t erreicht.



**Abbildung 4.48:** Verlauf der Gesamtzahl und der Biomasse der Sandgrundel der Sylt-Rømø-Bucht in 1993.

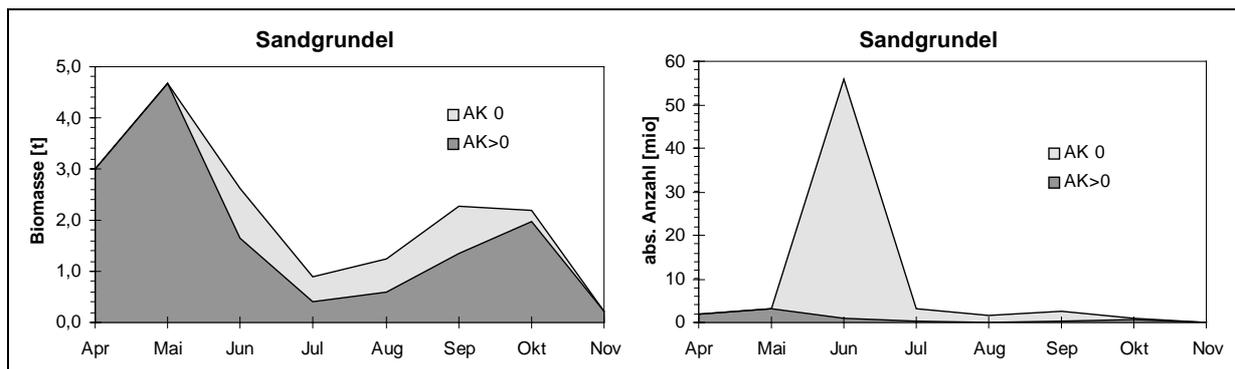
Noch eindeutiger als bei der Sandgarnele sind es hier die mittleren und im Herbst dann auch die größeren Tiefen des Untersuchungsgebiets, die den überwiegenden Teil der Biomasse tragen (Abb. 4.49). Die hohen Abundanzen frisch zum Bodenleben übergegangener kleiner Grundeln, die im Juni im flachen Eulitoral auftraten, trugen in nur sehr unbedeutendem Maß zur Biomasse dieser Art bei.

Anhand der Längen/Häufigkeits-Verteilung (Abb. 4.39) ist es leicht möglich, eine Unterscheidung zwischen Sandgrundeln der Altersklasse 0 und älterer Altersklassen vorzunehmen. Die Trennlänge, unterhalb derer eine Zugehörigkeit zur AK0 angenommen wurde, wurde im Juni bei 40, im Juli bei 50, im August bei 55 und von September bis November bei 60 Millimetern gesetzt.



**Abbildung 4.49:** Verteilung der Biomasse und Anzahl der Sandgrundel auf den Strata des Standardstationsnetzes.

Die sich daraus ergebende Aufteilung der Biomasse und Abundanz auf die Altersklassen ist in Abbildung 4.50 dargestellt. Einerseits wird auf diese Weise deutlich, daß die Altersklasse 0 kaum zur Gesamtbiomasse dieser Art in der Sylt-Rømø-Bucht beiträgt, andererseits fällt ein sommerliches Minimum der Biomasse (und Abundanz) von älteren Sandgrundeln auf, das auf eine zeitweise Abwanderung der älteren Tiere zurückzuführen sein dürfte.



**Abbildung 4.50:** Verteilung der Biomasse und Anzahl der Sandgrundel auf die Altersklasse 0 und ältere Altersklassen im Gesamtbestand der Sylt-Rømø-Bucht.

Die Produktion der Sandgrundeln läßt sich ebenfalls auf die Altersklassen verteilen, da sie separat für beide Kohorten errechnet wird (Tab. 4.07). Auffällig ist dabei die 'negative Produktion' beider Altersklassen zwischen August und September. Dies ist relativ kleinen Verschiebungen in der Längen/Häufigkeits-Verteilung zuzulasten, wie sie in Abb. 4.39 wiedergegeben ist. Andererseits zeigt sich deutlich, daß die Altersklasse 0 zum sehr überwiegenden Teil die Gesamtproduktion dieser Art im Jahresverlauf bestimmt. Die Altersklassen >0 tragen nur rund 18% dazu bei, obwohl sie den Jahresverlauf der Biomasse dominieren.

**Tabelle 4.07:** Produktion der Altersklassen der Sandgrundel in kg in der Sylt-Rømø-Bucht zwischen April und November 1993. Jeweils von Monatsmitte bis Monatsmitte.

	Apr-Mai	Mai-Jun	Jun-Jul	Jul-Aug	Aug-Sep	Sep-Okt	Okt-Nov	Summe
AK-0	0	479	4.183	641	-44	450	79	5.788
AK>0	-54	604	280	270	-302	329	114	1.242
Summe	-54	1.083	4.464	910	-346	779	193	7.030

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, daß es eine „Ungleichzeitigkeit“ in den Gipfelwerten der Biomasse von Räubern (September) und Beute (Mai/Juni) gibt. Zum Zeitpunkt der höchsten Räuberichten beträgt die Biomasse beiden hier betrachteten Beutearten nur rund das 1,9fache der Biomasse der ausgewählten Räuberarten.

## 4.5 Nahrungsökologie der Räuber

### 4.5.1 Nahrungszusammensetzung quantitativ

#### 4.5.1.1 Mengen und Anteile der Nahrungsfractionen in den Mägen

Bei den meisten Arten wurden vollständig leere Mägen nur selten angetroffen. Geringe Mengen stark verdauter Nahrungsreste oder Schleim sind fast immer im Magen vorhanden und führen bei der Ermittlung des Mageninhaltsgewichts nach der in Kap 3.2.3 angeführten Methode zu einem Mageninhalt  $>0$ . Wenn der Schwellwert des Mageninhalts, unterhalb dessen ein Magen als 'leer' definiert wird, bei 0,25% des Körpergewichts festgelegt wird, dann waren die Anzahlen und Prozentsätze leerer Mägen wie in Tabelle 4.08 wiedergegeben auf die Arten verteilt. Dabei stammen die Mägen der 3 Arten Seeskorpion, Steinpicker und Kliesche ausschließlich aus der 24-Stunden-Fischerei vom April 1992, von den anderen Arten wurden für diese erste Übersicht alle Mägen aus allen Monaten betrachtet.

**Tabelle 4.08:** Anzahl und Anteil leerer Mägen (Füllungsindex  $< 0,25$ ).

Fischart	Anzahl als leer definierter Mägen	in Prozent der Anzahl der untersuchten Mägen
Kabeljau	85	6,2
Wittling	355	12,8
Sandgrundel	303	60,6
Seeskorpion	31	9,4
Steinpicker	79	23,2
Kliesche	110	24,6

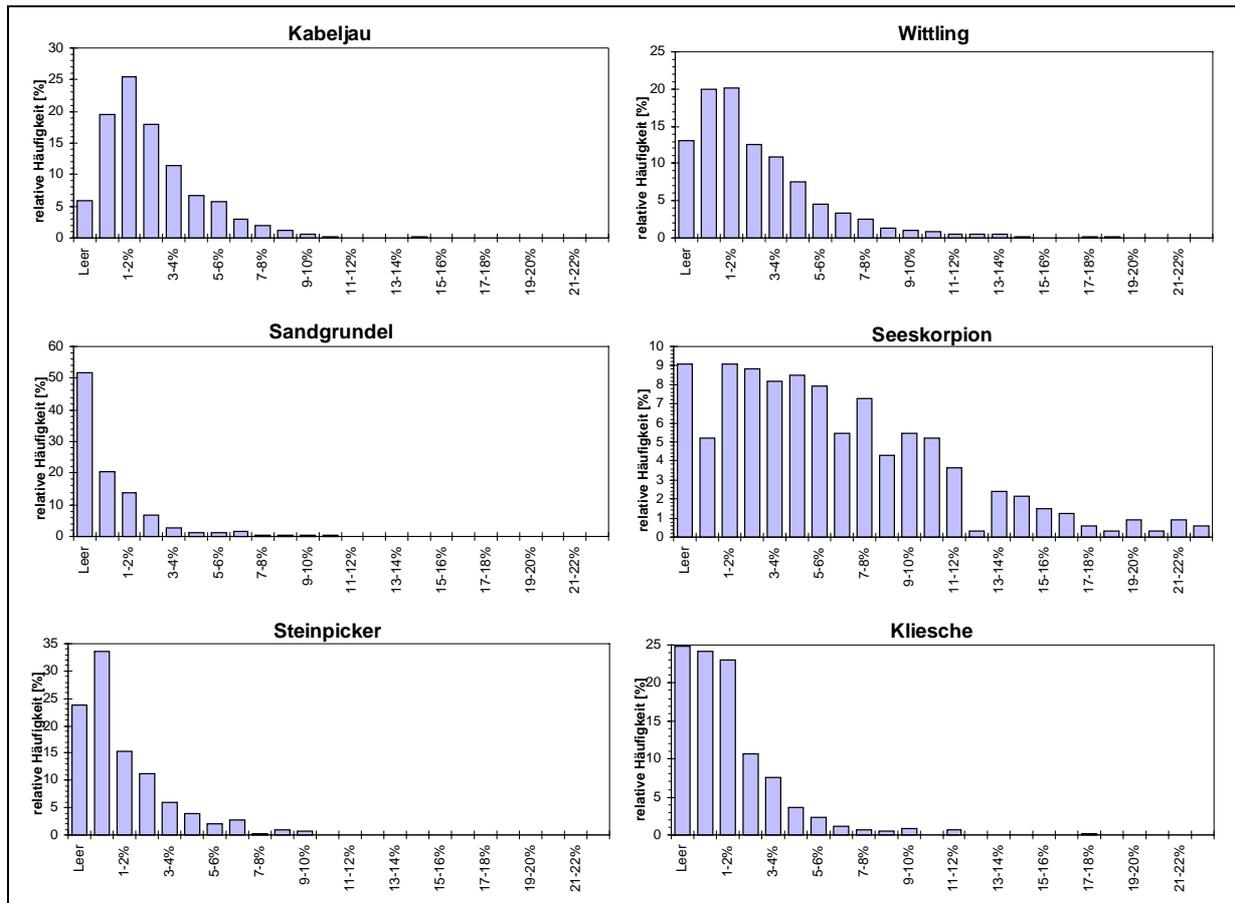
Am höchsten lag der Anteil leerer Mägen bei der Sandgrundel, die auch bei der Häufigkeitsverteilung der Füllungsindizes (Abb. 4.51) ein von den anderen untersuchten Arten stark abweichendes Bild zeigt. Füllungsindizes  $>5$  wurden bei der Sandgrundel nur 17 Fällen (3,4%) festgestellt und der Maximalwert des  $Fi$  lag bei 10,3, was in der Höhe ungefähr dem Maximalwert beim Steinpicker (9,7) entspricht, der aber im Mittel deutlich vollere Mägen hatte. Bei den Gadiden wurden nochmals höhere maximale Füllungsindizes festgestellt, die schließlich noch vom Seeskorpion übertroffen wurden (Tabelle 4.09).

Nicht nur der Maximalwert lag beim Seeskorpion außergewöhnlich hoch, auch der Anteil Mägen mit hohem  $Fi$  war deutlich größer, was sich in einem - im Vergleich zu den Gadiden - mehr als doppelt so hohen Medianwert und Mittelwert des  $Fi$  äußert. Die beiden Gadidenarten waren sich wiederum in Maximal und Mittelwerten sehr ähnlich. Das arithmetische Mittel ist keine sehr geeignete Kenngröße der Verteilung der  $Fi$ -Werte, da diese (wie die Abbildung 4.51 deutlich zeigt) nicht normalverteilt sind. Er wird aber zur Ermittlung der Konsumtion benutzt und ist daher in Tabelle 4.09 mit angeführt. Die geeignetste Beschreibung der zentralen Tendenz dürfte der Modus-Wert (Sissenwine, 1978) liefern, der die bei Kabeljau, Wittling und Steinpicker gut zu erkennende Links-Schiefe der Verteilungsform berücksichtigt (Abb. 4.51).

**Tabelle 4.09:** Kenngrößen des Füllungsindex.

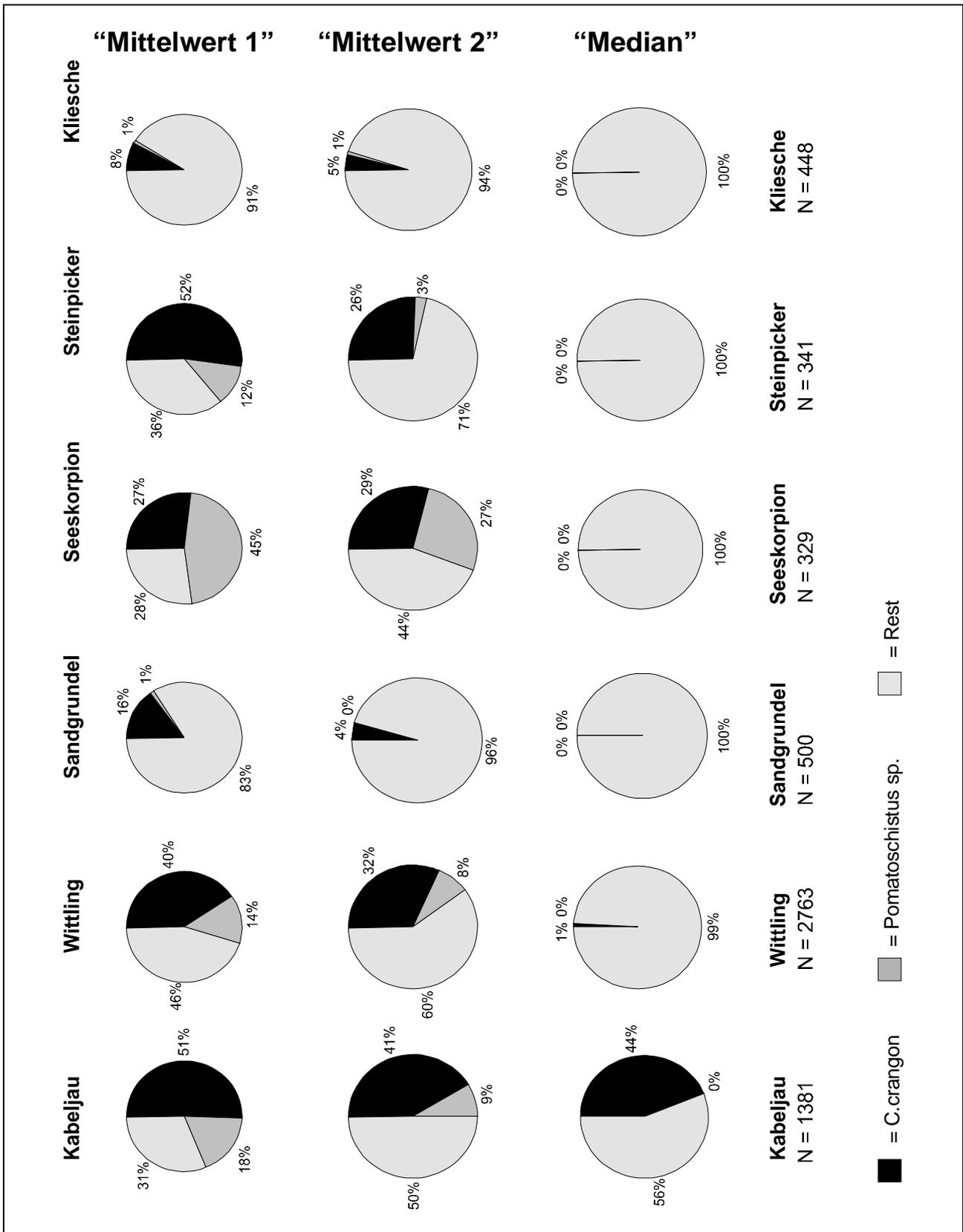
Fischart	Maximum	Median	Modus <sup>1)</sup>	arithm. Mittel
Kabeljau	19,0	1,9	1,95	2,43
Wittling	16,9	1,8	1,84	2,54
Sandgrundel	8,6	0,1	0,38	0,56
Seeskorpion	20,5	4,8	3,97	5,62
Steinpicker	8,8	0,7	1,03	1,46
Kliesche	14,8	1,0	1,16	1,64

<sup>1)</sup> siehe Sissenwine (1978)



**Abbildung 4.51:** Relative Häufigkeit der Füllungsindizes (Mageninhaltsgewicht in % Körpergewicht) für 6 Fischarten. Seeskorpio, Steinpicker und Kliesche nur aus der 24-Stundenfischerei vom April 1992.

Einen groben ersten Eindruck von den Gewichtsanteilen der drei Beutefraktionen Sandgarnele, Grundel und Rest soll die Abbildung 4.52 geben, die jeweils alle Mägen der jeweiligen Art zur Grundlage hat. Die Abbildung zeigt jeweils 3 Diagramme für jede Fischart. Hierbei gibt die oberste, „Mittelwert 1“, die Verteilung wieder, die entstünde, wenn der Inhalt aller Mägen der jeweiligen Art zusammengefaßt und danach erst die Anteile der Nahrungsfractionen bestimmt würden. Er entspricht also der Auswertung gepoolter Mägen.



**Abbildung 4.52:** Anteile der drei Gewichtsfractionen des Mageninhalts aufgetragen nach den unterschiedlichen Berechnungsverfahren (siehe Text).

Die Darstellungen unter den Überschriften „Mittelwert 2“ und „Median“ hingegen beziehen ihre Daten aus den Einzelmägen. Der erste Fall gibt dabei die Mittelwerte des prozentualen Gewichtsanteils der jeweiligen Beutefraktion in den einzelnen Mägen der jeweiligen Fischarten wider. So beträgt der Anteil der Sandgarnele in der Summe aller Kabeljaumägen 51%, während ihr mittlerer Anteil im einzelnen Kabeljaumagen 41% beträgt.

Da nun aber der Anteil, welche die jeweilige Nahrungsfraktion in den Einzelmägen hat, durchaus nicht über die Mägen normalverteilt ist (s.u.), so ist das arithmetische Mittel ein ungeeignetes Maß zur Beschreibung der mittleren Lage und das 3. Berechnungsverfahren der zentralen Tendenz der Verteilung der Fraktionen gibt die Medianwerte der Anteile der jeweiligen Nahrungsfraktion in den Einzelmägen an. Hierbei wird deutlich, daß z.B. nur weniger als die Hälfte der Kabeljaumägen überhaupt Grundeln enthält, während der Anteil der Grundel an der Nahrung „des Kabeljaus der Sylt-Rømø-Bucht“ rund 18% betrug (Modell 1) und der mittlere Anteil der Grundel im Kabeljaumagen immerhin noch bei 8% lag.

In der Folge wird das Modell 1 (gepoolte Mägen) benutzt werden, wenn es um die Berechnung der Konsumtion „des Räubers“ an „der Beute“ geht, also nicht das jeweilige Individuum, sondern das „trophische Kompartiment Räuber“ betrachtet wird.

**Tabelle 4.10:** Präsenz und Anzahlen von Sandgarnelen in den Mägen.

Fischart	Präsenz	Maximum	Median	Modus	arithm. Mittel
Kabeljau	59,7 %	19	1	0,92	1,44
Wittling	49,4 %	27	1	0,73	1,24
Sandgrundel	6,2 %	1	0	0,05	0,07
Seeskorpion	50,2 %	4	1	0,45	0,73
Steinpicker	39,3 %	9	0	0,49	0,79
Kliesche	10,5 %	5	0	0,07	0,13

**Tabelle 4.11:** Präsenz und Anzahlen von Grundeln in den Mägen.

Fischart	Präsenz	Maximum	Median	Modus	arithm. Mittel
Kabeljau	13,5 %	4	0	0,11	0,16
Wittling	11,9 %	4	0	0,09	0,14
Sandgrundel	0,6 %	1	0	0,00	0,01
Seeskorpion	32,8 %	3	0	0,27	0,36
Steinpicker	3,5 %	1	0	0,02	0,04
Kliesche	0,7 %	1	0	0,00	0,01

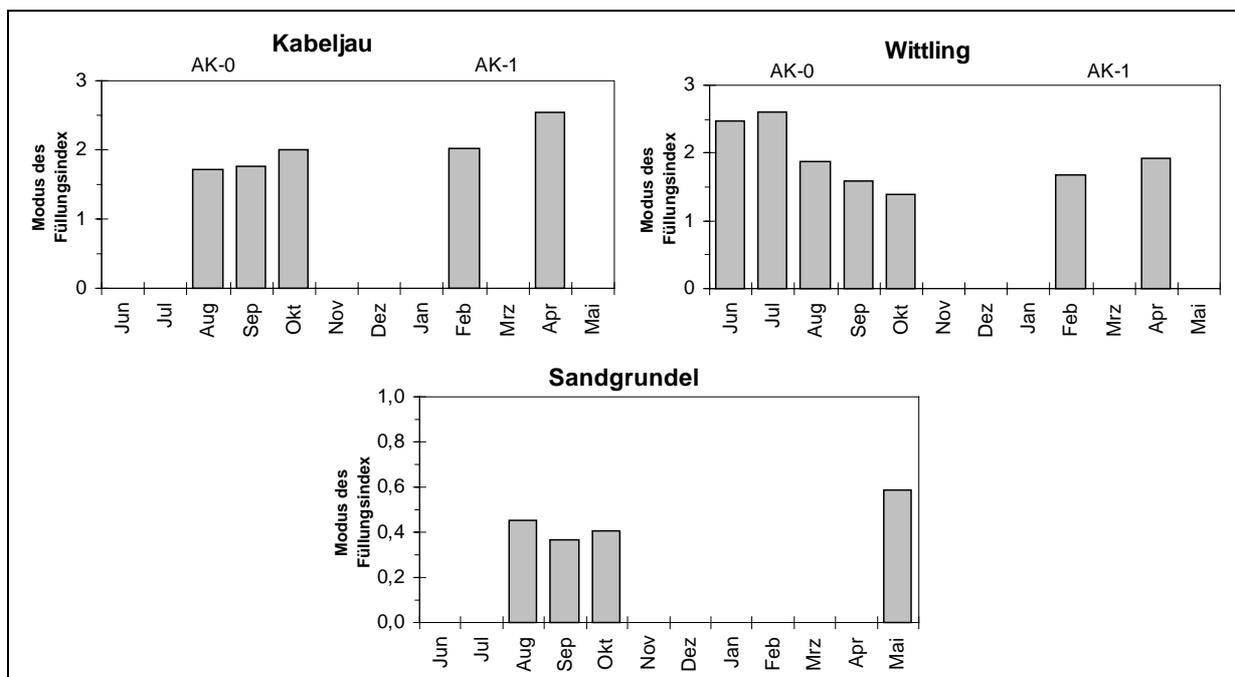
Die Tabellen 4.10 und 4.11 geben einen Überblick über Präsenz und Anzahlen der in den Mägen gefundenen Beuteorganismen. Die höchsten Anzahlen von Garnelen und Grundeln wurden in den Mägen der Gadiden gefunden. Deutlich geringere Zahlen wurden für

Seeskorpion und Steinpicker ermittelt. Bei den Grundeln als Beute zeigt sich allerdings für den Seeskorpion ein vergleichsweise sehr hoher Mittelwert der Anzahlen in den Mägen. Nur sehr geringe Anzahlen von Sandgarnelen und Grundeln wurden bei der Sandgrundel als Räuber gefunden. Der Kannibalismus spielt für die Ernährung der Sandgrundel der Sylt-Rømø-Bucht demnach eine zu vernachlässigende Rolle.

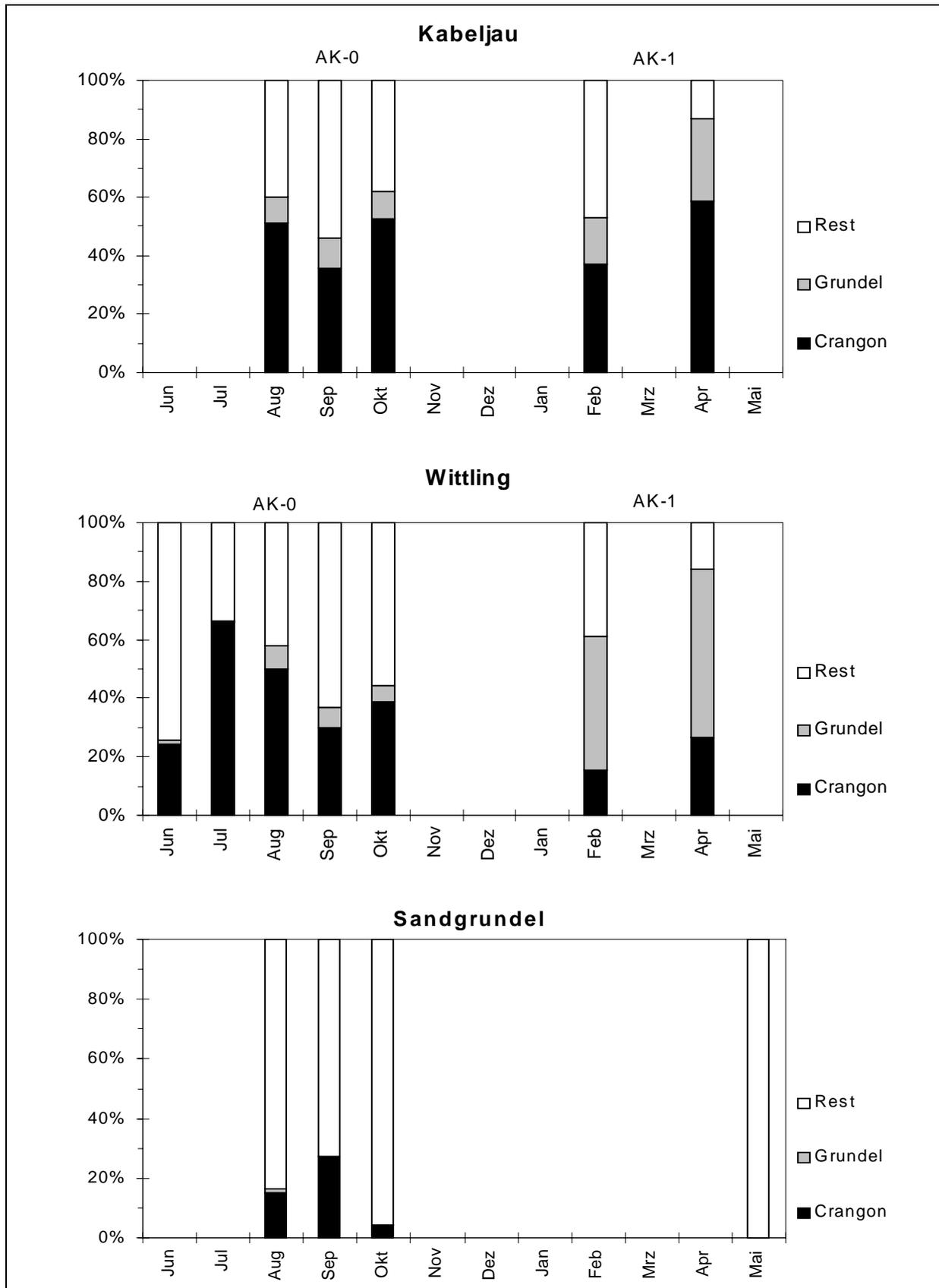
#### 4.5.1.2 Saisonaler Verlauf der Mengen und Anteile

Für den Füllungsindex läßt sich ein saisonaler Verlauf beschreiben, in dem sich die Arten unterscheiden (Abb. 4.53). Hierbei wurden für die Gadiden die Monate Juni bis Oktober des Jahres 1993 den Monaten Februar und April des Jahres 1992 vorangestellt. Im ersten Teil handelt es sich bei den Fischen um die Altersklasse 0, im zweiten Teil um die Altersklasse 1 allerdings nicht derselben Kohorte. Für die Gadiden entspricht diese Darstellung also auch einer Grafik des Füllungsindex über das Alter der Tiere (ebenso wie die folgende Abb. 4.54). Hierbei zeigt sich ein gegenläufiger Trend in den Modi des Füllungsindex, der beim Kabeljau von rund 1,7 auf 2,5 ansteigt. Der Anstieg des mittleren Magengewichts übertrifft im Verlauf des Wachstums also den Anstieg des Körpergewichts. Beim Wittling sinkt im Verlauf des ersten Jahres der Füllungsindex um dann bei der Altersklasse 1 wieder leicht anzusteigen.

Bei den Grundeln stammten die Proben aus den gezeigten Monaten der Reihenfolge 1993/94. Es ergibt sich kein einheitliches Bild, allerdings ist die Anzahl der Monate mit Beobachtung auch gering.

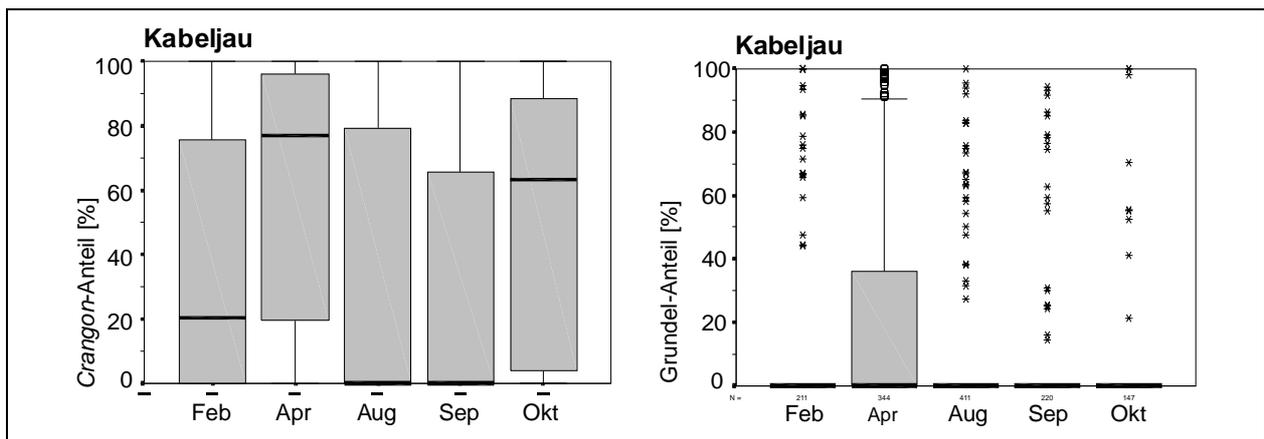


**Abbildung 4.53:** Saisonaler Verlauf des Modus des Füllungsindex.

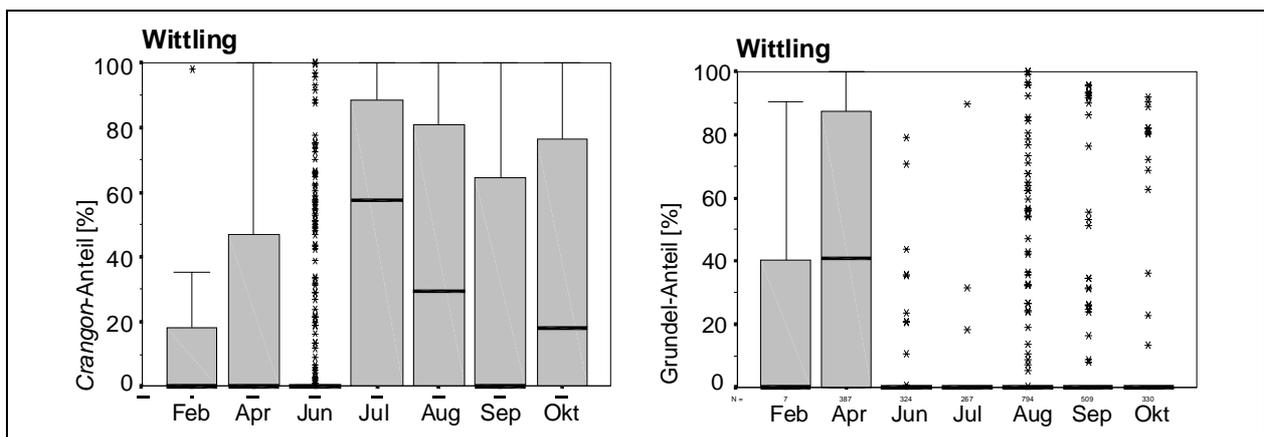


**Abbildung 4.54:** Verlauf der Gewichtsanteile der drei Fraktionen in der monatlichen Summe der Mageninhalte von Kabeljau, Wittling und Sandgrundel nach Modell 1. Die Daten für Februar und April stammen aus dem Jahr 1992.

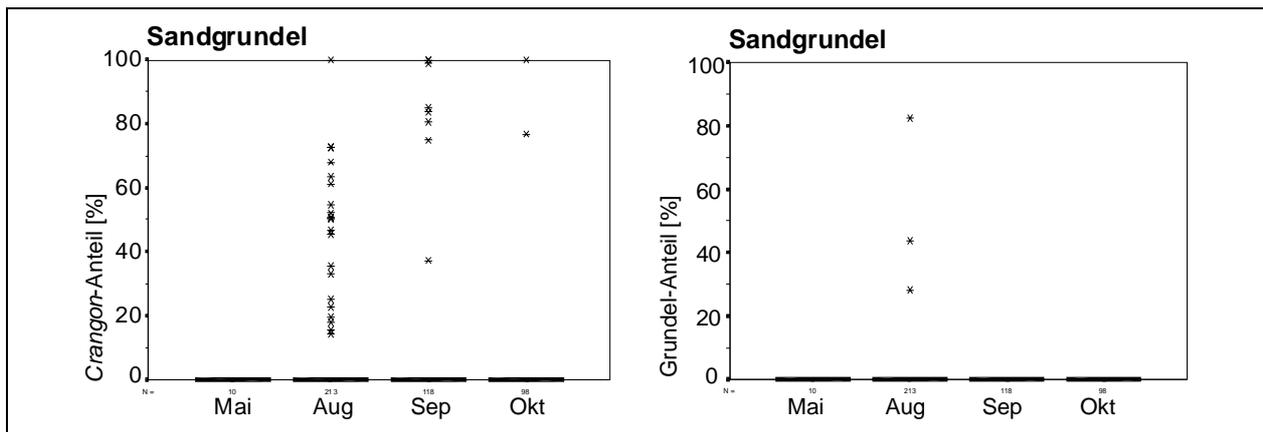
Abbildung 5.54 gibt den zeitliche Verlauf der relativen Gewichtsanteile der in den gepoolten Mageninhalten gefundenen Fraktionen die wieder. Für beide Gadidenarten gilt, daß die Summe der Anteile von Sandgarnele und Grundel in der Beute im Verlauf der Zeit steigt. Hierbei wird besonders die steigende Bedeutung der Grundeln als Beute des Wittlings der Altersklasse 1 deutlich. Für die Sandgrundeln selbst ist die Sandgarnele von den untersuchten Monaten nur im Spätsommer/Herbst interessant, wenn genügend kleine Garnelen als Beute zur Verfügung stehen.



**Abbildung 4.55:** Gewichtsanteile von Sandgarnele (links) und Grundeln (rechts) in den Einzelmägen des Kabeljau über die Monate. Die Daten aus dem Februar und April stammen aus dem Jahr 1992 von Fischen der Altersklasse 1, die restlichen Daten von der AK 0 des Jahres 1993. Der Querbalken gibt den Median, die Box reicht vom 25. bis zum 75. Perzentil, o = Extremwert, \* = Ausreißer.



**Abbildung 4.56:** Gewichtsanteile von Sandgarnele (links) und Grundeln (rechts) in den Einzelmägen des Wittlings über die Monate. Die Daten aus dem Februar und April stammen aus dem Jahr 1992 von Fischen der Altersklasse 1, die restlichen Daten von der AK 0 des Jahres 1993.



**Abbildung 4.57:** Gewichtsanteile von Sandgarnele (links) und Grundeln (rechts) in den Einzelmägen der Sandgrundel über die Monate. Die Daten aus dem Mai stammen aus dem Jahr 1994 (24-Stunden-Fischerei #9), die anderen aus dem Jahr 1993.

Bezogen auf die Abbildung 4.54 auf die monatlich zusammengefaßten Mägen (gepoolt), so zeigen die Abbildungen 4.55-57 die Streuung der Anteile in den Einzelmägen. Hierbei wird deutlich, daß es in vielen Monaten vergleichsweise wenige Fische mit großen Anteilen an Sandgarnele oder Sandgrundeln im Magen sind, die das Bild prägen. So enthalten nur weniger als ein Viertel der Fische überhaupt einen Anteil der jeweiligen Beutefraktion, so daß die Angaben für 25. bis 75. Perzentil in der Grafik auf der Null-Linie liegen, wie z.B. im Juni für den Wittling und der Sandgarnele als Beute.

Für die Berechnung der Konsumtion sind wiederum die absoluten, nicht am Räubergewicht oder Gesamt-Mageninhalt normierten Beutegewichte in den Mägen notwendig. Sie sind in den Tabellen 4.12 und 4.13 und in Abbildung 4.58 wiedergegeben.

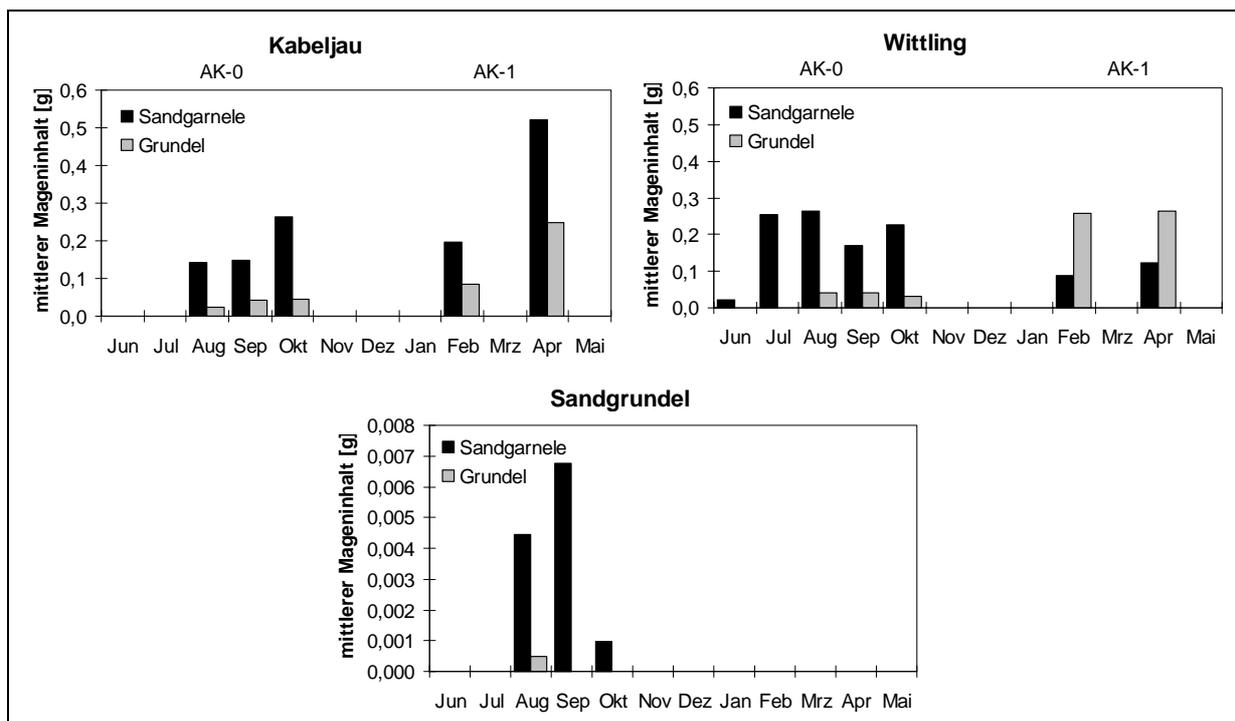
**Tabelle 4.12:** Monatliche Mittelwerte des Gewichts der *Crangon*-Fraktion in den Mägen.

<i>Crangon</i> [g]	Kabeljau	Wittling	Sandgrundel	Kliesche	Seeskorpion	Steinpicker
Feb	0,196	0,086				
Apr	0,521	0,123		0,050	0,255	0,119
Mai			0,000			
Jun		0,023				
Jul		0,255				
Aug	0,142	0,264	0,004			
Sep	0,149	0,171	0,007			
Okt	0,262	0,225	0,001			

**Tabelle 4.13:** Monatliche Mittelwerte des Gewichts der Grundel-Fraktion in den Mägen.

Grundel [g]	Kabeljau	Wittling	Sandgrundel	Kliesche	Seeskorpion	Steinpicker
Feb	0,084	0,257				
Apr	0,247	0,263		0,006	0,423	0,027
Mai			0,000			
Jun		0,001				
Jul		0,001				
Aug	0,024	0,042	0,000			
Sep	0,043	0,041	0,000			
Okt	0,046	0,032	0,000			

Beim Kabeljau zeigt sich hier eine parallele Zunahme des *Crangon*- und Grundelgewichts in den Mägen, während der Wittling in der Altersklasse 1 zugunsten eines höheren Grundelgewichts im Magen geringere *Crangon*gewichte aufweist.

**Abbildung 4.58:** Mittelwerte der Gewichte der drei Fraktionen in den Mägen von Kabeljau, Wittling und Sandgrundel.

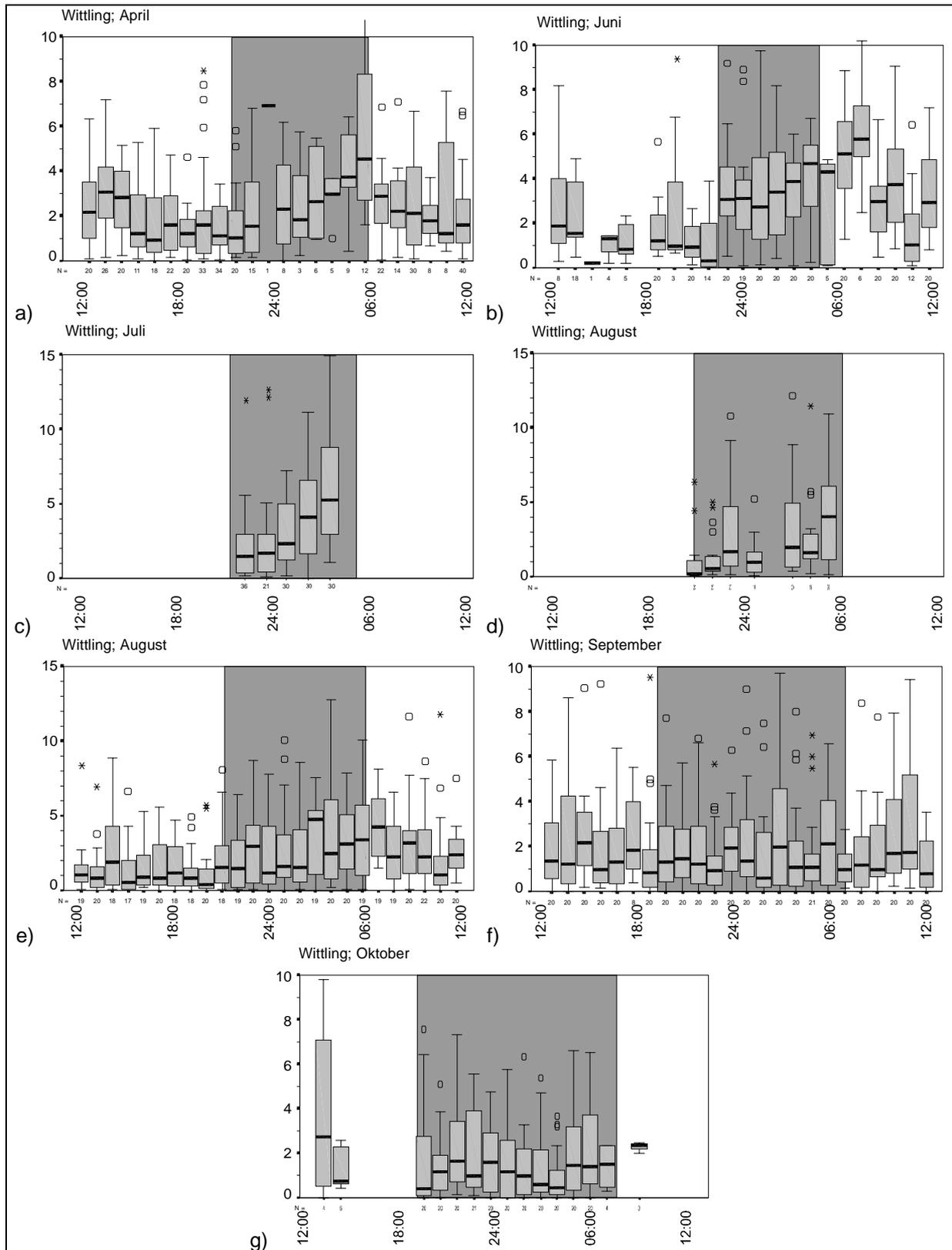
#### 4.5.2 Tagesperiodizität des Mageninhalts

Im wesentlichen konnten zwei Typen des diurnalen Verlaufs festgestellt werden, wengleich sich auch nicht für alle betrachteten Arten in jeder 24-Stunden-Fischerei ein klarer Tagesgang des Mageninhalts, beziehungsweise des Füllungsindex, zeigte.

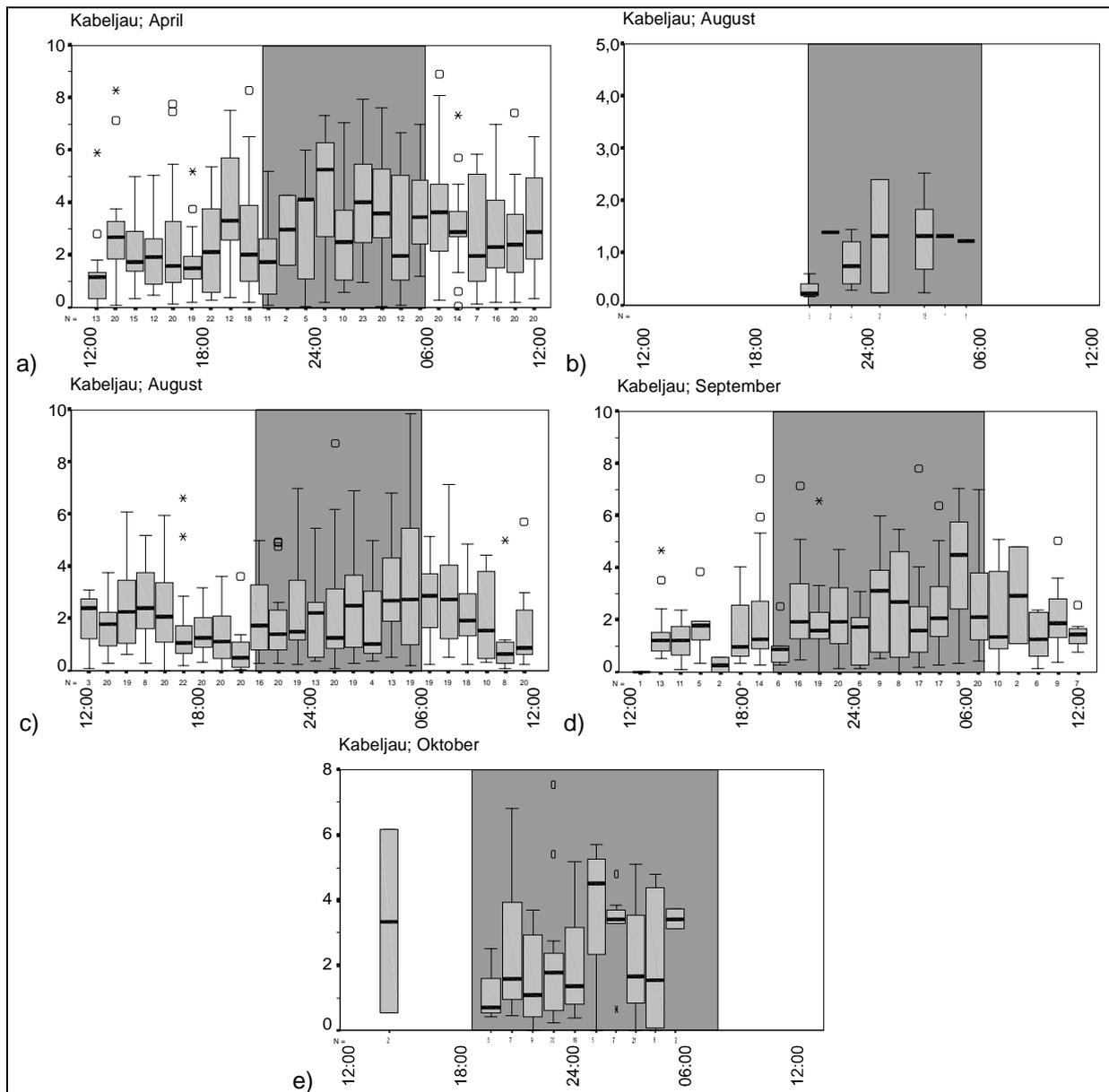
Beim Wittling konnte in den meisten 24-Stunden-Fischereien eine Zunahme des Mageninhalts über die Dunkelphase beobachtet werden (Abb. 4.59a-g). Deutlich ist der nächtliche Anstieg der Werte des Füllungsindex in der Altersklasse 1 (April, Abb. 4.59a). Auch für die AK 0 kann in der Zeit von Juni bis August das selbe Muster erkannt werden. Im September und Oktober war eine derartige Zunahme beim Wittling nicht zu beobachten (Abb. 4.59f+g). Im September war gar keine Tagesperiodizität auszumachen und im Oktober fehlten Wittlinge in vielen der am Tage gemachten Fänge.

Für den Kabeljau konnte ebenfalls eine Zunahme des Mageninhalts über die Nacht beobachtet werden (Abb. 4.60a-e). Diese war nicht so ausgeprägt, wie dies beim Wittling der Fall war, zeigte sich dafür aber auch im September und Oktober.

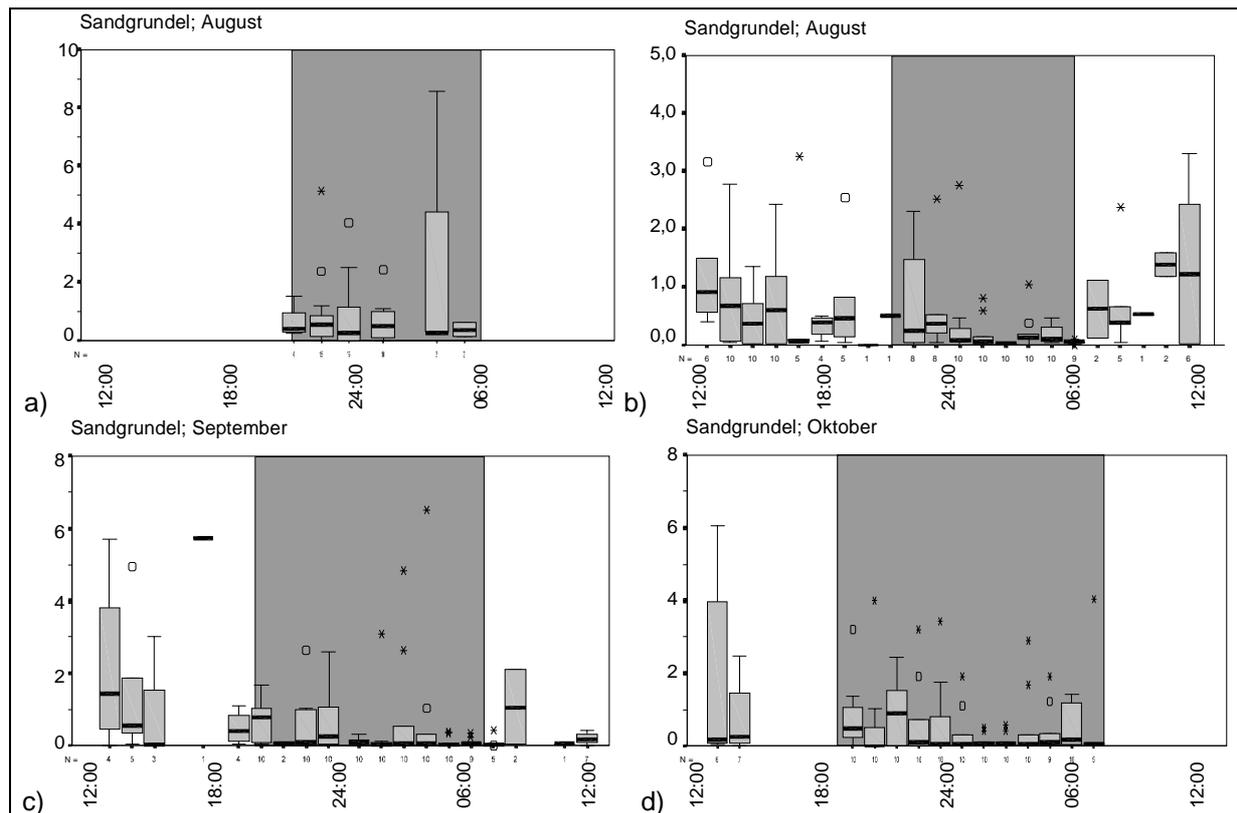
Während für diese beiden Räuberarten also von einer nächtlichen Nahrungsaufnahme auszugehen ist, konnte ein anderer Typ des Mageninhaltsverlaufs bei der Sandgrundel festgestellt werden (Abb. 4.61). Hier wurden eher geringere Mageninhalte während der Dunkelphase von Gipfelwerten des Mageninhalts während der Dämmerungsphase und zum Teil während des Tages flankiert, es ist also eine Nahrungsaufnahme während des Tages anzunehmen.



**Abbildung 4.59:** Tagesgang des Füllungsindex der Wittlingsmägen aus den 24-Stunden-Fischereien. Nachtzeiten dunkel hinterlegt.



**Abbildung 4.60:** Tagesgang des Füllungsindex der Kabeljaumägen aus den 24-Stunden-Fischereien. Nachtzeiten dunkel hinterlegt.



**Abbildung 4.61:** Tagesgang des Füllungsindex der Sandgrundelmägen aus den 24-Stunden-Fischereien. Nachtzeiten dunkel hinterlegt.

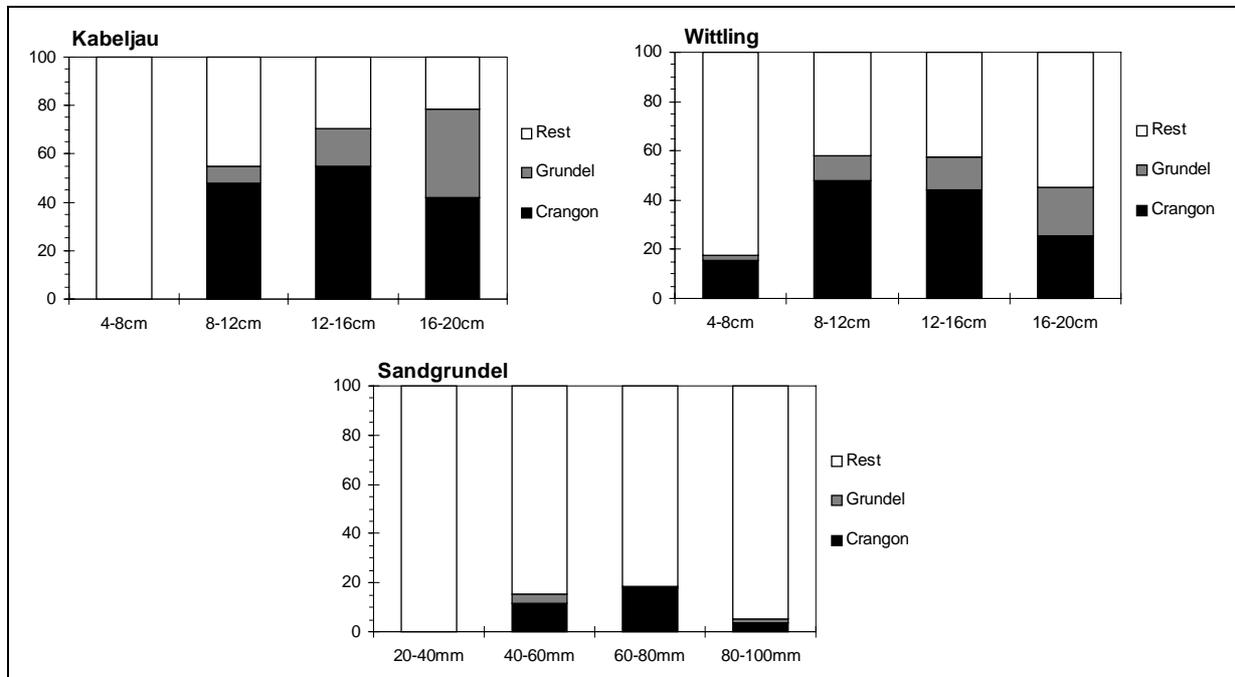
### 4.5.3 Größenselektion

#### 4.5.3.1 Räubergröße und Fraktions-Anteile

Die Abbildung 4.62 gibt die Verschiebung in der Nahrungszusammensetzung wieder, die mit der zunehmenden Größe der Räuber einher ging. Am deutlichsten wird der Größeneffekt beim Kabeljau, der eine beständige Zunahme der Summe der Nahrungsfaktionen Sandgarnele und Sandgrundel zeigt und dessen Mageninhalt in der Längengruppe 18-20cm nur noch zu rund einem Fünftel des Gesamtgewichts aus anderer Nahrung bestand. Dabei nimmt allerdings der Grundelanteil in der Nahrung später auf Kosten des Garnelenanteils zu. Größere Kabeljaue scheinen eine Präferenz für Grundeln zu haben (s. a. Kap 4.5.4 qualitative Selektivität).

Die Wittlinge zeigten für die beiden Fraktionen Garnele und Grundel zunächst eine Zunahme auf über 50% des Gesamtgewichts der Mageninhalte. In den Mägen der größten Längensklasse aber waren dann schon wieder größere Anteile anderer (Fisch-) Nahrung enthalten.

Bei der Sandgrundel ist eine Längenabhängigkeit der Zusammensetzung des Mageninhalts nur in soweit zu erkennen, als daß unterhalb einer Grundellänge von 40mm keine Sandgarnelen in den Mägen gefunden wurden. Die kleinste Grundel mit Garnelennahrung war 52mm lang. Den größte Anteil, nämlich 18%, am aufsummierten Mageninhalt machten die Garnele und Grundel in der Längenklasse 60-80mm aus.



**Abbildung 4.62:** Verhältnis von Körperlänge und Nahrungszusammensetzung.

#### 4.5.3.2 Das Verhältnis Räubergröße zu Beutegröße

In den Mägen sowohl des Kabeljau als auch des Wittling wurden Sandgarnelen sehr unterschiedlicher Länge angetroffen. Die kleinsten Tiere waren um die 5mm, die größten Tiere beim Kabeljau 74 und beim Wittling 79mm lang. Nur 2,4% der in den Kabeljaumägen und 1,8% der in den Mägen der Wittlinge gefundenen Garnelen war 55mm lang oder länger, hatten also die Größe einer Speisegarnele (nach Tiews, 1954a) erreicht.

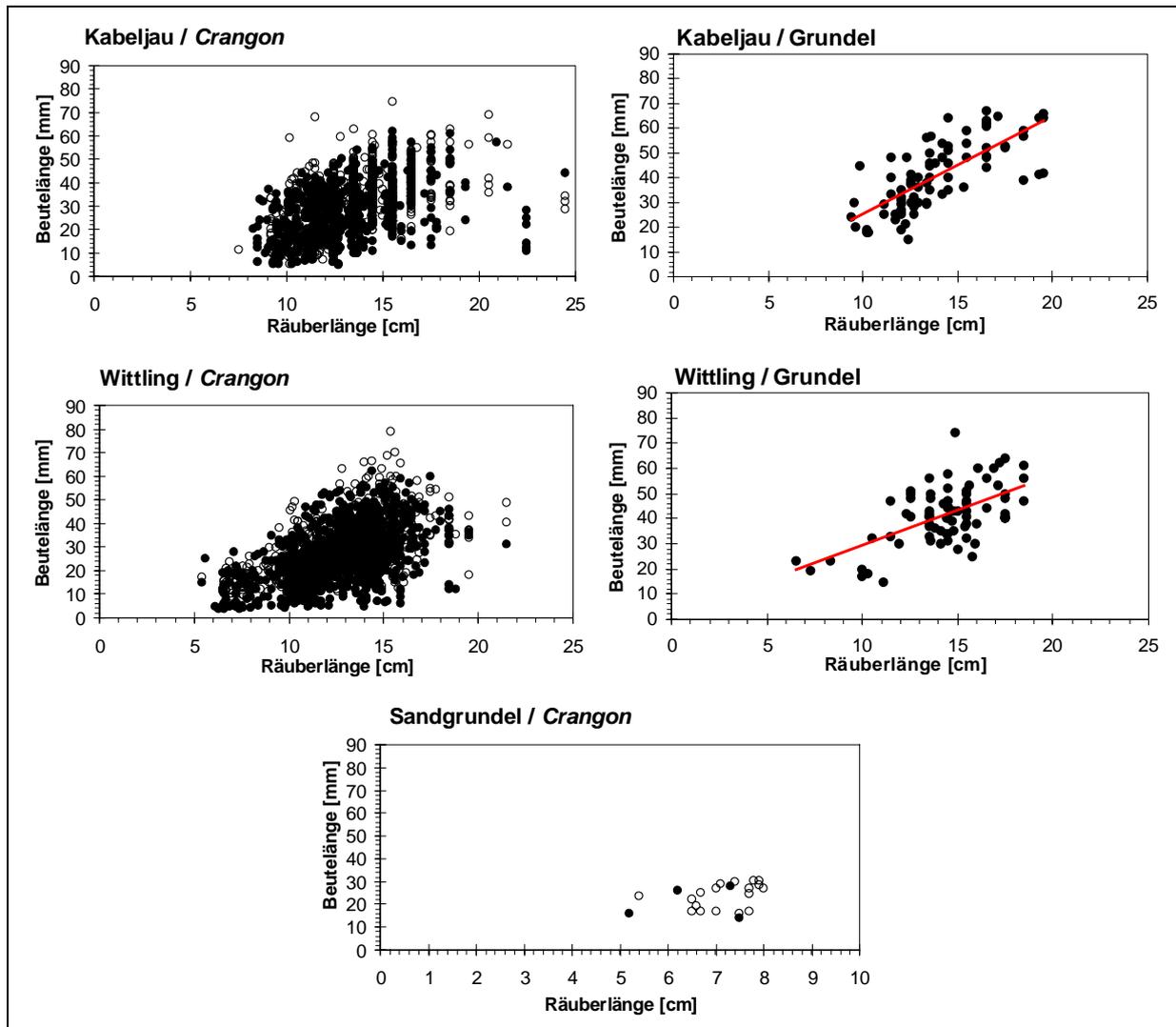
Das Verhältnis Räuberlänge zu Beutelänge ist dabei, wie die Abbildung 4.63 zeigt, alles andere als scharf, es unterliegt vielmehr einer enormen Streuung. Es kann aber festgestellt werden, daß die Beutelänge in der Tendenz mit der Räuberlänge zunimmt:

$$\text{Kabeljau: } L_{B(\text{Cra})} = 2,107 * L_R + 2,52 ; \quad R^2 = 0,19$$

$$\text{Wittling: } L_{B(\text{Cra})} = 2,437 * L_R - 3,01 ; \quad R^2 = 0,27$$

mit:  $L_{B(\text{Cra})}$  = Länge der gefressenen Sandgarnele [mm] und  
 $L_R$  = Räuberlänge [cm]

Erwartungsgemäß war die maximale Größe der in den Mägen der Sandgrundeln gefundenen Garnelen kleiner als die der Gadiden, sie lag bei 30mm im Magen einer Grundel von 74mm Länge. Nicht erwartet war die verhältnismäßig große Minimallänge der von den Sandgrundeln gefressenen Sandgarnelen, sie lag mit 14mm deutlich höher, als bei den Gadiden.



**Abbildung 4.63:** Die Längenverhältnisse zwischen Räubern und Beute. Gefüllte Kreise bedeuten Direktmessungen von  $L_T$ , offene Kreise bezeichnen die aus einzelnen Körperteilen zurückberechneten Längen.

Eine engere Korrelation zwischen Räuber- und Beutelänge bestand bei der Grundel als Beute. Die in den Mägen vorgefundenen Grundeln waren zwischen 15 und 67mm (Kabeljau) bzw. zwischen 15 und 74mm lang (Wittling). Die Längenbeziehung konnte durch einfache lineare Regression bestimmt werden, es ergaben sich dabei die folgenden Beziehungen:

$$\text{Kabeljau: } L_{B(\text{Pom})} = 3,943 * L_R - 14,02 ; \quad R^2 = 0,54$$

$$\text{Wittling: } L_{B(\text{Pom})} = 2,795 * L_R + 1,43 ; \quad R^2 = 0,35$$

mit:  $L_{B(\text{Pom})}$  = Länge der gefressenen Grundel [mm] und  
 $L_R$  = Räuberlänge [cm]

Beide Zusammenhänge sind statistisch signifikant (zweiseitiger Test,  $\alpha < 0,05$ ). Die Abhängigkeit für den Kabeljau ist steiler, er frißt bei gleicher Körperlänge also tendenziell größere Sandgrundeln als der Wittling.

#### 4.5.3.3 Saisonaler Verlauf

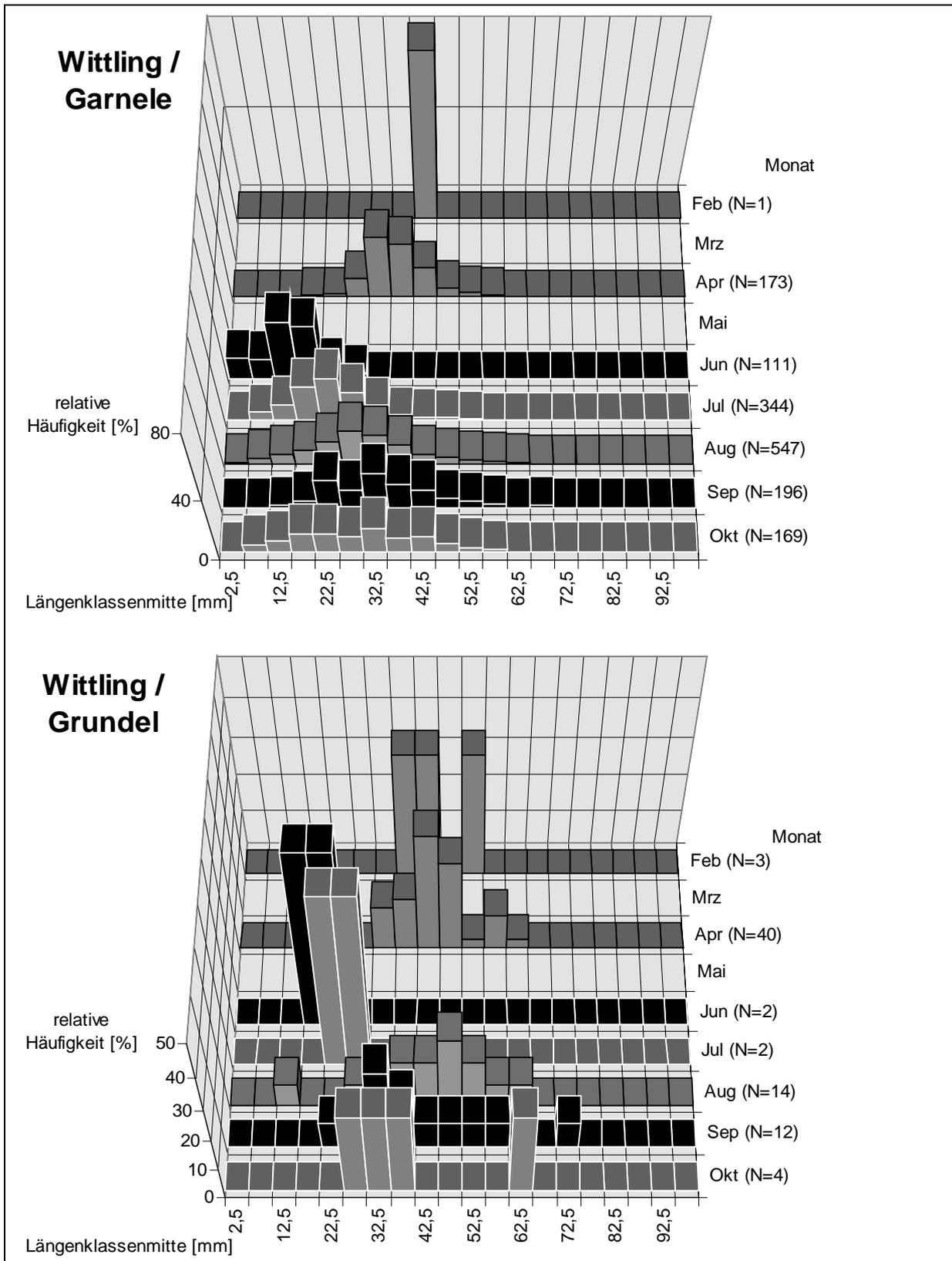
Die Längenzusammensetzung der in den Mägen der beiden Gadiden gefundenen Sandgarnelen und Grundeln variierte über die Monate. Im wesentlichen war eine Zunahme der Länge zu verzeichnen. Besonders deutlich wird der Anstieg der Längen in den Mägen vor allem bei der Kombination Wittling/Sandgarnele (Abb. 4.64). Der Modalwert der Länge der gefressenen Krabben wuchs von 10-15mm im Juni auf 30-35mm im Oktober. Dies ist auch die Länge, die dann im Februar und April in den Mägen der Wittlinge der Altersklasse 1 gefunden wurde. Bei den Grundeln aus den Wittlingsmägen ist dieser Effekt nicht kontinuierlich, da im August verhältnismäßig große Grundeln gefunden wurden. Ansonsten stieg die Länge von 15-25mm (Juni) auf 30-35mm (Oktober) an, blieb also jeweils in den Längenspektren, die der Altersklasse 0 der Sandgrundel entspricht (Abb. 4.39).

Der Fraßdruck, den eine Wittlingskohorte auf die Grundeln ausübt, erstreckt sich also auch nur auf eine Kohorte der Beute.

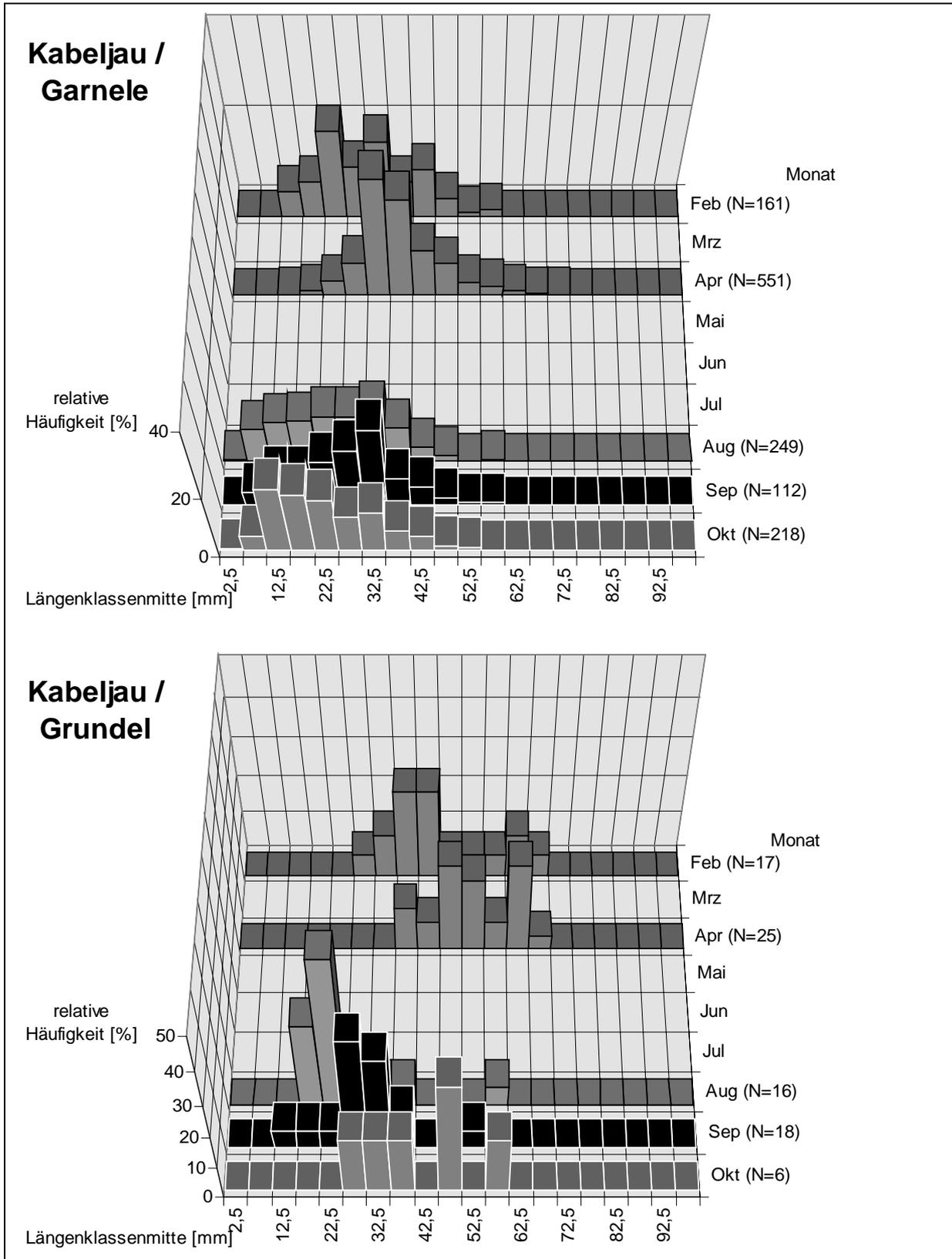
Sinngemäß gilt für den Kabeljau dasselbe. Auch bei ihm frißt eine Räuberkohorte an nur einer Beutekohorte (Abb. 4.65), wobei der Kabeljau ein im Vergleich zum Wittling breiteres Längenspektrum und im Oktober deutlich kleinere Sandgarnelen aufnahm als der Wittling.

#### 4.5.3.4 Vergleich von Kabeljau und Wittling

Die in den Mägen vorgefundenen Sandgarnelen und Sandgrundeln waren im jeweiligen Monat bei der Altersklasse 0 des Kabeljau (August-Oktober) im Schnitt etwas kleiner als beim Wittling, was sich aus der zum gleichen Zeitpunkt etwas geringeren Länge der Kabeljau erklärt (Kap. 4.4.1, Abb. 4.32). Die Unterschiede sind allerdings gering und der Längenbereich der Beute, der jeweils von beiden Arten aufgenommen wird ist groß, d.h. es gibt eine große Überlappung hinsichtlich der konsumierten Beutegröße.



**Abbildung 4.64:** Längen/Häufigkeits-Verteilungen der in Wittlingsmägen gefundenen Sandgarnelen (oben) und Sandgrundeln (unten) über die Monate des Jahres 1993 summiert; Feb und Apr aus 1992.



**Abbildung 4.65:** Längen/Häufigkeits-Verteilungen der in Kabeljaumägen gefundenen Sandgarnelen (oben) und Sandgrundeln (unten) über die Monate des Jahres 1993 summiert; Feb und Apr aus 1992.

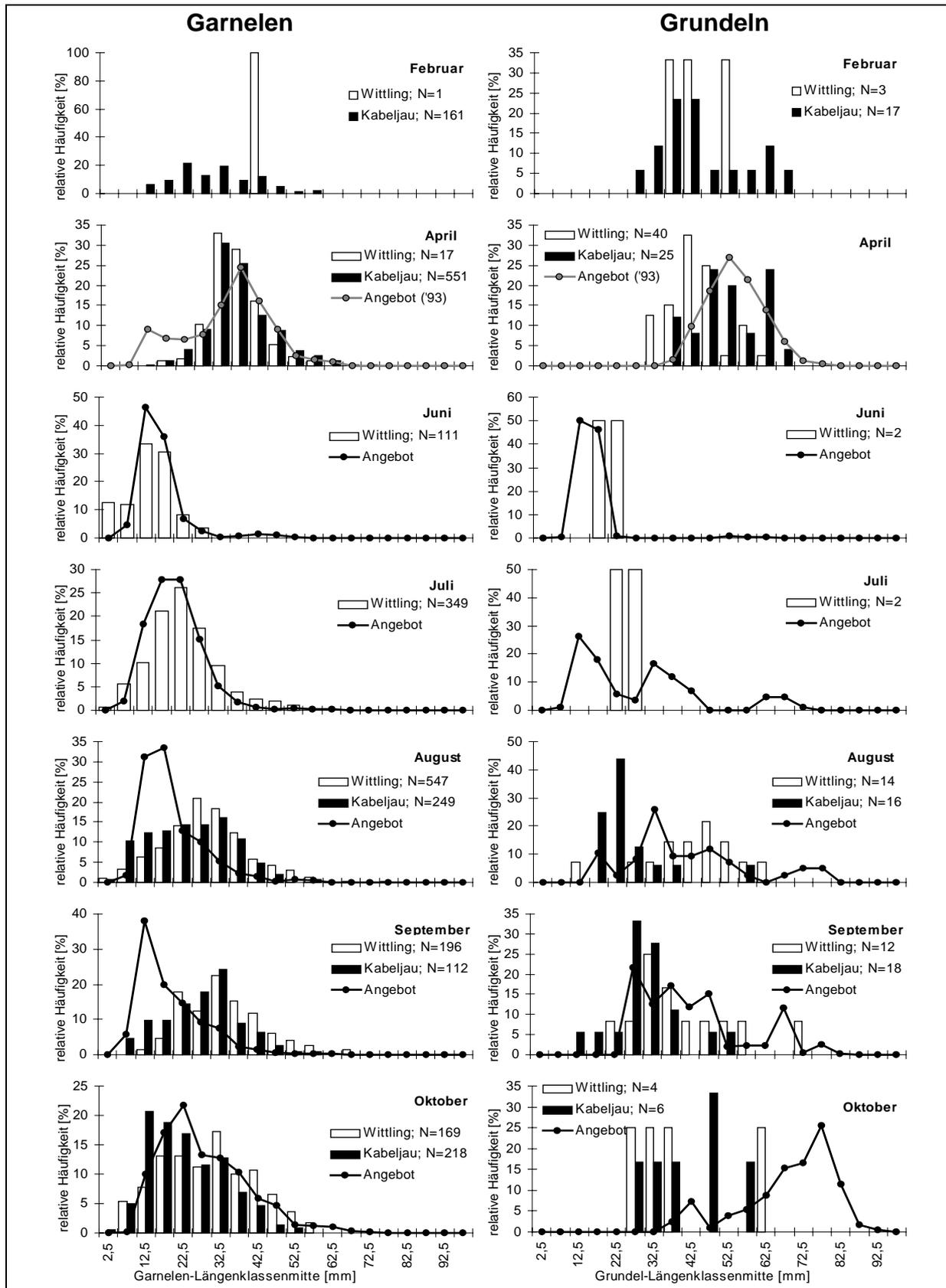
#### 4.5.3.5 Größenselektion

Um die Frage zu beantworten, wie selektiv von dem vorhandenen Größenangebot gefressen wurde, wurde die Längen/Häufigkeits-Verteilung der gefressenen Tiere der Längen/Häufigkeits-Verteilung der im gleichen Monat in der Sylt-Rømø-Bucht vorkommenden potentiellen Beute gegenübergestellt, wie sie sich aus den Ergebnissen der Standardbefischungen berechnet (Abbildung 4.66). Für den Februar existieren für die Längen/Häufigkeits-Verteilung der Angebotsseite keine Informationen und für den April wurden Mageninhalte des Jahres 1992 dem Angebot des Jahres 1993 gegenübergestellt, da keine entsprechenden Daten desselben Jahres vorliegen. Die aus der Längenzusammensetzung des Nahrungsangebots und den in den Mägen gefundenen Längen berechneten Elektivitätsindizes für die einzelnen Längensklassen finden sich in Abbildung 4.67.

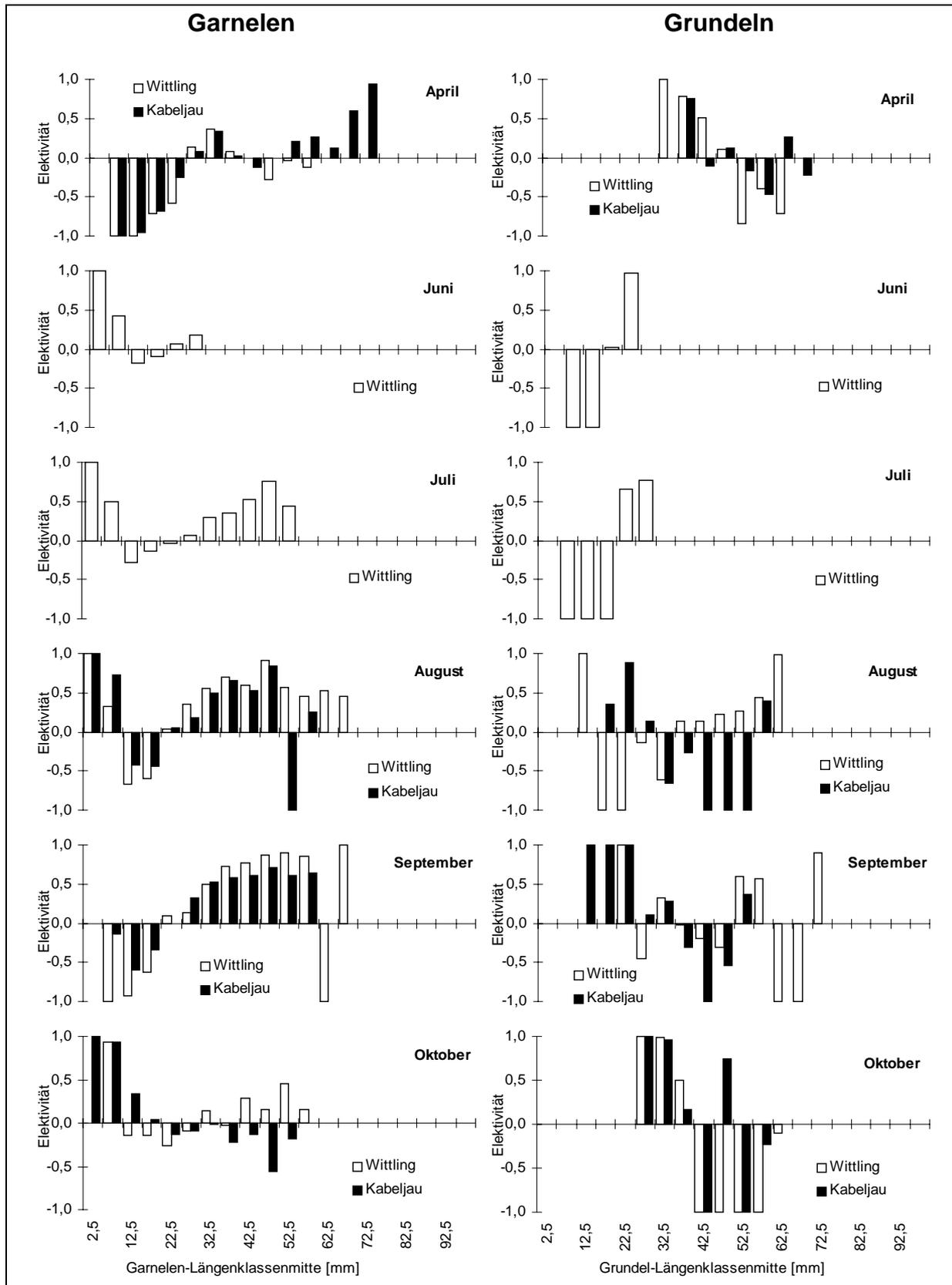
Es erweist sich, daß sich Angebot und Nachfrage oft, aber nicht immer decken. Eine recht gute Übereinstimmung wird vom Wittling bei der Auswahl von Garnelen in den Monaten Juni und Juli erzielt. Im Juni frißt er fast unselektiv, in etwa entsprechend der Häufigkeit des Vorkommens der Längen. Im Juli deutet sich schon eine Bevorzugung der größeren Längengruppen an. In August und September werden sowohl vom Wittling als auch vom Kabeljau sehr deutlich größere Längen der Garnele selektiert, als jene, die zu dieser Zeit im Bestand der Sylt-Rømø-Bucht die überwiegende Mehrzahl darstellen. Aufgrund der geringer werdenden Anzahlen kleiner, frisch rekrutierter Garnelen im Oktober und einer gleichzeitigen Selektion von im Vergleich zum Vormonat kleineren Garnelen ist die Übereinstimmung in diesem Monat beim Wittling wieder größer, während der Kabeljau nun eher kleinere Garnelen selektierte.

Wenn man annimmt, daß die relative Längen/Häufigkeits-Verteilung der Sandgarnelen im April des Jahres 1992 der dargestellten des Jahres 1993 in etwa entsprach, dann zeigt sich, daß Kabeljau und Wittling der Altersklasse 1 in diesem Monat die kleineren Garnelen bis 25mm mieden und der Kabeljau zudem die größeren Tiere von 50 bis 75mm bevorzugte.

Aufgrund der insgesamt geringeren Anzahlen der gefressenen Sandgrundeln, deren Länge in den Mägen noch feststellbar war, sind die Aussagen hier etwas weniger deutlich. Am ehesten kann man noch feststellen, daß das angebotene Längenspektrum und das in den Mägen vorgefundene in den Monaten August und September beim Wittling recht gut übereinstimmte (Abb. 4.66 rechts), während der Kabeljau eher kleinere Grundeln selektierte. Im Oktober waren dann alle in den Mägen gefundenen Grundeln deutlich kleiner als die am häufigsten besetzten Längensklassen der Angebotsseite und auch von den Gadiden der AK1 im April 1992 wurden die kleineren Grundeln von 30-45mm positiv selektiert, wenn man voraussetzt, daß die Längenzusammensetzung der Grundeln im April 1992 der vom April 1993 entsprach.



**Abbildung 4.66:** Vergleich der Längen/Häufigkeits-Verteilungen der in den Mägen von Kabeljau und Wittling gefundenen Garnelen (links) und Grundeln (rechts) mit dem jeweiligen Längespektrum des Angebots in der gesamten Sylt-Rømø-Bucht (Linien). Das N bezeichnet die Anzahl der längebestimmten Beutetiere in den Mägen.



**Abbildung 4.67:** Elektivitätsindizes der Längenklassen von Garnele und Grundel in den Magen von Wittling und Kabeljau für die Monate Juni bis Oktober 1993. Die Elektivitätsindizes des April wurden unter Verwendung der Beutelängen aus 1992 und der Angebotslängen aus 1993 berechnet.

#### 4.5.4 Qualitative Selektivität der Gadiden

Neben der Größenselektivität der Räuberarten konnte auch eine qualitative Selektivität festgestellt werden, was die Wahl zwischen Sandgarnelen und Sandgrundeln als Beute anbetrifft. In der Tabelle 4.14 sind die Elektivitäten für diese beiden Beutearten und die Monate des Jahres 1993 angegeben, aus denen Magendaten vorliegen. Die Werte des April wurden mit den Magendaten der 24-Stunden-Fischerei Nummer 1 aus dem April 1992 und den Grundelabundanzen vom April 1993 berechnet. Es wurde den Magendaten die absoluten Anzahlen von Sandgarnelen und Sandgrundeln gegenübergestellt, die sich aus den Standardbefischungen für die Sylt-Rømø-Bucht errechneten. Dabei wurden auf der Angebotsseite nur diejenigen Längenklassen berücksichtigt, die gleich groß oder kleiner waren, als die im jeweiligen Monat größten in den Mägen der jeweiligen Räuberart gefundenen Tiere dieser Beuteart, um nicht bewältigbare Beutegrößen vom Angebot auszuschliessen.

Mit Ausnahme der ganz jungen Wittlinge aus dem Juni zeigt sich in allen Monaten bei beiden Räufern eine deutliche positive Selektion der Grundeln gegenüber den Garnelen. Die Grundel-Elektivitäten für den Kabeljau liegen dabei meist deutlich höher als die für den Wittling. Der Kabeljau fraß also noch selektiver Grundeln als dies der Wittling tat. Die Situation im April 1992 bildet hierbei die Ausnahme. In diesem Monat fraß der Wittling der Altersklasse 1 selektiver Grundeln als der Kabeljau der selben Altersklasse, was z.T. darin begründet ist, daß sich in den Mägen von Kabeljau dieser Größe auch schon vermehrt andere Fischarten vorfinden, die Grundel also nicht mehr die einzige Fischbeute darstellt.

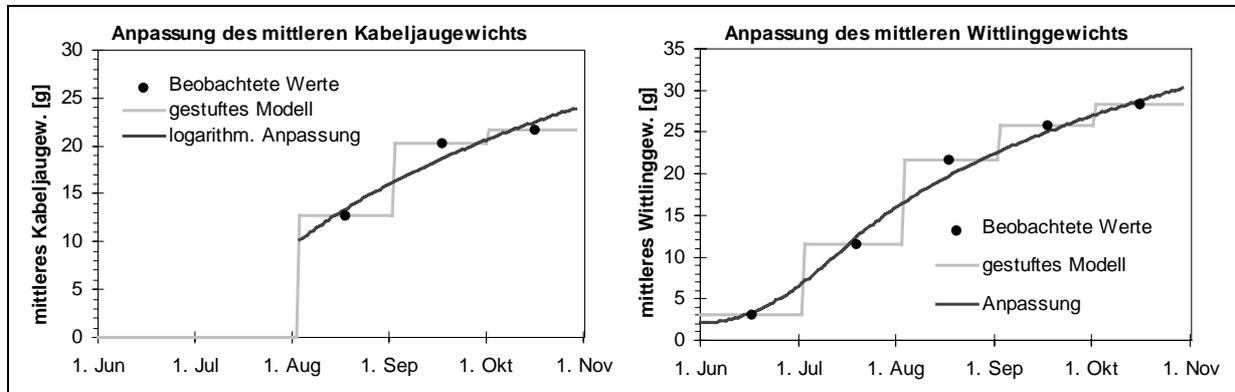
**Tabelle 4.14:** Elektivitäten nach Ivlev (1961) für die Nahrungskomponenten Garnelen und Grundeln in den Mägen von Wittling und Kabeljau für 1993. Die April-Werte der Mageninhalte stammen aus dem Jahr 1992 (siehe Text).

	Juni	Juli	August	September	Oktober	April
Wittling $E_{Crangon}$	0,01	0,00	-0,01	-0,03	-0,01	-0,10
Wittling $E_{Grundel}$	-0,23	0,45	0,60	0,82	0,69	0,91
Kabeljau $E_{Crangon}$	-	-	-0,03	-0,07	-0,02	-0,02
Kabeljau $E_{Grundel}$	-	-	0,81	0,93	0,84	0,59

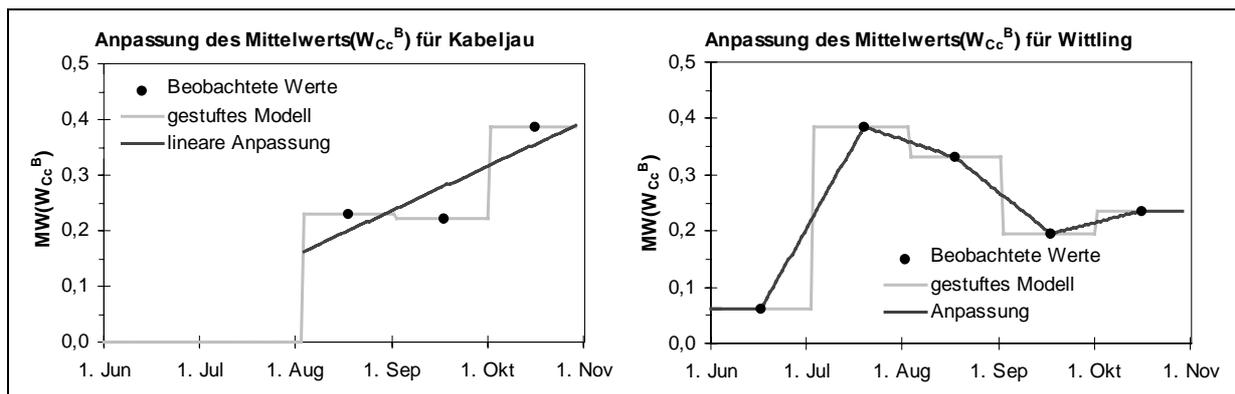
#### 4.5.5 Berechnung der Konsumtion an Sandgarnele und Sandgrundel

Im Folgenden sollen die aus den 24-Stunden-Fischereien gewonnenen mittleren Mageninhalte (s. Tab. 4.12 u. 4.13) unter Benutzung des Konsumtionsmodells für das Jahr 1993 in Jahreskonsumtionen an Sandgarnele und Sandgrundel durch die Gadiden umgesetzt werden.

Hierbei wurden für die Temperatur und für die anderen variablen Eingangsgrößen der Magenleerungsfunktion jeweils 3 unterschiedliche Modelle gerechnet (s. Kap. 3.3), die einerseits von monatsweise gestuften, andererseits von gleitenden Daten ausgingen. Stufen und Anpassungen sind in Abbildung 4.68 bis 4.71 wiedergegeben.



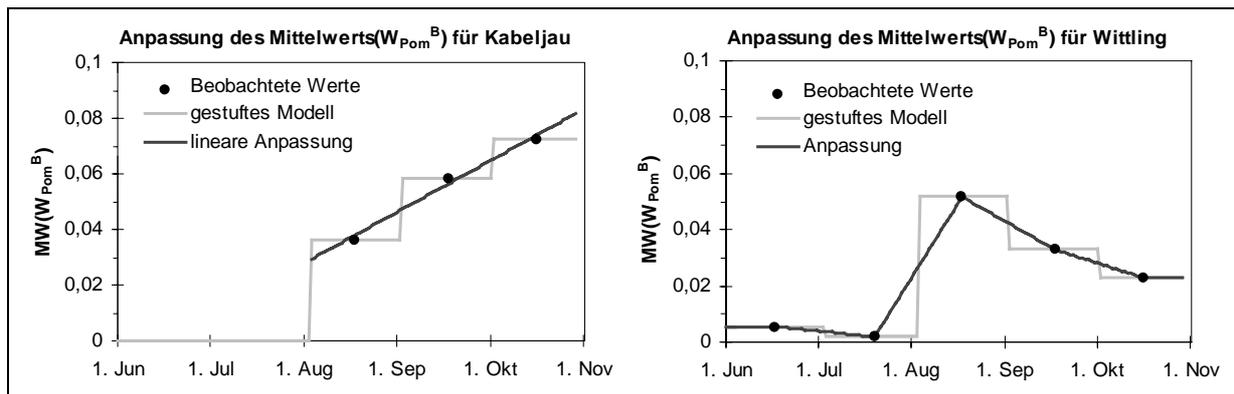
**Abbildung 4.68:** Ergebniswerte der 24-Stunden-Fischereien 1993 und daraus folgende Stufen sowie Anpassungen des Parameters „mittleres Räubergewicht“ zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.



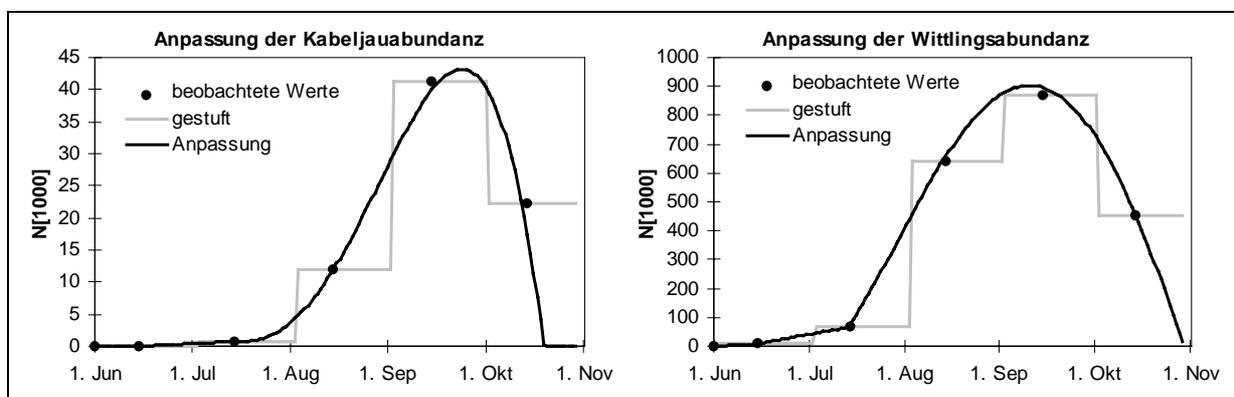
**Abbildung 4.69:** Ergebniswerte der 24-Stunden-Fischereien 1993 und daraus folgende Stufen sowie Anpassungen des Parameters „mittleres Mageninhaltsgewicht an Garnelen potenziert mit  $B^B$ “ zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.

Aus den gestuften und den gleitenden Verläufen der Parameter zur Konsumtionsberechnung ergeben sich die in Abbildung 4.72 und 4.73 wiedergegeben Jahresverläufe der Konsumtion an Sandgarnelen und Sandgrundeln durch einen einzelnen zum jeweiligen Zeitpunkt durchschnittlich schweren Kabeljau bzw. Wittling.

Die Jahresmaxima der täglichen individuellen Konsumtionswerte für die verschiedenen Räuber/Beute-Kombinationen liegen zwischen Mitte August und Anfang September.

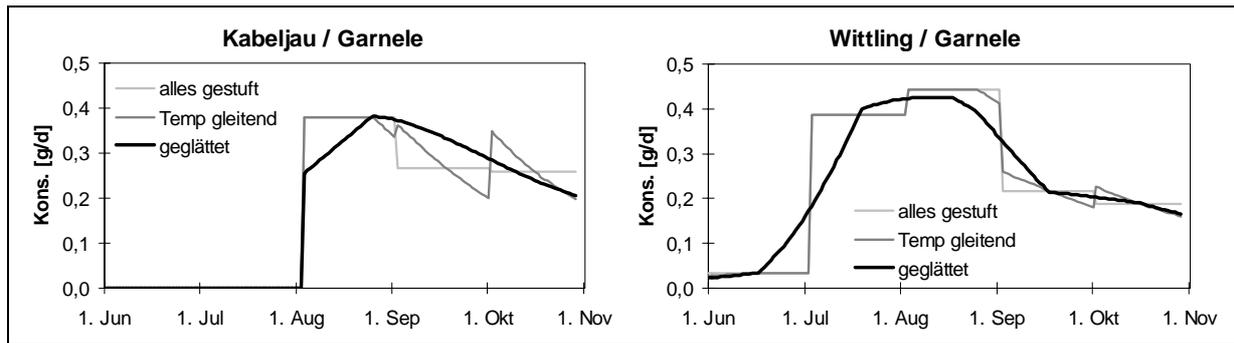


**Abbildung 4.70:** Ergebniswerte der 24-Stunden-Fischereien 1993 und daraus folgende Stufen sowie Anpassungen des Parameters „mittleres Mageninhaltsgewicht an Grundeln potenziert mit B“ zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.

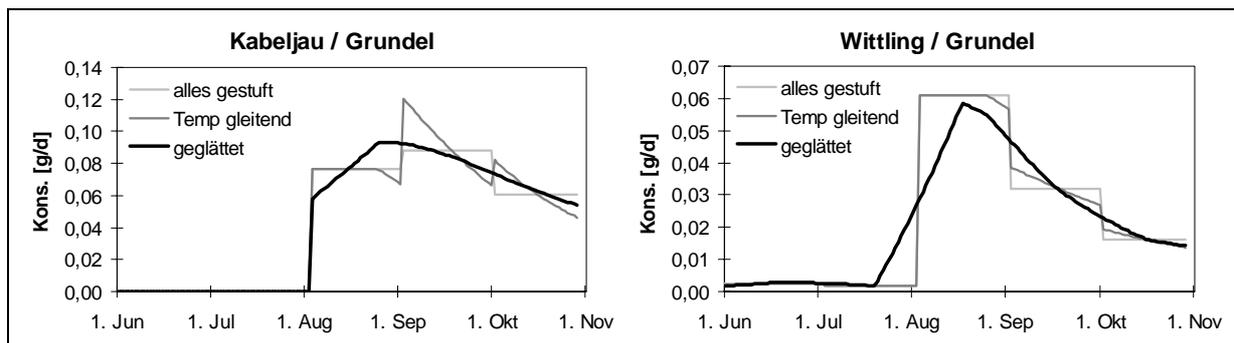


**Abbildung 4.71:** Ergebniswerte der Abundanzabschätzungen aus den Standardbefischungen 1993 und daraus folgende Stufen sowie gleitende Anpassungen zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.

Die tägliche Konsumtion an Sandgarnelen durch Kabeljau und Wittling ist pro Einzelfisch fast gleich hoch (Abb.4.72), obwohl die Fische der ersten Art zum jeweiligen Zeitpunkt deutlich kleiner und leichter sind (Abb. 4.32/4.33 und 4.68). Die individuelle Konsumtion an Grundeln durch den Kabeljau ist trotz der Größen- und Gewichtsdivergenz sogar deutlich höher als beim Wittling (Abb. 4.73), was einerseits auf den erhöhten Anteil dieser Beute an der Nahrung des Kabeljau liegen dürfte (Abb. 4.52) und andererseits an der im Vergleich zum Wittling unter den im Feld gegebenen Bedingungen schnelleren Entleerung dieser Beuteart aus dem Magen. So errechnet sich auch bei gleichem Mageninhalt für den einzelnen Kabeljau eine höhere Konsumtion.



**Abbildung 4.72:** Saisonaler Verlauf der täglichen Garnelenkonsumtion jeweils eines mittleren Kabeljau und Wittling für 1993.



**Abbildung 4.73:** Saisonaler Verlauf der täglichen Grundelkonsumtion jeweils eines mittleren Kabeljau und Wittling für 1993.

Die Monatssummen der Konsumtion der Einzelfische sind in den Tabellen 4.15 und 4.16 wiedergegeben. Hier sind neben den Werten für Juni bis Oktober 1993 die für den April 1992 errechneten Werte aufgeführt, um die Konsumtion von Fischen der Altersklasse 1 vergleichen zu können. Im letzten Fall konnte lediglich das gestufte Modell gerechnet werden, da keine weiteren 24-Stunden-Fischereien von benachbarten Monaten existieren, die die Berechnung gleitender Übergänge ermöglichten.

**Tabelle 4.15:** Monats- und Jahressummen der Konsumtion der Einzelfische des Kabeljau in Gramm. \*) zur Beschreibung der drei Rechenmodelle siehe Kap. 3.3

Kabeljau	Garnele			Grundel		
	alles gestuft	T gleitend	geglättet	alles gestuft	T gleitend	geglättet
Jun 93	0	0	0	0	0	0
Jul 93	0	0	0	0	0	0
Aug 93	10,7	10,6	9,2	2,1	2,1	2,2
Sep 93	8,2	8,5	10,2	2,6	2,8	2,6
Okt 93	7,7	7,8	7,4	1,9	1,9	1,9
Summe 93	<b>26,6</b>	<b>26,9</b>	<b>26,8</b>	<b>6,6</b>	<b>6,7</b>	<b>6,7</b>
in % gestuft	100,0	101,2	100,7	100,0	101,7	100,9
April 92	14,7			7,6		

**Tabelle 4.16:** Monats- und Jahressummen der Konsumtion der Einzelfische des Wittling in Gramm.  
\*) zur Beschreibung der drei Rechenmodelle siehe Kap. 3.3

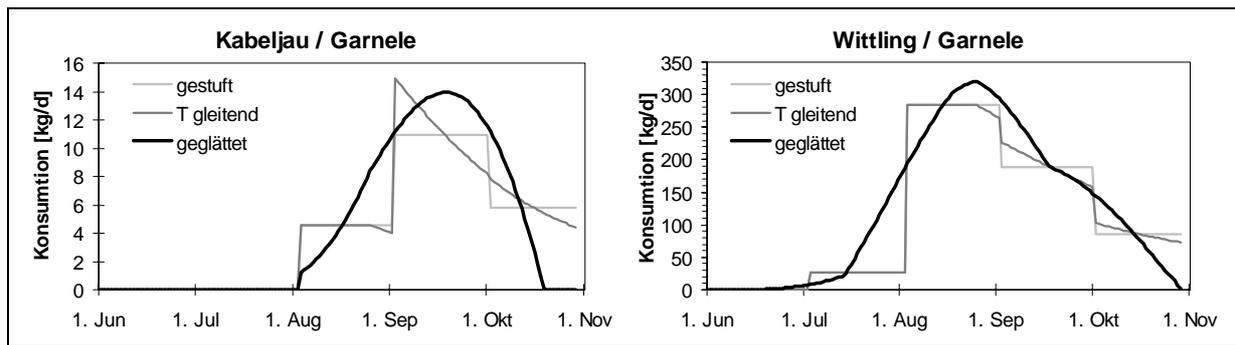
Wittling Modell *)	Garnele			Grundel		
	alles gestuft	T gleitend	geglättet	alles gestuft	T gleitend	geglättet
Jun 93	1,0	1,0	1,6	0,1	0,1	0,1
Jul 93	10,9	10,9	9,9	0,1	0,1	0,2
Aug 93	13,6	13,5	12,8	1,7	1,7	1,4
Sep 93	6,9	7,0	7,5	1,0	1,0	1,1
Okt 93	5,7	5,7	5,7	0,5	0,5	0,5
Summe 93	<b>38,1</b>	<b>38,2</b>	<b>37,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,3</b>
in % gestuft	100,0	100,1	98,2	100,0	100,1	96,9
April 92	4,6			6,9		

Die einzelnen Modelle der Berechnung der monatlichen Konsumtion weichen in ihrer Jahressumme für den einzelnen Fisch kaum voneinander ab. In keinem Fall beträgt die Differenz zwischen den Ergebnissen in der Jahressumme mehr als 3%. Für die Berechnung der Monatssummen der Konsumtion liegen die Unterschiede allerdings deutlich höher, im Extremfall bis zu 60%.

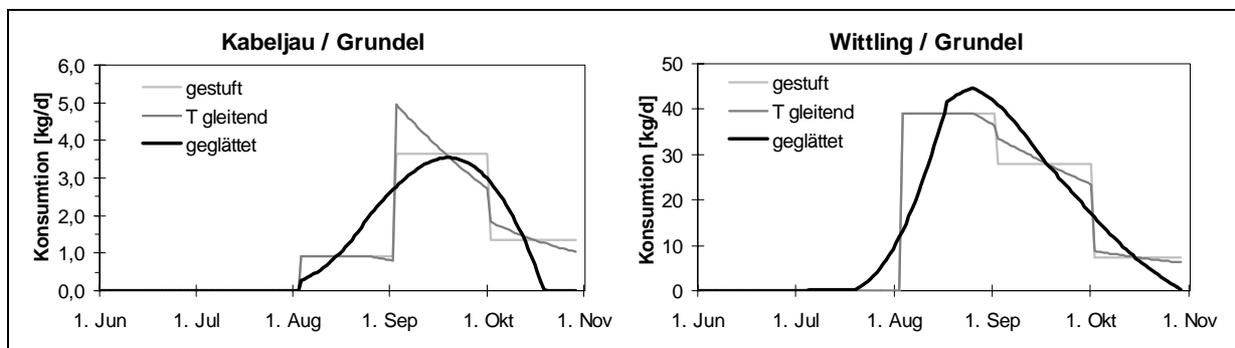
Der einzelne Kabeljau der Altersklasse 0 konsumierte im Jahr 1993 etwas mehr als sein eigenes Jahresendgewicht in Sandgarnelen und damit rund 30% weniger als der Wittling. Bei den Sandgrundeln als Nahrung dreht sich die Richtung der Differenz um: hier nahm der einzelne Kabeljau rund doppelt so viel zu sich, wie der einzelne Wittling. Dabei ist zu bedenken, daß dem Kabeljau für diese Konsumtion nur 3 Monate zur Verfügung standen, im Vergleich zu 5 Monaten beim Wittling.

Die Fische der Altersklasse 1 aus der 24-Stunden-Fischerei vom April 1992 zeigten eine im Vergleich zur AK0 sehr hohe Konsumtion. Sie entsprach für diesen einen Monat allein beim einzelnen Kabeljau über die Hälfte der Jahreskonsumtion an Garnelen durch einen Fisch der 0-Gruppe und fast ein Fünftel mehr als die gesamte Grundelkonsumtion eines Fisches der Altersklasse 0 im Jahr 1993. Für die einzelnen Wittlinge der AK1 ist die deutlich höhere Grundelkonsumtion auffällig, die mehr als dem Doppelten der Jahreskonsumtion eines Wittlings der AK0 in 1993 entsprach.

Werden nun die Tageskonsumtionswerte der Einzelfische mit den gestuften oder geglätteten Abundanzen (s. Abb. 4.71) dieser Arten multipliziert, so kann die Tages- und damit die Monats- und Jahreskonsumtion an Sandgarnelen und Sandgrundeln für die gesamte Sylt-Rømø-Bucht dargestellt werden (Abb. 4.74 u. 4.75; Tabellen 4.17 u. 4.18).



**Abbildung 4.74:** Saisonaler Verlauf der Summe der täglichen Garnelenkonsumtion des Bestandes des Kabeljau und des Wittlings der Sylt-Rømø-Bucht.



**Abbildung 4.75:** Saisonaler Verlauf der Summe der täglichen Grundelkonsumtion des Bestandes des Kabeljau und des Wittlings der Sylt-Rømø-Bucht.

**Tabelle 4.17:** Monats- und Jahressummen der Konsumtion des Kabeljaubestands der Sylt-Rømø-Bucht in kg.

Kabeljau Modell	Crangon			Grundel		
	alles gestuft	T gleitend	geglättet	alles gestuft	T gleitend	geglättet
Jun 93	0	0	0	0	0	0
Jul 93	0	0	0	0	0	0
Aug 93	128	126	144	26	25	35
Sep 93	337	351	388	108	113	98
Okt 93	173	175	137	42	42	36
Summe 93	<b>638</b>	<b>653</b>	<b>669</b>	<b>175</b>	<b>181</b>	<b>168</b>
in % gestuft	100,0	102,3	104,9	100,0	102,9	95,8

**Tabelle 4.18:** Monats- und Jahressummen der Konsumtion des Wittlingsbestands der Sylt-Rømø-Bucht in kg.

Wittling Modell	Crangon			Grundel		
	alles gestuft	T gleitend	geglättet	alles gestuft	T gleitend	geglättet
Jun 93	9	9	36	1	1	1
Jul 93	737	737	1.714	4	4	44
Aug 93	8.719	8.673	8.364	1.101	1.094	993
Sep 93	6.028	6.138	6.537	885	902	918
Okt 93	2.586	2.590	2.444	234	232	243
Summe 93	<b>18.080</b>	<b>18.147</b>	<b>19.096</b>	<b>2.224</b>	<b>2.233</b>	<b>2.200</b>
in % gestuft	100,0	100,4	105,6	100,0	100,4	98,9

In der Summe der Räuber wurde eine Jahreskonsumtion von 19-20t Garnelen und etwa 2,4t Grundeln durch diese beiden Gadiden für das Jahr 1993 in der Sylt-Rømø-Bucht berechnet. Dabei konzentrierten sich die monatlichen Konsumtionszahlen sehr stark auf den August und den September. In diesen 2 Monaten allein fand rund 80% der Jahreskonsumtion an Sandgarnelen und je nach Modell 86-88% der Jahreskonsumtion an Sandgrundeln durch Wittling und Kabeljau statt.

#### 4.5.6 Konsumierter Anteil der Beutebiomasse bzw. -produktion

Werden die Summen der Konsumtion an Sandgarnelen und Sandgrundeln aus den Monaten Juni bis Oktober 1993 nun den Biomassewerten dieser Arten aus den selben Monaten (Kap. 4.4.3) gegenübergestellt, dann zeigt sich, daß der konsumierte Prozentsatz der Biomasse sehr unterschiedlich ausfällt (Tab. 4.19-4.20): Während in keinem Monat des beobachteten Jahres die Konsumtion an der Sandgarnelen mehr als die Hälfte des Bestands erreichte, wurde für die Sandgrundeln eine Konsumtion von - je nach verwendetem Modell - bis zu 83% bzw. 91% im August errechnet.

**Tabelle 4.19:** Monatssummen der Konsumtion (gestuftes Modell) von Wittling und Kabeljau ausgedrückt als Prozentsatz der aus den Standardbefischungen errechneten Biomasse der Beuteorganismen.

Beuteart	Wittling		Kabeljau		Summe	
	Crangon	Grundel	Crangon	Grundel	Crangon	Grundel
Jun 93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul 93	1,6	0,4	0,0	0,0	1,6	0,4
Aug 93	45,3	89,3	0,7	2,1	46,0	91,3
Sep 93	13,8	39,1	0,8	4,8	14,6	43,9
Okt 93	12,6	10,7	0,8	1,9	13,4	12,6

**Tabelle 4.20:** Monatssummen der Konsumtion (geglättetes Modell) von Wittling und Kabeljau ausgedrückt als Prozentsatz der aus den Standardbefischungen errechneten Biomasse der Beuteorganismen.

Beuteart	Wittling		Kabeljau		Summe	
	<i>Crangon</i>	Grundel	<i>Crangon</i>	Grundel	<i>Crangon</i>	Grundel
Jun 93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul 93	3,7	5,0	0,0	0,0	3,7	5,0
Aug 93	43,5	80,5	0,7	2,8	44,2	83,3
Sep 93	15,0	40,5	0,9	4,3	15,9	44,9
Okt 93	11,9	11,1	0,7	1,6	12,6	12,8

Wie zu erwarten war, sind es auch in diesem Fall die Monate August und September, die die höchsten Werte aufweisen, da hier das Maximum der Konsumtion durch die Räuber erreicht wurde (s.o.) aber das Maximum der Biomasse der Beutearten nicht in diese Monate fiel.

Für diese zwei Monate übertrifft die Konsumtion an Grundeln deutlich deren Produktion in der Sylt-Rømø-Bucht. Es wird zu dieser Zeit also am Biomasse-Bestand der Grundeln gezehrt.

**Tabelle 4.21:** Monatssummen der Konsumtion (geglättetes Modell) von Wittling und Kabeljau ausgedrückt als Prozentsatz der errechneten Produktion der Beuteorganismen.

Beuteart	Wittling		Kabeljau		Summe	
	<i>Crangon</i>	Grundel	<i>Crangon</i>	Grundel	<i>Crangon</i>	Grundel
Jun 93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Jul 93	3,3	1,6	0,0	0,0	3,3	1,6
Aug 93	18,1	352,1	0,3	12,3	18,4	364
Sep 93	7,8	424,0	0,5	45,2	8,3	469
Okt 93	?	50,1	?	7,3	?	57

#### 4.5.7 Vergleich mit den langjährigen Abundanz-Indizes des DYFS

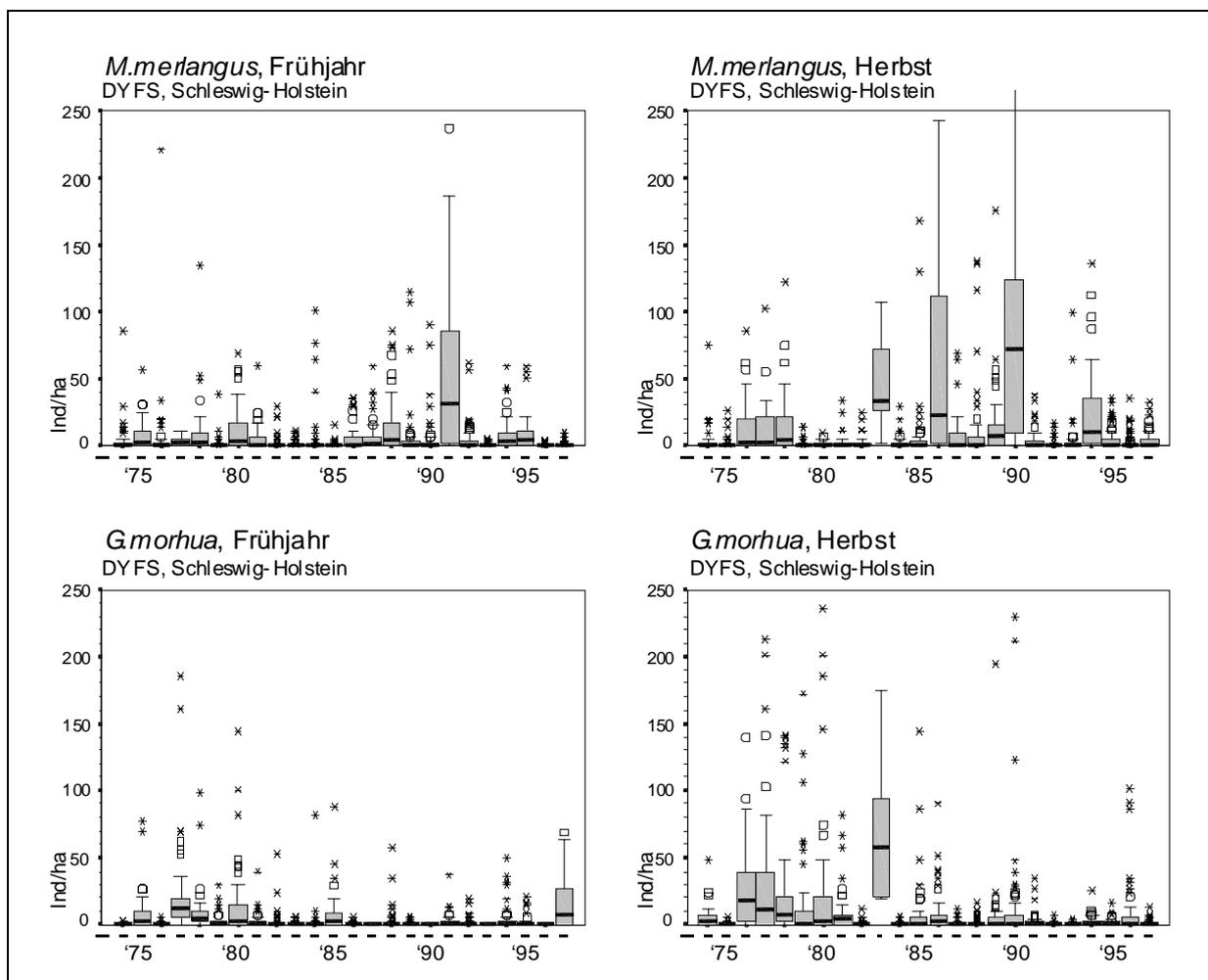
Der Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit den Berechnungen, die anhand der Daten des Demersal Young Fish and Brown Shrimp Survey (DYFS) für den Schleswig-Holsteinischen Teilbereich des Surveys durchgeführt wurden, sollte zeigen, inwieweit das Jahr 1993 ein typisches Jahr hinsichtlich der Räuber und Beutedichte darstellt und ob sich ganz allgemein hohe Räuberabundanzen in geringen Abundanzen der Beute widerspiegeln.

Bei der Analyse Einzelfänge des DYFS war ein deutlicher Unterschied zwischen den herbstlichen Abundanzen und denen des Frühjahrs auffällig. Der Modus der Abundanzen lag bei allen vier betrachteten Arten im Herbst höher als im Frühjahr. Über die Jahre 1974-1997 (Sandgrundel 1989-1997) lag zwischen beiden Jahreszeiten der Faktor 1,5 beim Wittling, 1,8 bei Kabeljau und Sandgrundel und 4,7 bei der Sandgarnele.

Gerade bei den Gadiden (Abb. 4.76) waren die Frühjahrsfänge zum Teil sehr gering. Dies gilt auch für das Frühjahr 1993, dem in dieser Arbeit exemplarisch untersuchten Jahr, in dem

in der Sylt-Rømø-Bucht vor dem Juni praktisch keine Gadiden auftraten (Abb. 4.04). Solche Jahre, in denen der Modus der Gadidenabundanzen in den Frühjahrsproben des DYFS unter 1 Ind./ha liegt, sich die Altersklasse 1 der Gadiden also bis zum Frühjahr vollständig von der Küste zurückgezogen hat, waren neben 1993 noch 1983, 1990 und 1996.

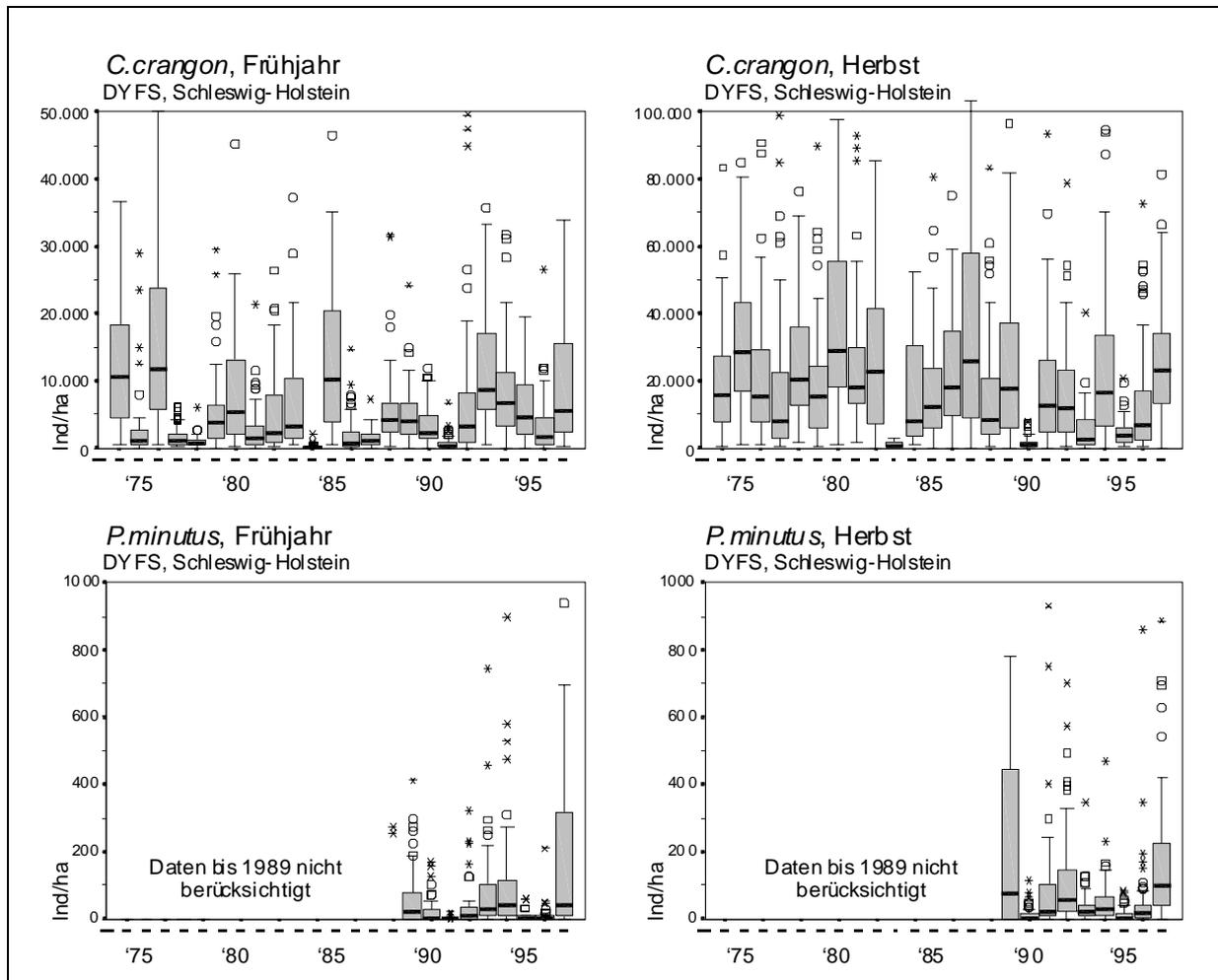
In zwei dieser Jahre folgten auf ein 'gadidenarmes' Frühjahr an der Küste dann besonders hohe Abundanzen der AK0 im Herbst: 1983, 1986 und 1990 waren Jahre mit extrem hohen Wittlings-, 1983 auch Kabeljauabundanzen in Schleswig-Holstein. 1990 war besonders auffällig, da die Fische dieses Jahrgangs selbst noch im Frühjahr 1991 in sehr großen Anzahlen an der Küste anzutreffen waren.



**Abbildung 4.76:** Abundanzen des Wittling (oben) und Kabeljau (unten) aus den Einzelfängen des DYFS im Frühjahr (links) und Herbst (rechts) vor der Schleswig-Holsteinischen Küste zwischen 1974 und 1997.

Solch hohe Abundanzen der Räuber korrelieren mit in diesen Jahren besonders geringen Abundanzen der potentiellen Beutarten (Abb. 4.77). So können für den Herbst 1983, in dem sowohl Kabeljau als auch Wittling in überdurchschnittlichen hohe Dichten auftraten, sehr

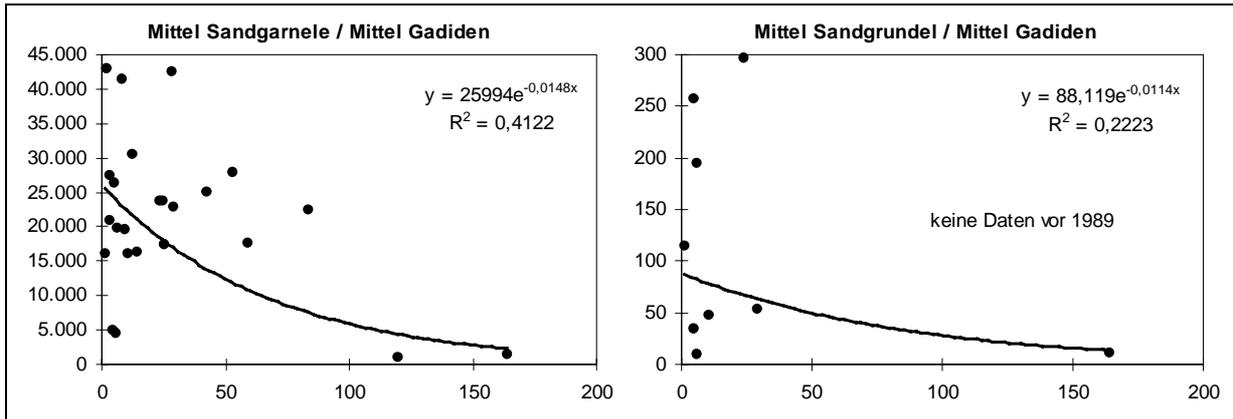
geringe Sandgarnelenabundanzen festgestellt werden. Dasselbe gilt für den Herbst 1990 und das Frühjahr 1991, in diesen beiden Fällen auch für die Sandgrundeln. Hohe Abundanzen der Räuber können also gleichzeitig mit geringen Abundanzen der Beute beobachtet werden.



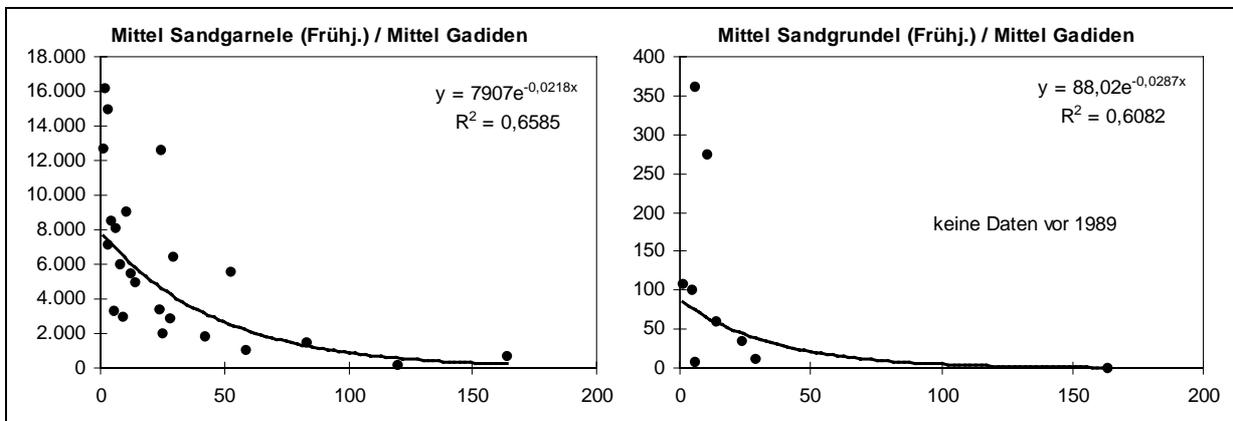
**Abbildung 4.77:** Abundanzen der Sandgarnelen (oben, unterschiedliche Skalen) und der Sandgrundeln (unten) aus den Einzelfängen des DYFS im Frühjahr (links) und Herbst (rechts) vor der Schleswig-Holsteinischen Küste zwischen 1974 und 1997.

Auch im Herbst des hier schwerpunktmäßig untersuchten Jahres 1993 waren die gemessenen Abundanzen von Sandgarnelen und Sandgrundeln unterdurchschnittlich, allerdings zeigte sich nicht die erwartete hohe Wittlingsdichte in den Fängen des DYFS.

Ganz allgemein kann aber eine, wenn auch nicht signifikante, Abhängigkeit der Abundanz der Beuteorganismen in den Herbstbeprobungen des DYFS von den jeweiligen Gadidenabundanzen (nur Wittling und Kabeljau) festgestellt werden (Abb. 4.78). Diese Abhängigkeit ist noch ausgeprägter, wenn die Räuberabundanzen des Herbsts mit den Beuteabundanzen des folgenden Frühjahres verglichen werden (Abb. 4.79).



**Abbildung 4.78:** Mittlere Abundanzen der Summe von Kabeljau und Wittling und mittlere Beuteabundanzen aus den Jahren 1974-1997 (bei Sandgrundeln 1989-1997) aus dem Schleswig-Holsteinischen Teil des DYFS.



**Abbildung 4.79:** Mittlere Abundanzen der Summe von Kabeljau und Wittling und mittlere Beuteabundanzen des jeweils folgenden Frühjahrs aus den Jahren 1974-1997 (bei Sandgrundeln 1989-1997) aus dem Schleswig-Holsteinischen Teil des DYFS.

## 5 Diskussion

### 5.1 Methodendiskussion

Die vorliegende Untersuchung fand im Rahmen des fischereilichen Teilprojekts eines breit angelegten Ökosystemforschungsprojekts statt. Die Ziele, die der Projektrahmen vorgab und die Ziele dieser Untersuchung deckten sich nicht immer. Während das fischereiliche Teilprojekt eine Beschreibung der gesamten Sylt-Rømø-Bucht und aller darin enthaltenen Arten von Fischen und dekapoden Crustaceen anstrebte, hätte eine spezifische Untersuchung der Beziehungen zwischen den Gadiden der Bucht und ihrer Beute den Schwerpunkt der Aktivitäten nur auf diese Arten konzentriert und neben Sandgarnelen und Sandgrundeln weitere Beuteorganismen untersucht. So waren zum Beispiel benthische Beuteorganismen nicht durch den vorgegebenen Projektrahmen abgedeckt und leider lagen hierfür auch aus keinem anderen Teilprojekt des Verbundprojekts Daten vor. Aus diesen Gründen muß diese Untersuchung als realisierbarer Kompromiß zwischen dem Anspruch auf Vollständigkeit und den begrenzenden Rahmenbedingungen gesehen werden.

Eine eingehende ichthyofaunistische Untersuchung im Wattenmeer ist aufgrund der großen Variabilität der wesentlichen, das Untersuchungsgebiet gestaltenden physikalischen Parameter und der hohen Mobilität seiner Bewohner auf ein möglichst breites Spektrum von Methoden angewiesen. Kein einzelnes Fanggerät allein kann ein hinreichend genaues Bild des Arteninventars sowie der räumlichen und zeitlichen Verteilung der verschiedenen Arten und der Altersgruppen dieser Arten liefern (Hinz, 1989). Daher wurden in der Anfangsphase des Projekts unterschiedlichste Methoden auf ihre Anwendbarkeit für die beabsichtigte Zielstellung getestet, um schließlich diejenigen Methoden auszuwählen, die einerseits einen möglichst guten Einblick in die Artenzusammensetzung und die Abundanzen der Ichthyofauna gewährleisteten und andererseits einen nicht übermäßig hohen Personal- oder Zeitaufwand erforderten, der zu Lasten der Gesamtzahl der Proben gegangen wäre, was wiederum zu einer Einschränkung der Größe der insgesamt untersuchten Fläche oder der Verringerung der zeitlichen Auflösung der Beprobung geführt hätte.

Die am häufigsten benutzten Fanggeräte Schiebehamen, Baumkurre und Scherbrettnetz erfüllten diese Voraussetzungen. Mit diesen drei Geräten war es möglich, das Untersuchungsgebiet vom obersten Eulitoral bis in Tiefen von über 20m zu beproben, wie sie z.B. in der Lister Ley vorkommen. Hierbei ist zu bedenken, daß alle Fischereigeräte eine spezifische Effizienz und Selektivität haben. Auch keines der in dieser Untersuchung benutzten Geräte fängt 100% der Fische und Garnelen auf der Fläche, die es überstreicht bzw. in dem Volumen, das es filtriert. Die Effizienz, also die Frage, wieviel Prozent der Tiere einer Art überhaupt vom Gerät aufgenommen werden, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab.

Hierzu zählen neben den Gerätedimensionen Höhe und Breite auch die Fischart und Fischgröße mit ihrem spezifischen Verhalten und Fluchtpotential (He, 1993; Wardle, 1993; Godø, 1994). Dabei hat ein größeres Gerät bei gleicher Maschenweite und Schleppgeschwindigkeit *per se* eine höhere Effizienz, da es einerseits durch eine größere Stauhöhe auch die weiter vom Grund entfernten Organismen aufnimmt und es andererseits aufgrund der größeren Öffnung für die flüchtenden Organismen schwieriger wird, dem Gerät zu entkommen oder überhaupt zu entscheiden, wo drinnen und wo draußen ist, wenn sie auf dessen Außenrand treffen (Barkley, 1964; Kuipers, 1975).

Des Weiteren spielen Umweltparameter wie Lichtverhältnisse (Glass & Wardle, 1989; Walsh & Hickey, 1993) und Trübung (Tiews, 1954b; Ehrich, 1991), Wassertiefe (Bishop & Khan, 1991), Tidenstand (Tiews, 1954b; Hempel, 1964) bzw. Strömungsstärke und -richtung (Neudecker *et al.*, 1998), Sedimenttyp (Berghahn *et al.*, 1995) und Sedimentoberflächenstruktur, Windstärke und Wellengang (Hinz, 1989), Wassertemperatur (Smiley & Parsons, 1997) und Tageszeit (Parrish *et al.*, 1964; Woodhead, 1964; Walsh, 1991; Casey & Myers, 1998) eine wichtige Rolle für die Geräteeffizienz neben den durch den Fangvorgang selbst gegebenen Parametern Schleppgeschwindigkeit (He, 1993), Distanz zwischen Boot und Schleppnetz (Kuipers, 1975), Schleppstreckenlänge bzw. Schleppdauer (Ehrich, 1992) und daran gekoppelt die bereits im Netz befindliche Fang- und Beifangmenge (Johnson, 1966).

Weiter kompliziert werden die Verhältnisse dadurch, daß diese Parameter auf die verschiedenen Fischarten unterschiedlich wirken und die unterschiedliche Größengruppen ein und derselben Art nicht dieselbe Reaktion zeigen (Godø, 1994) bzw. zeigen können (Wardle, 1977) und folglich nicht der gleichen Geräteeffizienz unterliegen.

Zudem sind die einzelnen Parameter nicht unabhängig voneinander. So ändert sich z.B. der Tageszeiteffekt mit der Tiefe (Casey & Myers, 1998). Das Fischverhalten und damit die Fängigkeit in Bezug auf das Licht ändert sich mit der Jahreszeit und/oder der Temperatur (Westin & Aneer, 1987).

Für eine tatsächliche Berücksichtigung der Effizienz der verwendeten Geräte in der Bestimmung der Abundanzen im Untersuchungsgebiet hätte also die Effizienz jedes Geräts für jede Größengruppe jeder Art unter möglichst jeder Kombination der oben genannten Parameter bestimmt werden müssen, um die jeweils gültigen Korrekturfaktoren zu ermitteln. Dieses Unterfangen wurde für diese Untersuchung nicht angestrebt. Vielmehr muß man sich im Falle von Befischungen mit Schleppgeräten im Wattenmeer wohl insgesamt mit der Feststellung begnügen, daß die Geräteeffizienz  $< 100\%$  ist, wenn man nicht die experimentell für eine Parameterkombination ermittelte Effizienz willkürlich auf alle Hols zu allen Gelegenheiten anwenden will, also die scheinbare Abundanz schlicht mit einem Faktor hochskaliert. Für das im Sublitoral verwendete Scherbrettnetz wäre aber selbst eine solche

Abschätzung z.B. nach der Methodik von Kjelson & Johnson (1978) aufgrund der Gebietsmorphologie (zu große Tiefen, zu starke Strömung, keine Möglichkeit ein Teilgebiet abzusperren) nicht möglich gewesen oder hätte auch nur Hinweise über die Effizienz dieses Geräts im Flachwasser gegeben, wo es nicht standardmäßig eingesetzt wurde. Um einen Anhaltspunkt für die Größenordnung zu geben sei erwähnt, daß die Untersuchungen der oben genannten Autoren mit einem Schleppnetz, das dem in diesem Projekt verwendeten Scherbrettnetz sehr ähnelt, für die dort untersuchten Rundfischarten und Größengruppen Effizienzen von 30% bis 50% ergaben.

Eine mögliche Lösung des Problems hätte darin bestanden, zumindest Baumkurre und Scherbrettnetz jeweils in zwei Strata gleichzeitig (hier also die ST- und die SF-Serie) zu verwenden und damit die Möglichkeit zu schaffen, die Ergebnisse der beiden Geräte in den unterschiedlichen Strata jeweils wechselseitig zu vergleichen. Für das dritte Stratum, das flache Eulitoral der CS-Serie, wäre ohnehin kein anderes Gerät als der gewählte Schiebehaken einsetzbar gewesen. Eine Doppelbeprobung der beiden tieferen Serien mit jeweils zwei Geräten hätte allerdings aufgrund der erforderlichen Rüstzeiten den Aufwand mehr als nur verdoppelt und wäre unter den gegebenen Umständen nicht durchzuführen gewesen, ohne die Anzahl der Stationen der Standardbeprobung drastisch zu reduzieren. Zudem erwies sich der Einsatz der 2-Meter-Baumkurre im Stratum der ST-Serie als nicht sicher, da in größeren Tiefen nicht gewährleistet werden konnte, daß das Gerät mit der dafür vorgesehenen Seite auf dem Grund landete und nicht mit dem Baum nach unten und den Kufen nach oben fischte.

Nach eigener Überzeugung fiel die Entscheidung für die angewandte Probennahmestrategie zugunsten der "besten aller schlechten Möglichkeiten". Bei der Betrachtung der Ergebnisse muß also berücksichtigt werden, daß alle angegebenen Abundanzen und die davon abgeleiteten Biomassewerte auf die vorgefundenen Originalfangmengen auf den befischten Flächen zurückgehen und damit eine Unterschätzung der tatsächlichen, letztlich unbekanntenen Abundanz und Biomasse darstellen. Da aber sowohl bei der Erfassung der Räuber als auch bei der Erfassung der Beute eine Unterschätzung auftritt, der Fehler also zumindest gleich gerichtet ist, sollte die quantitative Beschreibung der Räuber-Beute-Beziehung dennoch nicht unversucht bleiben.

Zusammenfassend läßt sich bemerken, daß sich an diesen Problemen seit dem Resumée, das Jones (1956) zog, nichts geändert hat: "In this respect the fisheries biologist is at a disadvantage compared with, say, the agricultural scientist, since the investigation of the limitations of the trawl as a sampling instrument presents a particularly difficult problem".

Vermutlich sind die drei Geräte in unterschiedlichem Maße von dem Effizienzproblem betroffen. Wennhage *et al.* (1997) fanden bei Vergleichen mit einer Kastenfalle („drop-trap“,

für die eine 100%ige Effizienz angenommen wurde) daß der Schiebehamen eine höhere Effizienz im Fang von Sandgarnelen hatte als die 2-Meter-Kurre und daß bei beiden Geräten die Effizienz für Sandgarnelen deutlich höher lag als für Plattfische. Kuipers *et al.* (1992) wiederum fanden eine höhere Effizienz von Baumkurren im Vergleich zu Scherbrettnetzen für juvenile Plattfische. Dies wird aber auf den Fang von Gadiden mit Sicherheit nicht zutreffen; hier dürfte die Effizienz des Scherbrettnetzes aufgrund seiner 4 bis 6-fach größeren Stauhöhe wiederum deutlich größer sein als die der Baumkurre. Wie entscheidend die Stauhöhe für die Effizienz eines Geräts ist, das zur Befischung der Priele und Tiefs benutzt wird, machen die Echolot-Schriebe in Abb. 4.09 sehr deutlich.

Auf den ersten Blick schien auch der auffallende Unterschied zwischen den kleinen Tag- und den großen Nachtfängen des pelagischen Hamens (Tab. 4.03) ein Effizienz- oder Fängigkeitsproblem dieses Geräts zu sein. Unter Umständen könnte dies auf eine Vermeidung des Einschwimmens in den Netztrichter bei Tage hindeuten, wenn die Fische bei zu kleiner Netzöffnung zwischen drinnen und draußen unterscheiden können. Dagegen spricht allerdings, daß im März 1994, als mit einem Netz von 3,5-facher Öffnungsfläche (3\*7m statt 2\*3m) gearbeitet wurde, das Verhältnis zwischen Tag- und Nachtfängen ähnlich ausfiel und daß auch bei Fängen mit einer 15-fach größeren Netzöffnung in der Meldorfer Bucht (Breckling & Neudecker, 1994) derartige diurnale Unterschiede auftraten.

Der naheliegenden Kritik, daß für die Standardbefischungen die flacheren CS- und SF-Serien bei Hochwasser, die ST-Serie der hingegen bei Niedrigwasser durchgeführt worden sei und letztere also u.U. eine im kleineren Wasserkörper "aufkonzentrierte" Abundanz widerspiegeln, kann entgegengehalten werden, daß während der 24-Stunden Fischereien, die ja in den Tiefs stattfanden, keine Fangerhöhungen zu Niedrigwasser zu beobachten waren (Abb. 4.06/4.07 und 4.17/4.18). Sollten also Fischkonzentrationen während des Niedrigwassers entstehen so ist dies vermutlich eine Erscheinung, die auf die unmittelbaren Prielränder begrenzt ist, die mit dem Scherbrettnetz in der ST-Serie der Standardbefischungen nicht beprobt wurden. Auf solche lokal begrenzten Konzentrationseffekte zu Niedrigwasser weisen auch die Ergebnisse der mit dem Schiebehamen ausgeführten 24-Stunden-Fischerei vom Mai 1994 (Abb. 4.19) sowie die Untersuchungen von Hartsuyker (1966), Janssen & Kuipers (1980) und Berghahn (1984) für nicht mehr ganz kleine Sandgarnelen hin. Für Flundern beobachtete Piepenburg (1984) ebenfalls Konzentrationen unmittelbar an Prielrändern bei Niedrigwasser.

Bei den eingesetzten Geräten ergaben sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der damit erfaßten Anzahl von Fischarten. So erfaßte der Schiebehamen 19, die Baumkurren 31, das Scherbrettnetz 41 und der pelagische Hamen 29 Fischarten. Damit erwies sich das in Untersuchungen von reich strukturierten Flachwassergebieten wegen seiner komplizierteren Handhabung sonst kaum eingesetzte Scherbrettnetz hinsichtlich der Präsenzen als ein sehr

effektives Gerät. Es fängt sowohl die bodengebundenen Fischarten, als auch solche, die mehr oder gänzlich dem Freiwasser zugeordnet werden müssen und gibt damit einem wichtigen Ausschnitt der Ichthyozönose des Wattenmeeres mehr Gewicht, der bei den bisherigen im wesentlichen auf Baumkurren gestützten Untersuchungen stets unterrepräsentiert war. Im Gegensatz zum rein pelagisch fischenden Hamen kann das Scherbrettnetz aber wesentlich häufiger pro Tide und dazu auf den unterschiedlichsten Fangplätzen eingesetzt werden. Zudem erlaubt es einen Flächenbezug des Fangergebnisses.

Erst durch dieses Gerät war es möglich, die Themenstellung dieser Untersuchung überhaupt zu bearbeiten, da nur mit dem Scherbrettnetz die Gruppe der Räuber in ausreichender Menge und mit der für Magenuntersuchungen erforderlichen geringen Zeitdifferenz zwischen Fang und Konservierung erfaßt wurde.

## 5.2 Besonderheiten der Sylt-Rømø-Bucht

Die Untersuchung fand in der Sylt-Rømø-Bucht statt, die hinsichtlich ihrer Topographie und Hydrographie eine für das Wattenmeer der Nordsee untypische Bucht darstellt. Einerseits fehlt der Wasseraustausch landseitig der Inseln aufgrund des Rømø-Damms im Norden und des Hindenburg-Damms im Süden, so daß für Meeresorganismen jeglicher Transport in die Bucht und aus ihr heraus durch das Lister Tief führen muß. Andererseits verläßt bei jeder Ebbe rund die Hälfte des Wassers die Bucht (Backhaus *et al.*, 1995), so daß ein ungewöhnlich starker Austausch mit der Nordsee, nicht aber rückseitig der Inseln mit anderen Wattgebieten besteht. Zum Dritten weist die Sylt-Rømø-Bucht trotz des großen Unterschieds in der Wassermenge zwischen Flut und Ebbe einen im Vergleich zu anderen Wattenmeergebieten unterdurchschnittlichen Anteil an Eulitoralflächen auf. Während der Anteil der Eulitoralfläche der 10 von Bergman *et al.* (1989) untersuchten Wattenmeerbuchten der südlichen Nordsee im Mittel 64% betrug, liegt er in der Sylt-Rømø-Bucht mit 33% gerade einmal bei der Hälfte dieses Werts. Die Eulitoralflächen der Sylt-Rømø-Bucht sind nicht nur sehr klein, sie sind zudem aus überdurchschnittlich sandigen Sedimenten aufgebaut. Misch- und Schlickwatt sind wesentlich seltener als in anderen Wattenmeerbereichen (Köster *et al.*, 1995). Ungewöhnlich hoch ist dagegen der Anteil flacher Sublitoralflächen, die bei mittlerem Niedrigwasser noch eine Bedeckung von 0 - 2m aufweisen. Als vierter Punkt sei das weitgehende Fehlen eines Süßwasserzustroms und der dazugehörigen Ästuargebiete erwähnt, wie sie für das östliche und südliche Wattenmeer bis hinauf zur Mündung der Eider so typisch sind.

Diese Besonderheiten haben einen wesentlichen Einfluß auf die Zusammensetzung der Fischartengemeinschaft der Bucht. So beschreiben Bergman *et al.* (1988), daß das Aufkommen juveniler Schollen von der Topographie und von der Hydrographie (Bergman *et al.*, 1989) abhängig ist. Demnach ist die Eignung eines Gebiets als Aufwuchsgebiet juveniler

Plattfische positiv mit der Größe der Eulitoralfläche korreliert und negativ dem Abstand dieser Flächen vom Seegat. Dieser ist in der Sylt-Rømø-Bucht ebenfalls im Schnitt sehr hoch, da die größeren Eulitoralflächen an der Festlandsküste und an den Verbindungsdämmen liegen. In der Tat ist der Plattfischbestand der Bucht unterdurchschnittlich, wenn man ihn mit dem anderer Gebiete vergleicht (Tab. 5.01). Zudem beobachtete Berghahn (1987) ein deutlich verringertes Wachstum von 0-Gruppen Schollen auf sandigen im Vergleich zu schlickigen Sedimenten, so daß für die Sylt-Rømø-Bucht auch in diesem Punkt von einer geringeren Eignung für den Aufwuchs dieser Fische ausgegangen werden kann, was bei der gegebenen hohen Mobilität der Tiere die geringen Abundanzen zusätzlich erklären dürfte.

**Tabelle 5.01:** Vergleich der in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffenen Schollen-Abundanzen mit Werten aus anderen Untersuchungen im Watt und anderen Küstengebieten.

Spezies	Abundanz	Methode/Ort	Bemerkung/Quelle
<i>Pl. platessa</i>	61 /1000m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Loch Ewe (GB), Eulitoral	Durchschnitt Apr.-Nov. Edwards & Steele, 1968
<i>Pl. platessa</i>	82 /1000m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Loch Ewe (GB), MLWS bei HW	Durchschnitt Apr.-Nov. Edwards & Steele, 1968
<i>Pl. platessa</i>	16 /1000m <sup>2</sup>	2m-Kurre (Eff.-korr.) Balgzand (NL), auf der Plate bei HW	Durchschnitt Apr.-Nov. Kuipers, 1977
<i>Pl. platessa</i>	0,9 /1000m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Sylt-Rømø-Bucht, <b>SF</b> -Serie	Durchschnitt Apr.-Nov. <b>diese Untersuchung</b>
<i>Pl. platessa</i>	95 /1000m <sup>2</sup>	2m-Kurre (Eff.-korr.) Butterloch (D)	Juli, Tag Berghahn, 1987
<i>Pl. platessa</i>	150 /1000m <sup>2</sup>	2m-Kurre (Eff.-korr.) Butterloch (D)	Juli, Nacht Berghahn, 1987
<i>Pl. platessa</i>	4 /1000m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Sylt-Rømø-Bucht, <b>SF</b> -Serie	max. Monatsmittel (Mai) <b>diese Untersuchung</b>

Eff.-korr. = um die Geräteeffizienz korrigiert; MLWS = mittlere Niedrigwasserlinie bei Springtiden; max. Monatsmittel = maximaler Monatsmittelwert der Abundanz im Verlaufe eines Jahres

Auch Sandgarnelen kommen in der Sylt-Rømø-Bucht in unterdurchschnittlichen Abundanzen vor. Während sich im oberen Eulitoral noch ähnlich hohe Garnelendichten zeigen, wie sie auch in anderen Flachwassergebieten festgestellt wurden (oberer grauer Block in Tab. 5.02), sind die Abundanzen, die auf den großen Flächen des tiefen Eulitorals und flachen Sublitorals der Sylt-Rømø-Bucht erreicht werden, deutlich geringer als die von Untersuchungen anderer Gebiete publizierten (heller Block in Tab. 5.02). So werden zum Beispiel im Niederländischen Watt rund 10-fach höhere Mittelwerte der Sandgarnelenabundanzen für den Monat mit dem höchsten Mittelwert festgestellt. Auch für die Sandgrundel liegen die Werte im Sublitoral der Sylt-Rømø-Bucht deutlich tiefer als andernorts festgestellt. Mit vergleichbaren Methoden wurden im Sublitoral anderer Watt- und Ästuargebiete zumeist 20 bis 60-fach höhere maximale Monatsmittelwerte vorgefunden. Auch

für diese Art scheint folglich die Sylt-Rømø-Bucht ein Gebiet sehr geringer Abundanzen zu sein.

**Tabelle 5.02:** Vergleich der in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffenen Abundanzen von Sandgarnele und Sandgrundel mit Werten aus verschiedenen Untersuchungen im Watt und anderen Küstengebieten.

Spezies	Abundanz	Methode/Ort	Bemerkung/Quelle
<i>C. crangon</i>	55-90 /m <sup>2</sup>	Drop-Trap Gullmarsvik (S)	max. Monatsmittel (Juli) Pihl & Rosenberg, 1982
<i>C. crangon</i>	21-28 /m <sup>2</sup>	Schiebehamen Meldorfer Bucht u. Eider, Plate	max. Monatsmittel (Juni) del Norte-Campos, 1995
<i>C. crangon</i>	30-50 /m <sup>2</sup>	Schiebehamen Nivå-Bugt (DK)	max. Monatsmittel Muus, 1967
<i>C. crangon</i>	38-349 /m <sup>2</sup>	Schiebehamen (MW 6mm) Amrum, Rückseitenwatt, Prielkante	max. Monatsmittel Piepenburg, 1984
<i>C. crangon</i>	33 /m <sup>2</sup>	Schiebehamen Sylt-Rømø-Bucht, <b>CS</b> -Serie	max. Monatsmittel (Juni) <b>diese Untersuchung</b>
<i>C. crangon</i>	60-70 /m <sup>2</sup>	1,9m-Kurre (Eff.-korr.) Balgzand (NL), auf der Plate	max. Monatsmittel (Juni) v. Lissa, 1977
<i>C. crangon</i>	19 /m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Balgzand (NL), auf der Plate	max. Monatsmittel (Juli) Dapper, 1978
<i>C. crangon</i>	88 /m <sup>2</sup>	2m-Kurre (Eff.-korr.) Balgzand (NL), auf der Plate	max. Monatsmittel (Juli) Dapper, 1978
<i>C. crangon</i>	15 /m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Balgzand (NL), auf der Plate	Monatsmittel August Janssen & Kuipers, 1980
<i>C. crangon</i>	1,5 /m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Sylt-Rømø-Bucht, <b>SF</b> -Serie	max. Monatsmittel (Juni) <b>diese Untersuchung</b>
<i>Pom. minutus</i>	0,3-0,6 /m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Ythan Estuary (GB)	max. Monatsmittel (Sept.) Healy, 1971
<i>Pom. minutus</i>	0,4 /m <sup>2</sup>	2m-Kurre (Eff.-Korr.) Balgzand (NL), auf der Plate	max. Monatsmittel (Sept.) v.d. Gaag, 1977
<i>Pom. minutus</i>	0,01 /m <sup>2</sup>	2m-Kurre (nicht Eff.-korr.) Sylt-Rømø-Bucht, <b>SF</b> -Serie	max. Monatsmittel (Mai) <b>diese Untersuchung</b>
<i>Pom. minutus</i>	0,2-0,3 /m <sup>2</sup>	Scherbrettnetz (nicht Eff.-korr.) Westl. Wattenmeer, (NL), D>1,5m	max. Monatsmittel (Okt.) Fonds, 1973
<i>Pom. minutus</i>	0,01 /m <sup>2</sup>	Scherbrettnetz (nicht Eff.-korr.) Sylt-Rømø-Bucht, <b>ST</b> -Serie	max. Monatsmittel (Okt.) <b>diese Untersuchung</b>

Hierfür wären zwei Erklärungen denkbar: einerseits könnte es sich bei dem hier exemplarisch betrachteten Jahr 1993 um ein unterdurchschnittliches Jahr in Bezug auf das Sandgarnelen- und Grundelaufkommen handeln, zum Beispiel eben durch überdurchschnittlichen Wegfraß. Dagegen sprechen aber die eigenen Untersuchungen von 1992 und 1994 aus dem gleichen Gebiet (Abb. 4.13 u. 4.14) und die Fänge aus dem DYFS (Abb. 4.77), die für das Jahr 1993 zumindest im Frühjahr keine auffälligen Minima in der Abundanz von Sandgarnele und Sandgrundel zeigen. Andererseits könnte es sein, daß der Garnelenbestand der Bucht - ähnlich dem der Bestand juveniler Plattfische - von der Größe der Eulitoralflächen abhängt, die den gerade zum Bodenleben übergegangenen Sandgarnelen

zur Verfügung stehen. Die durch die Eulitoralfläche begrenzte Menge heranwachsender Tiere würde sich dann in der Sylt-Rømø-Bucht auf eine im Verhältnis deutlich größere Sublitoralfläche verteilen, was die dort entsprechend geringeren Individuendichten erklärte.

Ein Beispiel für eine funktionale Beziehung zwischen Eulitoralfläche und Garnelenaufkommen zeigten Kuipers & Dapper (1984) und es sprechen noch weitere Hinweise für eine solche Abhängigkeit: so ist der Fischereiertrag an Sandgarnelen aus dem westlichen Niederländischen Wattenmeer nach der Abdeichung der Zuiderzee mit ihren verhältnismäßig großen Eulitoralflächen im Jahr 1932 drastisch zurückgegangen (Boddeke, 1978). Und eine Analyse der Fänge des DYFS zeigt höhere Abundanzen an jungen Sandgarnelen im Herbst für das Ostfriesische Watt mit seinem im Vergleich zum Nordfriesischen Watt höheren Eulitoral-Anteil (Jansen *et al.*, 2000).

Allerdings sind die in der Sylt-Rømø-Bucht vorgefundenen Abundanzen noch geringer, als aufgrund des verhältnismäßig kleineren Eulitoral-Anteils der Bucht zu erwarten gewesen wäre. Vermutlich spielt hier das weitgehende Fehlen schlickiger Sedimente die entscheidende Rolle, da die Präferenz juveniler Sandgarnelen für höhere Schlickanteile im Sediment bekannt ist (Boddeke *et al.*, 1985). So wurden auch im Nordsylter Wattenmeer die höchsten Abundanzen im südlichen Teil der Bucht angetroffen (Abb. 4.24 und 4.25), wo der Schlickanteil am höchsten war (Köster *et al.*, 1995). Dagegen wies der durch seine äußerst sandigen Sedimente gekennzeichnete Königshafen trotz seiner verhältnismäßig großen Eulitoralfläche bei jeder Beprobung die im Vergleich dieses Stratums geringsten Abundanzen kleiner Sandgarnelen der gesamten Bucht auf.

So dürften Topographie und Sedimentverteilung zusammenwirken um die vergleichsweise geringen Sandgarnelen-Abundanzen der Sylt-Rømø-Bucht zu erklären.

Für die Gadiden sind die direkten Folgen dieser besonderen Topographie vermutlich weniger gravierend. Sie meiden in der Regel das Eulitoral ebenso wie das ganz flache Sublitoral, da sie Tiefen von mehr als 4m vorziehen (s. Abb. 4.08). Zudem sind sie auf das Watt als Aufwuchsgebiet für die Juvenilphase nicht angewiesen (Zijlstra, 1978).

### **5.3 Die räumliche und zeitliche Aspekte der Räuber-Beute-Beziehung**

Die Existenz einer Räuber-Beute-Beziehung setzt zunächst voraus, daß der Räuber die Beute erreichen kann, um sie zu fressen. Dazu ist es notwendig, daß sich Räuber und Beute zur gleichen Zeit am gleichen Ort aufhalten. Dies ist in der Sylt-Rømø-Bucht nur in begrenztem Maße der Fall. Während Sandgarnelen und Sandgrundeln als Beute das ganze Jahr über im Untersuchungsgebiet vorkamen, waren die Gadiden als Räuber im Jahr 1993 nur für 5-6 Monate präsent, wovon nur 3 Monate (August bis Oktober) höhere Abundanzen bzw.

Biomassewerte der Räuber zeigten (Abb. 4.44 und 4.45). In anderen Jahren kommen auch im Frühjahr Gadiden in der Bucht vor, wie die Fänge von 1992 und 1994 zeigen: zeitweise scheinen zumindest Kabeljau der AK0, später AK1, sogar im unmittelbaren Küstenbereich zu überwintern, denn sie konnten in den Februar-Befischungen nachgewiesen werden (Abb. 4.02). Insgesamt ist ihre Abundanz dann aber deutlich geringer, als die der AK0, die im Spätsommer und Herbst den Gadidenbestand der Küste dominieren: eine Analyse der Gadidenabundanzen in den halbjährlichen Befischungen des DYFS für Schleswig-Holstein ergab im Mittel der Jahre 1974 bis 1997 ein Abundanzverhältnis Frühjahr zu Herbst von 1:2 für den Wittling und 1:2,5 für den Kabeljau. Zudem ist zu bedenken, daß aufgrund der geringeren Wassertemperaturen in Winter und Frühjahr die stark temperaturabhängige Konsumtionsrate deutlich niedriger liegt. Auch in den Jahren, in denen Gadiden im Frühjahr auftreten, ist der Jahrespfeil der Konsumtion wegen der größeren Abundanz der Prädatoren und den höheren Wassertemperaturen im Herbst zu erwarten. Es folgt:

⇒ ***Die Prädation ist ein saisonaler Prozeß.***

Die Wittlinge und Kabeljau der Sylt-Rømø-Bucht hatten ihren Verteilungsschwerpunkt deutlich in den tieferen Bereichen der Bucht bei Wassertiefen von >4-5m (Abb. 4.08, 4.09 und 4.10). Diese Tiefenbereiche machen aber nur einen kleinen Anteil der Fläche der Bucht aus (Abb. 3.01 und Tab. 3.03). Der Flächenanteil von über 5m tiefen Prielen und Tiefs liegt gerade einmal bei 9,4%. Von daher sollte es für die Beutearten ein Leichtes sein, sich den Räubern durch den Aufenthalt im Flachwasser zu entziehen. Daß ein solches Verhalten zu einer erhöhten Überlebensrate führt, zeigen die Experimente von Ruiz *et al.* (1993) und daß Beutearten ihr tidales Wanderverhalten ändern, je nachdem ob ein potentieller Räuber anwesend ist oder nicht, konnten Burrows & Gibson (1995) für Schollen zeigen. Bei Abwesenheit der Räuber in den Flachwassergebieten gilt also:

⇒ ***Die Prädation ist ein lokal begrenzter saisonaler Prozeß.***

Die Erkenntnis, daß sich die Räuber im Wesentlichen unterhalb von rund 4m Wassertiefe aufhalten, gilt mit einer Einschränkung. Sowohl in den tiefenstratifizierten Befischungen (Abb. 4.10) als auch bei der Auswertung aller Fänge zusammen (Abb. 4.08) zeigte sich, daß die Räuber eine Art kleinskalige diurnale Tiefenwanderung durchführen und nachts durchaus auch an flacheren Stellen angetroffen werden können. Im Extremfall kann dies auch das Eulitoral sein, wie bei einem Fang im August 1990 mit der Einschließungsanlage im tiefen Eulitoral des Königshafens gezeigt werden konnte. Hier wurde eine Dichte von bis zu 90 Ind./1000m<sup>2</sup> festgestellt. Allerdings war 1990 ein extrem starkes „Wittlings-Jahr“. Es traten im Herbst jenes Jahres im Schleswig-Holsteinischen Küstengebiet die höchsten Wittlings-Dichten auf, die je in den Fängen des seit 1974 durchgeführten DYFS registriert wurden (Abb. 4.76). Daher ist eine nächtliche Einwanderung in das Eulitoral vermutlich die Ausnahme.

Ein nächtliches Aufsteigen juveniler Gadiden in das Pelagial über größeren Tiefen wurde aber auch von Zarkeschwari (1978) für Dorsche der Kieler Bucht, von Pihl (1982) für Dorsche im Bohuslän, von Bromley & Kell (1995) für 0-Gruppen-Gadiden in der zentralen Nordsee, von Clark & Green (1989) und Keats & Steele (1992) für noch nicht rekrutierten Kabeljau vor Neufundland und von Brunel (1964) für Kabeljau des St.Lorenz-Stroms festgestellt. In den meisten Fällen standen diese Vertikalwanderungen im Zusammenhang mit der Nahrungsaufnahme.

Dies dürfte auch der Anlaß für die Vertikalwanderung der juvenilen Wittlinge und Kabeljau in der Sylt-Rømø-Bucht sein. Der nächtliche Aufstieg in das Pelagial fällt zumindest zeitlich zusammen mit der Zunahme des Mageninhalts (Abb. 4.59 u. 4.60). Es ist also anzunehmen, daß die Nahrungsaufnahme im Pelagial stattfindet, denn dort befindet sich zu diesem Zeitpunkt auch Beute: die Hamenfänge in der Sylt-Rømø-Bucht (Tab. 4.03) zeigten ein deutlich erhöhtes Auftreten von Sandgarnelen und Sandgrundeln im nächtlichen Pelagial. Auch in den Hamenfängen von Breckling & Neudecker (1995) in der Meldorfer Bucht waren nachts 12-fach mehr Sandgarnelen und 11-fach mehr Sandgrundeln gefangen worden. Maes *et al.* (1999) konnten in der im Ästuar der Schelde zeigen, daß sich die Sandgrundeln dabei zum größeren Teil in den oberen 4 Metern aufhalten, also nicht nur zufällig in Bodennähe verdriftet werden.

Die Tatsache, daß das Pelagial nachts viel stärker bevölkert ist als tagsüber, hat eine nicht unerhebliche nächtliche Umverteilung der Biomasse innerhalb der Bucht zur Folge, die einen Teil der beobachteten hohen Variabilität der Abundanzen von Tag zu Tag erklären mag.

Für die Vermutung, daß die von den Gadiden der Altersklasse 0 im Pelagial gefressenen Sandgarnelen und Sandgrundeln tagsüber im Eulitoral und flachen Sublitoral der Bucht zu finden sind, sich also außerhalb der Reichweite der Räuber befinden, spricht auch die Größenverteilung der Beuteorganismen in den Mägen (Abb. 4.64 u. 4.65). Die Länge der in den Mägen gefundenen Tiere (Abb. 4.66) deckte sich eher mit den Längen, die im Eulitoral und flachen Sublitoral angetroffen wurden als mit der aufgrund der Tiefenabhängigkeit der Längenverteilung (Abb. 4.21 und 4.23) größeren Länge der Tiere, die in größeren Tiefen angetroffen wurden.

Interessanterweise scheint diese nächtliche Umverteilung nicht für die Strandgrundel (*Pomatoschistus microps*) zu gelten. Im Gegensatz zur Sandgrundel wurden die im Schwerpunkt im oberen Eulitoral vorkommende Strandgrundel nur bei einer Hamenbefischung im März 1993 mit insgesamt 6 Individuen im Pelagial angetroffen, von denen 4 in Tagfängen auftraten. Wenn also die Nahrungsaufnahme im nächtlichen Pelagial erfolgt, dann scheiden Strandgrundeln als Nahrung wohl weitgehend aus, auch wenn sich die beiden Arten im Magen nach kurzer Verdauungszeit nicht mehr unterscheiden lassen.

Für die Räuber-Beute-Beziehung zwischen den Gadiden auf der einen und den Sandgarnelen und Sandgrundeln auf der anderen Seite ist bemerkenswert, daß in diesem Fall nicht der Räuber die Beute in ihrem Hauptaufenthaltsgebiet sucht, sondern die Möglichkeit der Nahrungsaufnahme in den Zeiten nutzt, wenn sich die Beute in seinem Aufenthaltsbereich befindet.

⇒ *Die Prädation der Gadiden an den Sandgarnelen und Sandgrundeln der Sylt-Rømø-Bucht ist ein lokal begrenzter, saisonaler Prozeß mit diurnaler Rhythmik.*

#### **5.4 Die Bedeutung der Beute für den Räuber oder: Der Anteil der Beutegruppen in der Nahrung**

Es konnte gezeigt werden, daß Sandgarnelen und Sandgrundeln einen sehr wesentlichen Anteil der Nahrung der juveniler Gadiden in der Sylt-Rømø-Bucht ausmachen und daß dieser Anteil mit der Größe bzw. dem Alter, das diese Räuber erreichen, zunimmt (Abb. 4.54). Rund die Hälfte des Gewichts der in den Mägen der Räuber vorgefundenen Nahrung bestand allein aus diesen beiden Arten. Dies ist auch im Vergleich zu anderen Untersuchungen ein großer Anteil (Tabelle 5.03).

So fanden Hislop *et al.* (1991) für die Wittlinge entsprechender Größenklassen im Mittel einer sehr großen Stichprobe nur rund die Hälfte des hier beschriebenen *Crangon crangon*-Anteils in den Mägen. Auch die Mageninhalte der aus denselben Fängen stammenden Kabeljau wiesen deutlich geringere Anteile an Sandgarnelen auf (Daan, 1983). Die Proben für diese beiden Mageninhaltsuntersuchungen waren im Rahmen des „International Stomach Sampling Project“ des ICES im Jahr 1981 in der gesamten Nordsee gesammelt worden. Es ist anzunehmen, daß die geringeren Garneledichten und damit die geringere Verfügbarkeit dieser Beute an den küstenferneren Probennahmeorten die Unterschiede zur hier vorliegenden Untersuchung verursachte.

Aber auch im Vergleich mit Untersuchungen aus direkter Küstennähe ist der Anteil an Garnelen und Grundeln in den Mägen der Fische der Sylt-Rømø-Bucht zumeist höher. So fanden Gibson & Robb (1996) in einer sandigen Bucht West-Schottlands nur einen Volumenanteil von rund 4% bzw. 8% Garnelen in den Mägen von Kabeljau und Wittling. Dabei ist zu Beachten, daß die Westküste Schottlands im Mittel deutlich geringere Sandgarnelendichten aufweist, als die Nordseeküsten. Dies dürfte ebenfalls die Erklärung für den geringen Anteil von *Crangon crangon* in der Nahrung der Dorsche der Kieler Bucht sein, den Arntz (1974) feststellte. Redant (1982) untersuchte die Mägen von Gadiden vor der Belgischen Küste, in denen er um mehr als ein Viertel (Wittling) bzw. ein Fünftel (Kabeljau) geringere Anteile von Garnelen fand als in der hier vorliegenden Untersuchung. Sehr ähnlich

sind die Garnelenanteile in den Mägen der Wittlinge, die Hamerlynck und Hostens (1993) in der Außenschelde untersuchten. Dies paßt gut zu dem Umstand, daß an der offenen Belgischen-Holländischen Küste im Mittel weniger Sandgarnelen anzutreffen sind als an den Wattenmeerküsten der Nordsee (Jansen *et al.*, 2000) mit im Vergleich zur jener Küste ausgedehnten Eulitoralflächen, wie wir sie auch im Wash an der Englischen Ostküste oder in den Ästuarien von Themse und Rhein vorfinden. Aus diesen Gebieten existierten jedoch kaum Untersuchungen zur Nahrungszusammensetzung der jungen Gadiden, wenn man von den Arbeiten Kühls aus dem Gebiet der Elbmündung absieht (1961, 1964 und 1973; zusammengefaßt in Tiews, 1978). Letztere führen jedoch leider nicht den Gewichtsanteil der Garnelen an der Nahrung auf. Im Vergleich der in diesen Arbeiten angegebenen Prozentsätze des Auftretens von Sandgarnelen in den Mägen und vor allem in der mittleren Anzahl der Garnelen pro Magen geben Kühl und Tiews (in Tiews, 1978) allerdings sogar noch höhere Werte an als die vorliegende Untersuchung (Tabelle 5.03). Es ist also anzunehmen, daß entweder der Gewichtsanteil ähnlich hoch bzw. höher gelegen hat oder daß die von Kühl untersuchten Mägen kleinere Sandgarnelen enthielten, als dies in der Sylt-Rømø-Bucht der Fall war.

Zusammenfassend läßt sich erkennen, daß Sandgarnelen dort einen bedeutenden Anteil der Nahrung ausmachen, wo sie in großer Menge vorkommen. Im Hinblick auf die Sandgarnele als Nahrung verhalten sich also sowohl der Wittling als auch der Kabeljau opportunistisch.

Der Anteil von Sandgrundeln in den Mägen der Gadiden der Sylt-Rømø-Bucht war ebenfalls deutlich höher als in vergleichbaren Untersuchungen aus anderen Gebieten (Tabelle 5.03). So fanden Hislop *et al.* (1991) in den Mägen von Wittlingen der gleichen Größengruppe aus der gesamten Nordsee nur einen halb so hohen Anteil von Grundeln an der Nahrung. Für gleichgroße Kabeljau aus der südlichen Nordsee wird bei Daan (1973) zwar der selbe Prozentsatz wie in der vorliegenden Untersuchung angegeben, er bezieht sich dort jedoch auf den gesamten Fischanteil an der Nahrung und nicht nur den Anteil der Grundeln. Auch an der Westküste Schottlands (Hawkins *et al.*, 1985) und in der Kieler Bucht (Arntz, 1973 & 1974) lagen die Grundelanteile an der Kabeljaunahrung deutlich unter den in der Sylt-Rømø-Bucht vorgefundenen. Zwar liegen für diese Gebiete keine Angaben zur Sandgrundeldichte vor, aber allgemein war die Sylt-Rømø-Bucht ein Gebiet geringer Grundelabundanzen, so daß hier Grundeln unter Umständen mehr als proportional zu ihrem Vorkommen, also nicht opportunistisch, gefressen werden.

Tabelle 5.03: Anteile von Garnelen und Grundeln in den Mägen aus verschiedenen Untersuchungen im Vergleich

Räuberart	Größe/Alter	% leer	Crangon			Grundel			Ort	Quelle
			%-Gew.	% der Mägen	mittl.Anz.	%-Gew.	% der Mägen	mittl.Anz.		
Wittling	AK0/1 (5-20cm)	13	40	50	1,2	14	12	0,14	Sylt-Rømø	diese Untersuchung
	AK0/1		--	65	2,4	---	--		dt. Watt	Tiews, '78
	~ 9-36 cm		27	44	1,2	---	--		Belgien	Redant, '82
	5-19 cm		30			35			Außenscheide	Hamerlynck&Hostens, '93
	10-15cm		10			56 <sup>(1)</sup>			östl. Nordsee	Dahl&Kirkegaard, '86
	10-15cm		22			6,1			ges. Nordsee	Hislop et al., '91
	15-20cm		15			7,5			ges. Nordsee	Hislop et al., '91
Kabeljau	AK0/1 (5-20cm)	6	51	60	1,4	18	14	0,16	Sylt-Rømø	diese Untersuchung
	AK0/1		--	76	4,6	---	--		dt. Watt	Tiews, '78
	AK0-2 (11-35cm)		2,6	3,4	---	10,5	--		Kieler Bucht	Arntz, '73 & '74
	~ 12-30cm		41	75	3,3	---	--		Belgien	Redant, '82
	?		2,6			15 <sup>(1)</sup>			schott. Westk.	Hawkins et al., '85
	10-15cm	12	18						ges. Nordsee	Daan, '83 <sup>(4)</sup>
	15-20cm	18	31						ges. Nordsee	Daan, '83 <sup>(4)</sup>
	10-20cm		35 <sup>(2)</sup>			18 <sup>(1)</sup>			südl. Nordsee	Daan, '73
Seescorpion	7-21cm	9	27	50	0,73	45	33	0,36	Sylt-Rømø	diese Untersuchung
			--	100					Balgzand (NL)	Kühl&Kuipers, '78
		25	--	71			12		Elbmündung	Kühl, '64
			--	57	2,0	---	--		dt. Watt	Tiews, '78
Steinpicker	6-15cm	23	52	40	0,79	12	3,5	0,04	Sylt-Rømø	diese Untersuchung
			--	68			5		dt. Watt	Kühl, '64
			--	63	3,8	---	--		dt. Watt	Tiews, '78
	~ 5-13cm		16	10	0,4	---	--		Belgien	Redant, '80(b)
	7-18cm		88			0,4			dt. Watt	Wiedemeyer, '93
Kliesche	5-21cm	25	8	14	0,13	1	0,8	0,01	Sylt-Rømø	diese Untersuchung
			--	15			7 <sup>(1)</sup>		dt. Watt	Kühl, '61
	~ 10-25cm		< 2,6	< 4,4	0,05	---	--		Belgien	Nierynck & Redant, '83
Sandgrundel	AK0/1	61	16	6,2	0,07	1	0,6	0,01	Sylt-Rømø	diese Untersuchung
	49-90mm	32	--	19	0,2	0	0		Elbmündung	Kühl, '64
	AK 0		12						Hollandse Kust	Boddeke et al., '85
	15-80mm	k/A	2-20 <sup>(3)</sup>						Eider etc.	delNorte-Campos, '95
	20-54mm	k/A	28						Sylt-Rømø	delNorte-Campos, '95
	>55mm	k/A	77						Sylt-Rømø	delNorte-Campos, '95

<sup>(1)</sup> =Fische gesamt

<sup>(2)</sup> = Crangon & Pandalus

<sup>(3)</sup> = vom AFDW

<sup>(4)</sup> = Mittel der Quartalswerte

Dafür spricht auch die Beobachtung innerhalb der Bucht selbst. Im Vergleich zu ihrem Anteil in den Fängen finden sich Grundeln in den Mägen beider juveniler Gadiden im Mittel deutlich überrepräsentiert, nämlich im Verhältnis 7-fach (Wittling) bzw. 13-fach (Kabeljau) häufiger in den Mägen, als bei einer opportunistischen, also an der Häufigkeit des Antreffens der Beute ausgerichteten, Nahrungswahl zu erwarten gewesen wäre. Dies läßt auf eine große Eignung der Beute Sandgrundel für die Gadiden schließen. Die Vorteile für die Räuber dürften dabei im höheren Energiegehalt der Grundeln im Vergleich zu den Sandgarnelen liegen (Evans, 1984), der auch zu einer höheren Magenleerrate und damit zu erhöhter möglicher Konsumtion führt (Andersen, 1999). Diese Beute ist für den Räuber also energetisch günstiger. Zum zweiten dürfte aufgrund der engeren Verwandtschaft zwischen Räuber und Beute die relative Zusammensetzung der Aminosäuren in den Eiweißen der Grundeln eher denen der Räuber entsprechen als dies bei den Sandgarnelen der Fall wäre. Dies würde zu einer zusätzlichen Energie-Einsparung beim Stoffwechsel und damit zu besserem Wachstum der Räuber führen.

Wenn auch einen Index der relativen Bedeutung nach George & Hadley (1979) aufgrund der offenen Nahrungskategorie „Rest“ hier nicht berechnet werden kann, so besteht bei den gefundenen Anteilen von Sandgarnelen und Sandgrundeln in den Mägen der Gadiden und der deutlichen positiven Selektion für Grundeln an der besonders großen Bedeutung dieser Nahrungskategorien für Wittling und Kabeljau in der Sylt-Rømø-Bucht kein Zweifel.

Ähnlich große Bedeutung wie für die 0-Gruppen Gadiden der Küstengewässer dürften die beiden Beutegruppen Sandgarnele und Sandgrundel für die Steinpicker und Seescorpione der Sylt-Rømø-Bucht haben. In der 24-Stunden-Fischerei vom April 1992, in der auch diese Arten in ausreichender Menge auftraten, waren für sie vergleichbar hohe Gewichtsanteile von Sandgarnelen und Sandgrundeln in den Mägen festgestellt worden (Tab. 5.03). Bei den Steinpickern überwog dabei der Garnelenanteil und bei den Seescorpionen der Grundelanteil in den Mägen. Für beide Arten waren auch in anderen Untersuchungen im Wattenmeerbereich hohe Häufigkeiten und Frequenzen von Garnelen in den Mägen gezeigt worden. Besonders Kühl (1961 und 1964) und Tiews (1978) geben für den Seescorpion und Wiedemeyer (1993) für den Steinpicker deutlich höhere Werte an, als die in dieser Untersuchung gefundenen.

Eine geringe Bedeutung haben die beiden hier betrachteten Nahrungsfractionen dagegen für die Klieschen der Sylt-Rømø-Bucht, in deren Mägen sie zusammen weniger als ein Zehntel des Beutegewichts ausmachten. Dies steht im Gegensatz zu den Untersuchungen von Boddeke (1967) aus dem westlichen Wattenmeer, der damals „vorwiegend Garnelen“ in den Mägen fand, paßt aber zu den Befunden von Kühl (1961), der im Elbe-Mündungsgebiet ungefähr die gleichen Häufigkeiten von Sandgarnelen in den Mägen fand wie in dieser Untersuchung. Noch geringer scheint die Bedeutung der Sandgarnele als Nahrung der Kliesche nur noch an der Belgischen Küste zu sein (Nierynck & Redant, 1983).

Überraschend gering scheint die Bedeutung der Garnelen für die Ernährung der Sandgrundeln in der Sylt-Rømø-Bucht zu sein (Tab. 5.03 unten). Nur in etwas über 6% der Mägen waren sie angetroffen worden und lediglich aufgrund des hohen Anteils leerer Mägen bei dieser Art war ein Gewichtsanteil von 16% erreicht worden. D.h. wenige Mägen waren recht stark mit Garnelen gefüllt. Ein völlig anderes Bild hatte sich bei den von delNorte-Campos (1995) ausgewerteten Magenproben der im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführten 24-Stunden-Fischerei vom Juli 1992 im Nordsylter Wattenmeer ergeben. Bei dieser Beprobung hatte der Füllungsindex zwischen 3 und 6 gelegen (im Vergleich zu deutlich unter 1 bei allen späteren Beprobungen) und der Anteil Garnelen am Mageninhalt lag zwischen 28% bei den kleinen (20-55mm) und 77% bei den größeren (>55mm) Grundeln.

Für das in diesem für diese Untersuchung sehr wichtigen Punkt so stark abweichende Bild aus dem Juli 1992 sind 2 Erklärungen denkbar: einerseits mag das Angebot an kleinen, für die Konsumtion durch Sandgrundeln geeigneten Garnelen im Juli besser gewesen sein als in den durch diese Untersuchung für Sandgrundeln beprobten Monaten August bis Oktober und Mai, da im Juli noch mehr von den kleinen im Mai/Juni rekrutierten Garnelen zur Verfügung stehen (s. Abb. 4.42). Zum anderen ist gut vorstellbar, daß die im Jahr 1993 durchgeführten eigenen Magenuntersuchungen an Sandgrundeln eine Situation zeigten in der die Sandgrundeln mit den in diesem Jahr stark vertretenen Wittlingen um die Sandgarnelen konkurrierten. Das Größenspektrum der von den Grundeln gefressenen Garnelen (10-30mm) deckt sich jedenfalls gut mit dem der durch die Gadiden konsumierten (Abb. 4.63 und 4.66). Dies würde zudem die große Anzahl leerer Grundelmägen erklären, die sich in den Proben des Jahres 1993 fand.

Die Vermutung, daß die Proben dieser Untersuchung einen unterdurchschnittlichen Garnelenanteil in der Nahrung der Sandgrundel fanden, wird auch gestützt durch die deutlich höheren Häufigkeiten, mit denen Kühl (1964) Garnelen in Grundelmägen antraf (50% statt 6%) und die von van Beek (1976) gefundenen hohen Gewichtsanteile (ca. 60%) von *Crangon crangon* in der Nahrung von Sandgrundeln des westlichen Wattenmeeres.

## 5.5 Die Bedeutung der Räuber für die Beute

Wenn im vorangehenden Kapitel die Frage gestellt wurde, wie bedeutend die Sandgrundeln und vor allem die Sandgarnelen als Beute für die Räuber sind, so soll im Folgenden diskutiert werden, welche Bedeutung die einzelnen Räuber für die Gesamtkonsumtion an diesen Beuteorganismen in der Sylt-Rømø-Bucht haben.

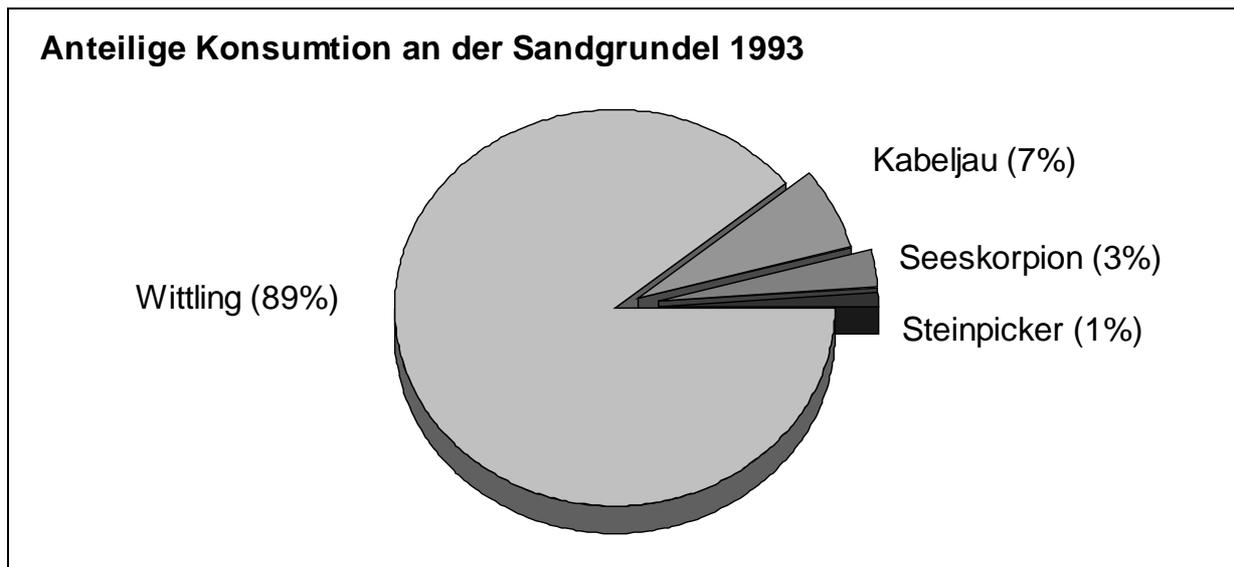
## Konsumtion an Sandgrundeln

Die Jahreskonsumtion der Wittlinge der Sylt-Rømø-Bucht lag in 1993 bei 2200 kg Sandgrundeln, die der Kabeljau bei 168 kg. Die beiden Räuber zehrten also ungefähr im Verhältnis 13:1 an der Beute, obwohl der einzelne Kabeljau im Verlaufe seines kürzeren Aufenthalts in der Sylt-Rømø-Bucht im Vergleich zum Wittling rund doppelt so viel Grundelbiomasse konsumierte (Tab. 4.15 und 4.16). Mit anderen Worten: der Anteil, der Grundelkonsumtion durch Wittlinge hätte bei gleicher Abundanz der beiden Gadidenarten bei rund der Hälfte der Grundelkonsumtion durch den Kabeljau gelegen.

Um einen Eindruck davon zu bekommen, in welchen Größenordnungen sich in den anderen Jahren die Konsumtion an Sandgrundeln auf die beiden Arten aufteilt, wurden die langjährigen Befischungen des DYFS (Demersal Young Fish and Brown Shrimp Survey) benutzt, um für aus die Jahre 1974-1997 das mittlere Häufigkeitsverhältnis der beiden Arten zu ermitteln. Für den Herbst ergibt sich im langjährigen Mittel ein Abundanz-Verhältnis Wittling:Kabeljau von 5,2:1. Folglich dürften wir in einem durchschnittlichen Jahr ein Artenverhältnis von 2,4:1 (Wittling:Kabeljau) an der Grundelkonsumtion erwarten, der Wittling wäre demnach also auch unter „normalen“ Bedingungen der bedeutendere Grundelkonsument.

Weitere aus dieser Untersuchung bekannte Prädatoren der Sandgrundel waren der Seeskorpion und der Steinpicker. Wenn wir zugrundelegen, daß diese beiden Arten pro Gewichtseinheit Räuberbiomasse annäherungsweise die selbe Konsumtionsrate aufwiesen wie die Wittlinge, so errechnen sich unter Berücksichtigung der relativen Anteile der jeweiligen Beute in der Summe der Mägen, wie aus den Mittelwerten der 24-Stunden Fischereien ermittelt, für die Sylt-Rømø-Bucht Jahreskonsumtionswerte von 73 kg Sandgrundeln durch den Seeskorpion und 27 kg durch den Steinpicker, also deutlich geringere Mengen als für die Gadiden (Abb. 5.01). Es ist allerdings anzunehmen, daß diese beide Arten tatsächlich deutlich weniger konsumieren als die Wittlinge, da sie eine andere, mit geringeren Aktivitätskosten verbundene, Strategie des Beuteerwerbs verfolgen: beide Arten scheinen als Lauerräuber oder durch langsames Absuchen des Substrats Beute zu machen (Kühl, 1961; Zimmermann, 1997).

Andere Fischarten, die als Prädatoren der Sandgrundeln in Frage kämen, wie Aalmutter (*Zoarces viviparus*), Butterfisch (*Pholis gunnellus*), Fünfbärtelige Seequappe (*Ciliata mustela*) und die Scheibenbäuche (*Liparis* sp.) wurden in der Summe in deutlich geringeren Abundanzen angetroffen, als allein der Steinpicker. Es ist also nicht anzunehmen, daß diese Arten noch einen wesentlichen Einfluß auf die Gesamtkonsumtion an Sandgrundeln genommen haben.



**Abbildung 5.01:** Anteilige Jahreskonsumtion durch Fische an der Sandgrundel in der Sylt-Rømø-Bucht 1993.

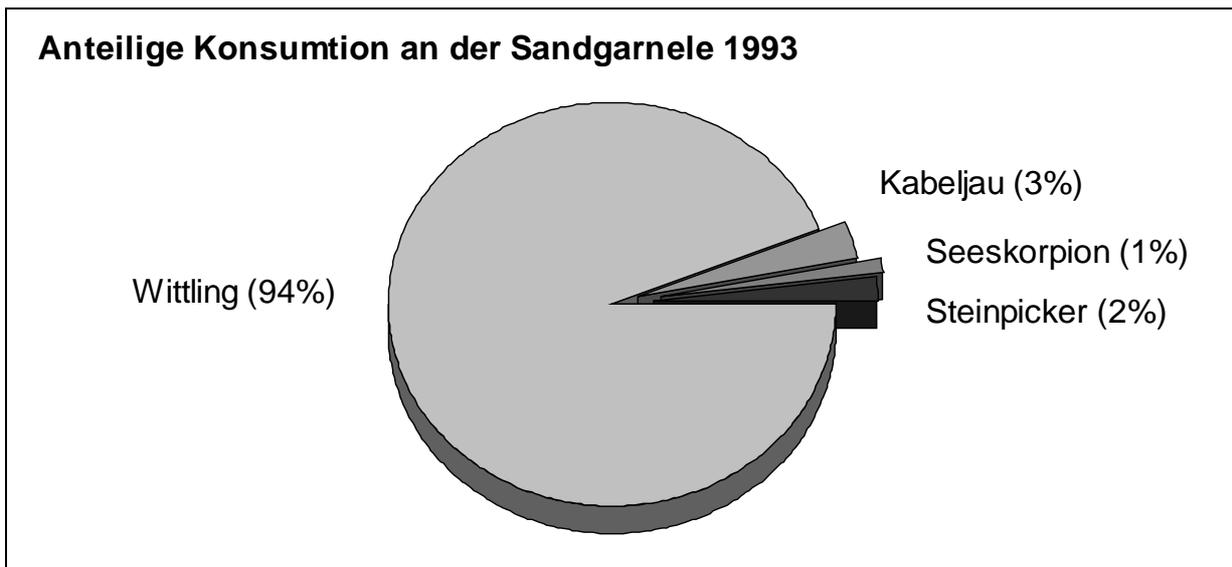
Seehunde nehmen offensichtlich nicht unerhebliche Mengen Sandgrundeln und auch Sandgarnelen auf (Sievers, 1989; Abt, 1995). Sie scheinen ihre Nahrung aber im Wesentlichen weit außerhalb der Wattengewässer in größeren Tiefen zu suchen (Orthmann, 2000), so daß sie hier nicht in die Berechnung für die Sylt-Rømø-Bucht einbezogen werden.

Für die Sandgrundeln der Sylt-Rømø-Bucht war der Wittling 1993 also mit weitem Abstand der wichtigste Räuber. Aber auch in Jahren, die nicht durch eine starke Anwesenheit der 0-Gruppen Wittlinge im Küstenbereich geprägt sind, wie 1993, errechnen sich für diesen Räuber im Vergleich die höchsten Konsumtionswerte.

#### K o n s u m t i o n a n S a n d g a r n e l e n

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Betrachtung der Konsumtion an der Sandgarnele. Die Jahreskonsumtion der Wittlinge der Sylt-Rømø-Bucht lag in 1993 bei rund 19.100kg, die der Kabeljau bei 670kg. An dieser Beuteart zehrten diese beiden Räuber also im Verhältnis 15:1. Dieses Verhältnis würde sich in einem Jahr durchschnittlicher Gadidenabundanzen auf 3,8:1 reduzieren. Für die Konsumtion an der Sandgarnele ist der Wittling relativ zu seiner Abundanz also wichtiger als für die Konsumtion an der Grundel.

Aber auch für die Sandgarnele sind die beiden Gadiden nicht die einzigen Prädatoren. Analog dem bei der Sandgrundel angewandten Verfahren errechnete sich für 1993 eine Konsumtion durch den Seeskorpion von 180kg und die Steinpicker nahmen 420kg Sandgarnelen auf, was für dieses Jahr aber nur einen Beitrag von 1% bzw. 2% der Gesamtkonsumtion an Sandgarnelen durch diese 4 Arten darstellt (s. Abb. 5.02).



**Abbildung 5.02:** Anteilige Jahreskonsumtion durch Fische an der Sandgarnele in der Sylt-Rømø-Bucht 1993.

Nicht in der selben Vollständigkeit wie bei den Gadiden konnte die Rolle der Sandgrundel als Räuber für die Sandgarnele geklärt werden. Die vorliegende Untersuchung liefert Daten zur Biomasse der Sandgrundel, zum Anteil der Sandgarnele an der Grundelnahrung und zum mittleren Mageninhaltsgewicht der Sandgrundel. Da mit dieser Spezies als Prädator aber keine Experimente zur Ermittlung der Verdauungsrate durchgeführt wurden, mußte zur Abschätzung der Konsumtionsrate auf andere Verfahren als bei den Gadiden bzw. auf ergänzende Literaturwerte zurückgegriffen werden. Auch kann davon ausgegangen werden, daß die Grundel als Räuber schon aufgrund ihrer geringeren Körpergröße und des damit zu erwartenden höheren Umsatzes pro Gewichtseinheit den Gadiden in diesem Punkt nicht direkt vergleichbar sein wird, so daß eine direkte Übertragung der gewichtsspezifischen Konsumtionsrate des Wittlings - wie sie für Seeskorpion und Steinpicker noch vertretbar scheint - bei dieser Art für die Berechnung der Konsumtionsrate im Feld ausscheidet.

Verschiedene Wege der Berechnung sollen hier verglichen werden: Ausschließlich aus den in der Sylt-Rømø-Bucht selbst gewonnenen Daten kann die Berechnung nach Bajkov (1935) geschehen. In diesem Fall ermittelt sich die durchschnittliche Konsumtion pro Einzelfisch unter der Annahme, daß die über Nacht auftretende Abnahme des Mageninhalts der Sandgrundel, wie sie in den 24-Stunden-Fischereien gefunden wurde (Abb. 4.61 b-d), ihre Ursache im Fehlen einer nächtlichen Nahrungsaufnahme hat, also die Nahrungseliminationsrate [ $gh^{-1}$ ] im Fisch widerspiegelt. Die selbe Rate wird auch für den Tag angenommen und muß daher nur mit 24h multipliziert werden, um die Tagesration zu ermitteln. Hierbei wird von einer linearen Abnahme des Mageninhalts über die Zeit ausgegangen, da dieses Modell der Magenleerung bei der Sandgrundel die in den 24-Stunden-

Fischereien gewonnenen Daten des Verlaufs des Füllungsindex über die Zeit besser beschreibt. Berechnet man auf diese Weise die mittlere Tagesration pro Fisch für die drei Monate August bis Oktober, benutzt dann den Mittelwert dieser 3 Monate für die anderen nicht mit 24-Stunden-Fischereien beprobten Monate, was aufgrund der in diesen 3 Monaten repräsentierten Temperaturspanne nicht abwegig erscheint, so errechnete sich eine Tagesration von rund 4% des Körpergewichts pro Tag. Multipliziert man schließlich den Sandgarnelen-Gewichtsanteil der Tagesration mit der jeweiligen monatlichen Anzahl von Sandgrundeln länger als 25mm (der kleinsten Sandgrundellänge, bei der Sandgarnelen in den Mägen gefunden wurden), so errechnete sich eine Jahreskonsumtion von 2,6t Sandgarnelen durch die Sandgrundeln der Sylt-Rømø-Bucht.

Einen ähnlichen Ansatz mit konstanter Eliminationsrate wählten Tiews (1965, 1978) und in der Folge Redant (1980b) bei ihren Berechnungen zur Quantifizierung des Grundelanteils an der Garnelenkonsumtion an der deutschen bzw. belgischen Küste. Beide gingen allerdings von einer Magenleerung (bzw. von einer Magenfüllung) der Räuber alle 3 Tage aus, ohne dies im Detail weiter zu begründen. Umgesetzt auf die Grundelabundanzen in der Sylt-Rømø-Bucht und den Garnelenanteil in deren Mägen würde sich daraus eine Konsumtion von 528kg Garnelen pro Jahr durch die Sandgrundeln errechnen, also nur rund ein Fünftel des oben errechneten Wertes. Dies ist mit Sicherheit eine starke Unterschätzung der tatsächlichen Konsumtion, wie sich in den oben erwähnten Abnahmen des Mageninhalts in den 24-Stunden-Fischereien zeigt. Spiegeln diese Abnahmeraten doch eine *Minimal*abschätzung der Magenleerungsrate wieder, die nur erreicht wird, wenn während der beobachteten nächtlichen Abnahme des Mageninhalts keine weitere Nahrung mehr aufgenommen wird. Selbst bei dieser minimalen Magenleerungsrate wäre aber der mittlere Mageninhalt je nach Monat innerhalb von 10 bis 22 Stunden entleert. Eine Magenfüllung fände also im Mittel 1-2 mal pro Tag anstatt alle 3 Tage statt. Folglich müßte die Garnelenkonsumtion durch Sandgrundeln also mindestens 3 bis 6 mal höher geschätzt werden als Tiews dies tat.

Aus Experimenten mit Serienschlachtungen im Feld gefangener und danach futterfrei gehälterter Fische und leitet Healy (1971) ab, daß die Grundeln an der Ostküste Schottlands im Jahresmittel und als Durchschnitt über alle Längen täglich rund 3% ihres Körpergewichts an Nahrung zu sich nehmen. Hingegen errechnen delNorte-Campos & Temming (1994) aus den Daten der 24-Stunden-Fischerei vom Juli 1992 im Nordsylter Wattenmeer nach dem oben geschilderten Ansatz von Bajkov (1935) eine Tageskonsumtion von 13% des Körpergewichts. Übertragen auf die in dieser Arbeit vorgefundenen Biomassen und Garnelenanteile an der Nahrung würden sich damit in der Sylt-Rømø-Bucht Jahreskonsumtionen von 2,5t bzw. 10,2t errechnen, wobei letzteres eine Überschätzung sein dürfte, da sich die Konsumtion nicht das ganze Jahr über bei für den Juli typischen Temperaturen abspielt.

Herrmann *et al.* (1998) nutzten einen bioenergetischen Ansatz zur Ermittlung der Konsumtion aus Wachstums- und Respirationskosten. Dabei wird mit Windell's (1978) Formulierung der Idee von Winberg (1960) davon ausgegangen, daß 80% der konsumierten Energie in Wachstum und Respiration umgesetzt werden. Wachstumswerte wurden hierfür der Arbeit von delNorte-Campos (1995) und die Respirationswerte der Arbeit von Fonds & Veldhuis (1973) entnommen. Sie wurden nach Längen- bzw. Gewichtsklassen aufgeteilt für den Bestand der Sandgrundeln länger als 25mm hochgerechnet, die sich zum jeweiligen Monat in der Sylt-Rømø-Bucht befanden. Hierbei errechnet sich unter Berücksichtigung des Garnelenanteils der Grundelnahrung für das Jahr 1993 eine Sandgarnelenkonsumtion von 12,3t durch die Sandgrundeln.

**Tabelle 5.04:** Vergleich der mit verschiedenen Methoden für die Sylt-Rømø-Bucht berechneten Jahreskonsumtionen an Sandgarnelen durch die Sandgrundeln.

Methoden	nach Autor(en)	Jahreskonsumtion
lineare Magenleerrate aus nächtlicher Abnahme berechnet	Bajkov (1935)	2.580 kg
Tagesration = 1/3 mittl. Mageninhalt	Tiews (1978), Redant (1980b)	528 kg
Tagesration = 3% Körpergewicht	Healy (1971)	2.454 kg
Tagesration = 13% Körpergewicht	delNorte-Campos & Temming (1994)	10.193 kg
Bioenergetischer Ansatz	Winberg (1960), Herrmann <i>et al.</i> (1999)	12.326 kg

Wenn der geschätzte Ansatz von Tiews (1965, 1978) einmal außer Betracht gelassen wird, kann also von einer Garnelenkonsumtion durch Sandgrundeln in der Größenordnung von circa 2,5t bis 12,3t in der Sylt-Rømø-Bucht ausgegangen werden. Die Garnelenkonsumtion durch Sandgrundeln entsprach für 1993 dann einem Anteil von 11% bis 38% der Konsumtion durch die Fische zusammengenommen. In einem Jahr mit durchschnittlicher Gadidenabundanz könnte demnach die Sandgrundel der bedeutendste Räuber der Sandgarnele werden: je nach Berechnungsverfahren würde sie zwischen 34% und 72% zur Gesamtkonsumtion der Fische an der Sandgarnele beitragen.

Für die verbleibenden potentiellen Prädatoren an der Sandgarnele gilt die selbe Einschränkung, wie für die Sandgrundeln als Beute: aufgrund ihrer geringen Abundanz wird nicht mit einem wesentlichen Einfluß auf die Beutebestände gerechnet. Eine Ausnahme hierzu bildet unter Umständen das obere Eulitoral, wo in den Sommermonaten nach delNorte-Campos (1995) eine wahrnehmbare Konsumtion von Sandgarnelen durch Strandgrundeln (*P. microps*) stattfinden kann. Hiernach enthielten die Mägen von Strandgrundeln auf den Platen der Eider einen mittleren Sandgarnelenanteil von rund 8%. Allerdings wird in der selben Untersuchung festgestellt, daß die Konsumtion von Garnelen durch Strandgrundeln auf den Platen nur ein C/P-Verhältnis von 0,016 hat, also nur 1,6% der Garnelenproduktion auf den Platen durch Strandgrundeln auf den Platen konsumiert wurden. Legt man die 1993 im oberen

Eulitoral der Sylt-Rømø-Bucht gefundene Garnelenbiomasse und die sich nach delNorte-Campos (1995) berechnenden monatlichen P/B-Verhältnisse für die Platen zugrunde, dann ergäbe sich eine sommerliche (Juni-August) Konsumtion von 1996kg kleiner Garnelen durch Strandgrundeln auf den Platen. Folglich wäre rund ein Zehntel der Biomasse, die durch Wittlinge im Sublitoral konsumiert wurde, zusätzlich im Eulitoral durch Strandgrundeln aufgenommen worden.

Die von Kuipers & Dapper (1984) vorgebrachte Hypothese, daß es die Grundeln wären, die eine aus den Sommereiern der Garnelen entstehende Rekrutierung durch ihre hohe Konsumtion völlig unterdrückten, daß somit der im Herbst zu beobachtende Gipfel der Rekrutierung der Sandgarnele in die Fischerei auf die aus den Wintereiern geschlüpften Tiere zurückgehen müsse, kann nach den hier vorliegenden Ergebnissen aus der Sylt-Rømø-Bucht abgelehnt werden. Die Konsumtion der beiden Grundelarten zusammengenommen wäre bei weitem nicht ausreichend, um die Produktion aus den Sommereiern vollständig aufzuzehren. Für die Erweiterung der Kenntnis des Lebenszyklus der Sandgarnele bedeutet dies, daß das von Temming & Damm (2002) vorgelegte Konzept, nach dem das temperaturbedingt unterschiedliche Wachstum die beiden erwarteten Kohorten zu einem einzigen im Herbst beobachtbaren Rekrutierungsgipfel zusammenschiebt, an Wahrscheinlichkeit gewinnt. In diesem Fall würde die Konsumtion der Gadiden, die sich auf die im Sommer schon etwas größeren Garnelen konzentriert, vorwiegend die zukünftigen Rekruten aus den Wintereiern betreffen während die Konsumtion durch die Grundelarten die im Spätsommer noch etwas kleineren Tiere und damit die zukünftigen Rekruten aus Sommereiern treffen aber eben nicht vernichten würde. So betrachtet wäre die Produktion von Sommer- und Wintereiern eine Strategie dem völligen Verlust der Rekrutierung durch sporadisch auftretenden extremen Räuberüberschuß einer Räubergruppe zu entgehen. Eine Klärung der auch für die fischereiliche Bewirtschaftung der Sandgarnele wichtigen Frage der relativen Bedeutung von Sommer- und Wintereiern kann letztlich nur die Bestimmung der tatsächlichen Wachstumsrate der Sandgarnele im Feld bringen, die - wie sich auch in dieser Untersuchung wieder zeigte - durchaus keine einfache Aufgabe darstellt.

## 5.6 Die Kontrolle im System

Aus dem zuvor beschriebenen kann das in Abbildung 5.03 wiedergegebene Bild der Nahrungsbeziehungen zwischen Gadiden, Sandgrundeln und Sandgarnelen zusammengesetzt werden. Das "Dreieck" der Konsumtion ist einmal für die Situation im Jahr 1993 wiedergegeben und einmal für den Fall dargestellt, daß bei sonst gleichen Abundanzen der anderen Arten, der Wittling in dem Abundanzverhältnis zum Kabeljau aufgetreten wäre, wie

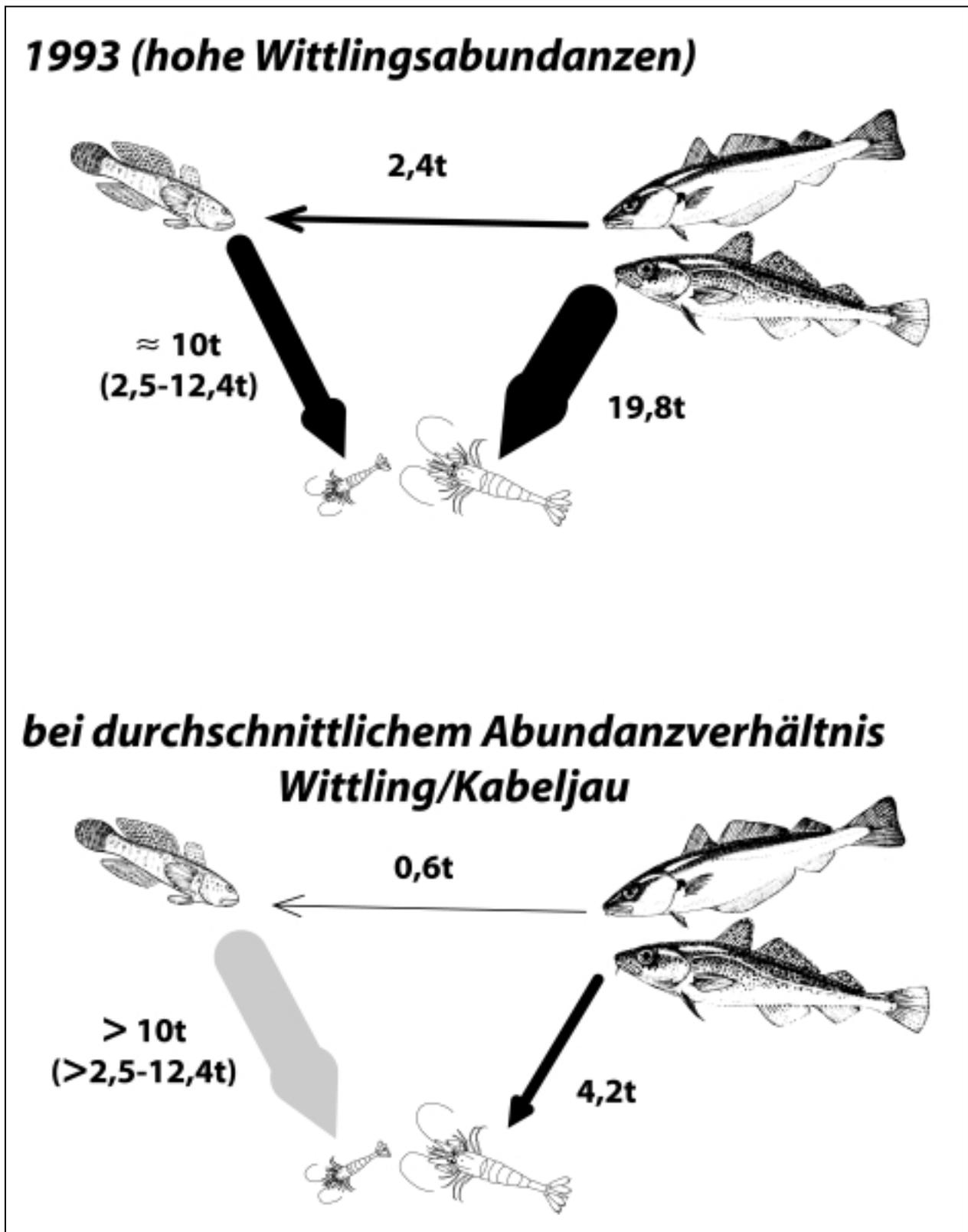
dies im langjährigen Mittel der herbstlichen Befischungen im Rahmen des "Demersal Young Fish and Brown Shrimp Survey" (DYFS) auftritt (s. Kapitel 4.5.7 u. Abb. 4.76).

Es wird deutlich, daß es im Jahr 1993 die Gadiden waren, die den größten Beitrag zur Konsumtion der Sandgarnelen in der Sylt-Rømø-Bucht lieferten und daß in Jahren geringerer Wittlingsabundanzen der Fraßdruck auf die Sandgrundel deutlich abnimmt. Daher kann vermutet werden, daß in solchen Jahren eine höhere Sandgrundelabundanz zu einer erhöhten Konsumtion von Sandgarnelen durch diese Art führt. Allerdings ist mit großer Sicherheit anzunehmen, daß dieser zusätzliche Konsum unterhalb der Menge liegen dürfte, die sonst durch die Gadiden konsumiert worden wäre. Die Begründung für diese Vermutung liegt in der Tatsache, daß Sandgrundeln pro Gramm Körpergewicht deutlich weniger Sandgarnelenbiomasse konsumierten als die Gadiden und in diesem Szenario den 1,8t nicht durch Gadiden konsumierten Sandgrundeln 8,1t nicht vorhandener Gadidenbiomasse (im Mittel der Monate Juli-November) mit ihrer hohen Konsumtion an Sandgarnelen gegenzurechnen wären.

Es sind also die Jahre hoher Gadidenabundanzen, die die höchste Konsumtion an Sandgarnelen mit sich bringen.

Damit ist - andersherum betrachtet - auch die Frage nach der möglichen "Pufferwirkung" der Sandgrundeln für die Sandgarnelenpopulation im Falle hoher Gadidenabundanzen beantwortet: zwar unterliegen die Sandgrundeln aufgrund der positiven Nahrungsselektion der Gadiden ihnen gegenüber einem relativ höheren Raubdruck als die Sandgarnelen, jedoch führt der Wegfraß von Sandgrundeln nicht in dem Maße zu einer Verringerung des Raubdrucks auf die Sandgarnelen, daß der durch die Gadiden selbst erhöhte Druck ausgeglichen würde. Sandgrundeln stellen also einen nur sehr geringen Puffer für die Gadidenkonsumtion an den Sandgarnelen dar.

Die Frage nach der "Kontrolle" in diesem Nahrungsnetz läßt sich am besten anhand des konsumierten Anteils der Biomasse und Produktion klären. Im Monat der größten Konsumtion (August) fraßen die Gadiden fast 20% der Sandgarnelenproduktion. Sie konnten also die Bestandsentwicklung dieser Art auch bei den gegebenen hohen Räuberabundanzen nicht kontrollieren, was seinen Grund in der hohen Produktion der Garnelen hat (das P/B-Verhältnis für August war von delNorte-Campos (1995) mit 2,4 bestimmt worden. Folglich verwundert auch der in den Befischungen der Standardserie von August auf September beobachtete Anstieg der Sandgarnelenbiomasse (Kap. 4.4.3 u. Abb. 4.46) trotz der großen Konsumtion nicht.



**Abbildung 5.03:** Das "Nahrungsdreieck" Gadiden, Sandgründeln und Sandgarnelen in der Sylt-Rømø-Bucht 1993 (oben) und bei mittlerem Verhältnis der Abundanzen zwischen Wittling und Kabeljau (unten).

Anders bei der Sandgrundel: hier waren im August und September ein Mehrfaches der Produktion durch die Gadiden konsumiert worden, so daß in einem geschlossenen System eine Zehrung am Bestand die Folge sein müßte. Tatsächlich stieg die Grundelbiomasse von August auf September aber an und fiel nur leicht von September auf Oktober (Abb. 4.48). Die Erklärung für diesen Widerspruch liegt in Abb. 4.50, die deutlich zeigt, daß es die Biomasse der älteren Sandgrundeln ist, die von August bis Oktober stark ansteigt. Dieser für diese Art typische Abundanzverlauf wurde auch schon von Fonds (1973) beobachtet und mit der Rückkunft der adulten Tiere vom Laichgeschäft assoziiert, das in etwas größeren Tiefen vor den Inseln stattfindet. Der Biomasseanstieg ist also Folge der Re-immigration adulter Tiere.

Währenddessen nimmt die Biomasse der Grundeln der 0-Gruppe im gleichen Zeitraum deutlich ab, was aber in der Biomassenbilanz durch die Einwanderung der älteren, schwereren Tiere in die Sylt-Rømø-Bucht überkompensiert wird. Diese größeren Tiere gehören aber nicht mehr zum Beutespektrum der Gadiden (Abb.4.64 u. 4.65), so daß nur das Aufkommen an Grundeln der Altersklasse 0 tatsächlich von den Gadiden kontrolliert wird. Ein starkes Gadidenjahr sollte in der Konsequenz eine deutlich geringere Abundanz von Sandgrundeln der Altersklasse 1 im Folgejahr bewirken.

Einen Hinweis auf diesen funktionalen Zusammenhang finden wir bei Betrachtung der mehrjährigen Abundanzverläufe der Grundeln in der Sylt-Rømø-Bucht (Abb. 4.13): in 1991 ist die Abundanz der Sandgrundeln sehr gering und steigt erst in den Folgejahren wieder an. Dies wäre demnach erklärlich als Folge der extrem hohen Abundanzen des Wittlings in Sommer und Herbst 1990.

Auch in den Daten des DYFS selbst gibt es Hinweise für eine "top-down"-Kontrolle der Sandgarnelen durch die Gadiden: wenn die mittlere Abundanz von Wittling und Kabeljau auf den Stationen der Herbstbefischung gegen die mittlere Abundanz der Sandgrundel der Befischung des folgenden Frühjahrs aufgetragen wird, zeigt sich, daß den Jahren sehr hoher Gadidenabundanzen Jahre mit sehr geringen Abundanzen der Sandgrundel folgen (Abb. 5.04). Insgesamt folgt das Verhältnis allerdings keiner linearen Beziehung, da für die Abundanz der Sandgrundel vermutlich noch andere Faktoren verantwortlich sind als nur die Abundanz einer einzelnen - wenngleich auch wichtigen - Prädatorengruppe.



tiefere Verteilung tagsüber und einem nächtlichen Aufstieg glichen sich die beiden Arten. Zudem legt die übereinstimmende diurnale Rhythmik der Fangmengen in den 24-Stunden-Fischereien (Abb. 4.06 u. 4.07, Tab.4.02) nahe, daß beide Arten dem selben diurnalen Aktivitätszyklus folgten, was weiter gestützt wird durch den parallelen diurnalen Verlauf des relativen Mageninhaltes beider Arten (Abb. 4.59 u. 4.60). Aber nicht nur der Verlauf der Quantität der Nahrung, sondern auch die Nahrungsselektion und deren saisonale Änderung ähnelten sich weitgehend (Abb. 4.52 u. 4.54).

Alles in allem macht diese Situation den Eindruck, als würden beide Arten die selbe ökologische Nische besetzen, was dem "competitive exclusion principle" (Begon *et al.*, 1990) widerspräche, welches postuliert, daß sich zwei konkurrierenden Arten in der selben ökologischen Nische ausschließen und daß eine der beiden Arten die andere verdrängen wird. Dies ist aber offensichtlich nicht der Fall. Daher bliebe zu untersuchen, ob die beiden Arten in der Sylt-Rømø-Bucht tatsächlich "konkurrierende Arten" sind oder ob die Ressourcen innerhalb der Bucht ausreichend waren, um beide Arten ohne Konkurrenz koexistieren zu lassen

Eine wirksame Konkurrenz wäre zum Beispiel dann gegeben, wenn die Räuber einer Nahrungslimitation unterlägen, wenn also die Nahrung nicht für das optimale Wachstum der Tiere beider Arten ausreichte. Hierfür gibt es Hinweise. So sank der mittlere Konditionsfaktor der Individuen beider Arten im Zeitraum August bis Oktober (Abb. 4.37). Unter Ausschluß anderer Faktoren, wie zum Beispiel Gonadenreifung und Laichvorgang, kann dies als ein Zeichen eines sich über die Monate verschlechternden Ernährungszustands gewertet werden (Weatherly & Gill, 1987).

Unter Umständen sind aber dabei beide Arten nicht im gleichen Maße von einer möglichen Nahrungslimitation betroffen: betrachten wir den Modus des Füllungsindex der Mägen in den 24-Stunden-Fischereien (Abb. 4.53), dann können wir erkennen, daß dieser beim Wittling sank, sich also über die Monate relativ zum Körpergewicht immer weniger Nahrung in den Mägen befand, während im selben Zeitraum für den Kabeljau ein steigender Füllungsindex zu beobachten war. Zudem war für den Wittling nach dem Winter ein weiterer Rückgang des Konditionsfaktors zu beobachten, während der Kabeljau sein Längen/Gewichts-Verhältnis halten konnte.

Eine mögliche Interpretation dieser Befunde würde eine vorhandene Nahrungskonkurrenz zwischen Kabeljau und Wittling annehmen, bei der der Kabeljau den Wittling langfristig verdrängen würde, was aber aufgrund des relativ kurzen Zeitraums des gemeinsamen Vorkommens in der Sylt-Rømø-Bucht nicht tatsächlich geschieht.

## 5.8 Stehen Gadiden und Krabbenfischerei in Konkurrenz?

Den traditionellen Grund für den Versuch einer Abschätzung der Konsumtion an Sandgarnelen durch verschiedene Räuber bildete die Sorge, daß der Fischerei durch die natürlichen Konsumenten der "Krabbe" ein größerer Teil der Fänge entgehen könnte. Eine Sorge, die sich exemplarisch im Titel einer Arbeit von Tiews (1963) spiegelt: "The role of whiting as an undesirable guest in German coastal waters". Diese Arbeiten kamen zu dem Ergebnis, daß die durch Prädatoren konsumierte Garnelenmenge die angelandete um ein mehrfaches übersteigt. Tiews (1978) berechnete für die Deutsche Bucht für den Zeitraum 1954-1973, daß die Prädatoren das 0,9- bis 4,5-fache der gefischten Anzahl an Sandgarnelen aufnahmen und zeigt eine negative Korrelation zwischen dem Einheitsfang der Fischerei in einem Jahr und der berechneten Prädation im selben Jahr. Redant (1980a, 1980b) kam zu dem Ergebnis, daß an der Belgischen Küste die auf die Anzahl der Sandgarnelen bezogene natürliche Mortalität im Mittel um das 12,4-fache höher war als die fischereiliche Mortalität bzw. daß auf das Gewicht bezogen 1,3- bis 7,9-fach so viel Garnelen gefressen wie angelandet wurden.

Die Diskrepanz zwischen den auf die Anzahl und den auf das Gewicht bezogenen Faktoren bei Redant (1980a) deutet schon einen Umstand an, der in der vorliegenden Arbeit deutlich gezeigt werden konnte und der die Fragestellung nach der potentiellen Konkurrenz zwischen Prädatoren und Fischerei wesentlich beeinflusst: die Größenzusammensetzung der durch die Prädatoren und der durch die Fischerei selektierten Sandgarnelen unterscheidet sich sehr erheblich.

Die Fischerei zielt auf Speisegarnelen, also Tiere mit einer Totallänge von 55mm oder mehr (Meyer-Waarden & Tiews, 1957). Im Verlauf der vergangenen Dekaden ist zwar die Länge der kommerziell angelandeten Tiere gesunken (Temming *et al.*, 1993) und zwischen 1975 und 1994 lag der Median der Längenverteilung in den Proben niederländischer Anlandungen bei 55mm (Jansen *et al.*, 2000), der Median der Länge in Proben deutscher Anlandungen im zweiten Halbjahr 1996 bei 57-58mm (van Marlen *et al.*, 1997). Im Vergleich dazu allerdings lag der Median der Länge der durch die Gadiden der Sylt-Rømø-Bucht aufgenommenen Sandgarnelen bei 30mm und es hatten nur 2,4% (Kabeljau) bzw. 1,8% (Wittling) die Größe von 55mm erreicht.

Folglich stehen die Gadiden und die Fischerei nur zu einem sehr geringen Teil in direkter Konkurrenz zueinander, und eine Beeinträchtigung der Fischereierträge wäre nur mit einer zeitlichen Verzögerung zu erwarten, die sich aus der Längendifferenz und der Wachstumsrate der Garnelen errechnen läßt. Um einen groben Überschlag dieser Verzögerung zu erhalten wurde - ausgehend von einer Länge von 30mm im August - einmal mit der täglichen Wachstumsrate nach Kuipers & Dapper (1984) ( $L_{d+1} = L_d + 0,1625 + 0,01025 * T$  -

$0,00403 * L_d$ ) und einmal mit einem erweiterten Modell der täglichen Wachstumsrate nach Jansen *et al.* (2000) ( $L_{d+1} = L_d + 0,0377 + 0,0237 * T - 0,0005685 * e^{(0,1 * T)} * L_d$ ) gerechnet. Hierbei wurde der gleitende Temperaturverlauf benutzt, der auch der Konsumtionsberechnung zugrunde liegt (Abb. 3.06). Demnach würden diese Tiere Anfang November eine Länge von 42mm bzw. 50,5mm erreicht haben, also sich auch dann noch unterhalb der Länge befinden, ab der die Fischerei ein erklärtes Interesse an diesen Sandgarnelen hat. Bei den nach November einsetzenden geringen Temperaturen sinkt die Wachstumsrate dramatisch ab und selbst bei der schnellsten angenommenen Wachstumsrate und einer konstanten Wassertemperatur von 4°C im Winter wäre die fischereiliche Ziellänge von 54mm erst im folgenden Jahr erreicht.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der bei der Beurteilung der Konkurrenzsituation zu berücksichtigen wäre, liegt in der Tatsache, daß diese Garnelen während der Zeit, die sie zum Wachstum auf kommerzielle Länge benötigten, weiterhin einer Mortalität durch andere Räuber als die Gadiden sowie durch Krankheiten, Parasiten, eventuellen Nahrungsmangel etc. unterlägen. Diese Zeit dauert bis weit in den folgenden Winter hinein bzw. bei Wachstum nach Kuipers & Dapper (1984) darüber hinaus. Es ist also durchaus nicht damit zu rechnen, daß alle Garnelen, die von den Gadiden nicht gefressen worden wären, der Fischerei als potentieller Fang zur Verfügung gestanden hätten.

Die Berechnung des Mengen- oder Gewichtsverhältnisses zwischen dem durch die Prädatoren gefressenen und dem durch die Fischerei angelandeten Anteil der Sandgarnelen ist für die Sylt-Rømø-Bucht allein nicht möglich, da für diese Bucht keine gebietspezifischen Fischereidaten vorliegen. Die Ergebnisse wären auch deswegen irreführend, weil ein großer Anteil der Fläche, nämlich der Dänische, nicht befischt werden darf, da die Dänische Fischereigesetzgebung die Garnelenfischerei in den Gebieten hinter den Inseln nie zugelassen hat. Der denkbare Ansatz, den Konsum pro Flächeneinheit auf andere Flächen oder das gesamte Wattenmeer zu übertragen und den aus jenen Gebieten erhaltenen Fischereierträgen gegenüberzustellen soll hier nicht weiter verfolgt werden. Es hatte sich im Verlauf der vorliegenden Untersuchung deutlich gezeigt, wie wenig gerade die Sylt-Rømø-Bucht geeignet ist, als Modellgebiet für andere Wattenmeergebiete zu dienen (Kap. 5.2). Daher müssen in diesem Gebiet gewonnene und auf das gesamte Watt skalierte Ergebnisse zu Fehlschlüssen führen.

## 5.9 Schlußbetrachtung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Ausschnitt des trophischen Systems des Wattenmeeres untersucht, der vorher wenig Beachtung gefunden hatte: der Schritt von den mobilen epibenthischen Prädatoren zu den Räubern des benthopelagischen Raums. Am

Beispiel der Sylt-Rømø-Bucht konnte gezeigt werden, daß auf diesem Weg zumindest in Jahren überdurchschnittlicher Gadidenabundanz ein erheblicher Teil der Produktion der epibenthischen Räuber in Form junger Wittlinge und Kabeljau aus dem Watt in die Nordsee exportiert werden, wo sie in der Folge dem dortigen Nahrungsnetz zur Verfügung stehen.

Im Vergleich zum Kenntnisstand der späten 70er Jahre, der durch den Report der "Wadden Sea Working Group" (Dankers *et al.*, 1978) und die Untersuchungen von Redant (1980a und 1980b) markiert wird, können wir jetzt die relative Bedeutung der verschiedenen Räuber der Sandgarnele und Sandgrundel wesentlich besser einschätzen, da die damaligen Berechnungen fast ausschließlich auf Fängen mit Baumkurren basierten und somit die Abundanz eines wesentlichen Teils der räuberischen Fischfauna, der sich nahe aber nicht unmittelbar am Grund aufhält, unterbewertete. Zusammen mit den unrealistisch niedrig angenommenen Verdauungsraten führte dies zu einer starken Unterschätzung des durch Gadiden konsumierten Anteils. Die Gadiden stellen also wichtigere "Freßfeinde" der Sandgarnele dar, als bisher angenommen, wobei aber ebenfalls klar wurde, daß sie den Bestand der Garnelen nicht kontrollieren, wenn man von Jahren mit extremer Gadidenabundanz absieht. Die Frage nach der Kontrolle im Räuber Beute-System wurde zu Zeiten des Wadden Sea Reports nicht gestellt.

Fragen der Saisonalität des Auftretens von Gadiden waren von Fonds (1978) im Wadden Sea Report anhand von Baumkurren- und Reusenfängen eines Jahresgangs in 1963/64 erstmals bearbeitet worden. Abgesehen von dieser einen sind derartige Untersuchungen für diese Räubergruppe im Wattenmeer rar gesät, denn die vorhandenen Daten der durch den ICES koordinierten Surveys lassen keinen Rückschluß auf den saisonalen Aspekt zu, da sie nur ein bis zwei mal im Jahr durchgeführt werden. Hier konnte nun über einen etwas Zeitraum von 3 Jahren gezeigt werden, daß das von Fonds beschriebene Muster der maximalen Abundanzen im Herbst und minimalen im Frühjahr auch am nördlichen Ende des Wattenmeeres seine Gültigkeit behält, wobei anscheinend nicht in alle Wintern Gadiden innerhalb des Wattenmeeres auftreten müssen. Zudem liegen durch diese Arbeit monatsweise Biomasseverläufe der Fischarten einer Bucht vor, wie sie sonst nur von einzelnen Arten bekannt sind. Erst im Zusammenspiel von Produktion und Konsumtion mehrerer Arten kann aber die relative Bedeutung der Konsumtion der einzelnen Art für das Gefüge der Räuber/Beute-Beziehung eingeschätzt werden

Einen weiteren Erkenntnisgewinn erbrachte die vorliegende Untersuchung in der Beschreibung der kleinräumigen Verteilung der Gadiden innerhalb einer Wattenmeerbucht. Besonders die Präferenzen in der Vertikalverteilung und die sich daraus ergebende Tatsache, daß es für die hier betrachteten Beutearten Refugien vor dem Fraßdruck der Räuber gibt, stellt einen neuen Aspekt in der Betrachtung des Systems dar, der partiell die bereits oben erwähnte begrenzte Kontrollwirkung der Räuber auf ihre bevorzugten Beutegruppen erklären mag.

Zudem ist hier der diurnale Aspekt der Verteilung und der Nahrungsaufnahme der juvenilen Gadiden im unmittelbaren Küstenbereich erstmals untersucht worden, wodurch die nächtliche Ernährungsweise aufgezeigt werden konnte. Die hohe diurnale Variabilität und das Auftreten der kleinen epibenthischen Räuber im nächtlichen Pelagial führen zu einem neuen Bild der erhöhten Mobilität dieses Teils der Wattenmeerfauna, das die enorme Tag-zu-Tag-Variabilität in den Abundanzen erklären hilft.

Interessant ist die Einordnung der hier gewonnen Ergebnisse in das Bild des Ökosystems Wattenmeer, wie Reise (1985) es beschreibt: für ihn sind die eulitoralen Wattenflächen die ökologische Drehscheibe, auf der die aus dem Meer und von Land importierten Nährstoffe für die höheren Konsumenten aufbereitet werden, um dann durch diese exportiert zu werden. Hierbei läge die Abundanz der Makrofauna der Eulitoralflächen jeweils unterhalb der 'carrying capacity' aufgrund des Übergewichts der Prädation durch mobile epibenthische Prädatoren als strukturgebender Prozeß. Zu diesen Prädatoren zählt Reise neben den in dieser Untersuchung in ihrer Rolle als Beute bearbeiteten Grundeln und Sandgarnelen auch die hier nicht untersuchten Strandkrabben (*Carcinus maenas*), die sicherlich aufgrund ihrer hohen Abundanz und ihres breiten Beutespektrums (Scherer & Reise, 1981) eine wichtige Rolle als Räuber der Fauna der Platen spielen. Übertragen wir diese Sicht auf die in der vorliegenden Untersuchung studierte nächsthöhere trophische Ebene, so fällt zunächst die nachlassende Wirkung der Prädation auf. Die nun mobile Beute kann sich dem Prädationsdruck temporär und räumlich entziehen und trifft nur zeitweise mit 'ihren' Prädatoren zusammen. Daher ist anzunehmen, das die 'carrying capacity' des Ökosystems Watt hinsichtlich dieser Organismen eher ausgeschöpft sein könnte. In der Tat deutet die relative Armut der Sylt-Rømø-Bucht an Sandgarnelen und Sandgrundeln im Vergleich zu anderen Wattenmeergebieten diese Annahme zu stützen. Demnach wären die mobilen epibenthischen Prädatoren nicht durch Prädation sondern durch das Nahrungsangebot limitiert.

Des weiteren kann die von Reise (1985) formulierte Hypothese, daß die im Sublitoral durch Fische stattfindende Prädation auf die Prädatoren des Eulitorals an diesem Ort die epibenthische Prädation verringern würde, zumindest für das flachere Sublitoral abgelehnt werden. Hier steht den epibenthischen Prädatoren ihre Beute unabhängig vom jeweiligen Tidenstand zur Verfügung, so daß im Gegenteil sogar von ein erhöhter Prädationsdruck erwartet werden darf, zumal ihre eigenen Prädatoren das flache Sublitoral meiden. Zur Klärung dieser Fragestellung wäre es allerdings nötig, Räuberausschlußexperimente in der Art der von Reise (1977, 1978) durchgeführten, im flachen Sublitoral zu wiederholen. Gerade die Sylt-Rømø-Bucht mit ihren ausgedehnten flachen Sublitoralflächen böte hierzu die besten Voraussetzungen und gerade hier wäre die Frage, inwieweit sich das flache vom tieferen sublitoralen Benthos unterscheidet auch von verstärktem Interesse.

## 6 Literaturverzeichnis

- Abt, K.F., 1995. Nahrungsbedarf der Seehunde (*Phoca vitulina* L.) im Sylt-Rømø-Wattenmeer-Gebiet. Abschlußbericht Teil-Projekt 1.7b/2.5b/4.5b der Ökosystemforschung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Büsum, 1995. 22 S.
- Andersen, N.G., 1999. The effects of predator size, temperature, and prey characteristics on gastric evacuation in whiting. *J. Fish Biol.*, **54**:287-301.
- Anonymus, 2000. Report of the working group on *Crangon* fisheries and life history. ICES C.M. 2000/G:11.
- Arntz, W.E., 1973. Periodicity of diel food intake of cod, *Gadus morhua*, in the Kiel Bay. *Oikos. Suppl.***15**:138-145.
- Arntz, W.E., 1974. Die Nahrung juveniler Dorsche (*Gadus morhua* L.) in der Kieler Bucht. *Ber. dt. wiss. Komm. Meeresforsch.*, **23**:97-120.
- Backhaus, J., Hartke, D. & Hübner, U., 1995. Hydrodynamisches und thermodynamisches Modell des Sylter Wattenmeeres. Abschlußbericht Teil-Projekt 4.1a der Ökosystemforschung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Hamburg 1995, 54 S.
- Backhaus, J., Hartke, D., Hübner, U., Lohse, H. & Müller, A., 1996. Hydrographie und Klima im Lister Tidebecken. SWAP Projektsynthese. Abschlußbericht der Ökosystemforschung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Teil B. S.32-45. Boysen, Tönning 1996, 462 S.
- Bajkov, A.D., 1935. How to estimate the daily consumption of fish under natural conditions. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **65**:288-289
- Barkley, R.A., 1964. The theoretical effectiveness of towed-net samplers as related to sampler size and swimming speed of organisms. *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **29**(2):146-157
- Bayerl, K., Köster, R. & Murphy, D., 1996. Verteilung und Zusammensetzung der Sedimente im Lister Tidenbecken. SWAP Projektsynthese. Abschlußbericht der Ökosystemforschung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Teil B. S.24-31. Boysen, Tönning 1996, 462 S.
- van Beek, F.A., 1976. Aantallen, groei, produktie en voedselopname van de zandgrondel (*Pomatoschistus minutus*) en de wadgrondel (*Pomatoschistus microps*) op het Balgzand. NIOZ Interne Verslagen, Texel, 1976-9.
- van Beek, F.A., Rijnsdorp, A.D. & Clerck, R. de, 1989. Monitoring juvenile stocks of flatfish in the Wadden Sea and the coastal areas of the southeastern North Sea. *Helgol. Meeresunters.* **43**:461-477.
- Begon, M., Harper, J.L. & Townsend, C.R., 1990. *Ecology*. 2nd Ed., Blackwell, Boston, 1990, 945 S.
- Berghahn, R., 1984. Zeitliche und räumliche Koexistenz ausgewählter Fisch- und Krebsarten im Wattenmeer unter Berücksichtigung von Räuber-Beute-Beziehungen und Nahrungskonkurrenz. Dissertation Uni Hamburg, FB Biologie. 220 S.

- Berghahn, R., 1987. Effects of tidal migration on growth of 0-group plaice (*Pleuronectes platessa* L.) in the North Frisian Wadden Sea. *Meeresforsch.* **31**:209-226
- Berghahn, R., 1996. Episodic mass invasions of juvenile gadoids into the wadden sea and their consequences for the population dynamics of brown shrimp (*Crangon crangon*). *Mar. Ecol.*, **17**:251-260.
- Berghahn, R., Wiese, K. & Lüdemann, K., 1995. Physical and physiological aspects of gear efficiency in North Sea brown shrimp fisheries. *Helgol. Meeresunters.*, **49**:507-518.
- Bergman, M.J.N., van der Veer, H.W. & Zijlstra, J.J., 1988. Plaice nurseries: effect on recruitment *J. Fish Biol.*, **33**(Sup. A):201-218.
- Bergman, M.J.N., van der Veer, H.W., Stam, A. & Zuidema, D., 1989. Transport mechanisms of larval plaice (*Pleuronectes platessa* L.) from the coastal zone into the Wadden Sea nursery area. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, **191**:43-49.
- Bishop, J.M. & Khan, M.H., 1991. Depth as a factor in abundance and size of juvenile penaeid shrimps in the absence of estuaries and marshes. *Mar. Biol.*, **109**:103-114.
- Boddeke, R., 1967. Visserij-biologische veranderingen in de westelijke Waddenzee. *Visserij-nieuws*, **20**:213-22.
- Boddeke, R., 1978. Changes in the Stock of brown shrimp (*Crangon crangon* L.) in the coastal area of the Netherlands. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer*, **172**:239-249.
- Boddeke, R., 1982. The occurrence of winter and summer eggs in the brown shrimp (*Crangon crangon*) and the pattern of recruitment. *Neth. J. Sea Res.*, **16**: 151-162.
- Boddeke, R., Driessen, G., Doesburg, W. & Ramaekers, G., 1985. Settlement and growth of brown shrimp (*Crangon crangon*) in a coastal area. *ICES C.M.* 1985/K:16, 20 S.
- Breckling, P. & Neudecker, T., 1994. Monitoring the fish fauna in the Wadden Sea with stow nets (Part 1): A comparison of demersal and pelagic fish in a deep tidal channel. *Arch. Fish. Mar. Res.*, **42**:3-15.
- Breckling, P., Beermann-Schleif, S., Achenbach, I., Opitz, S. & Walthemath, M., 1994. Fische und Krebse im Wattenmeer. Gemeinsamer Abschlußbericht dreier Teilprojekte der Ökosystemforschung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer Teil A. Forschungsbericht des Umweltbundesamts Nr. 10802085/01. 223 S.
- Bromley, P.J. & Kell, L.T., 1995. Vertical migration patterns and spatial distribution of pelagic 0-group gadoids (cod, haddock, whiting and Norway pout) in the North Sea. *ICES C.M.* 1995/G:27, 18 S.
- Brunel, P., 1964. Food as a factor or indicator of vertical migrations of cod in the western Gulf of St. Lawrence. *ICNAF Environmental Symposium, Rome, Contribution C-2*, 16 S.
- Bückman, A., 1935. Über die Jungschollenbevölkerung der deutschen Wattenküste der Nordsee. *Ber. Dt. wiss. Komm. Meeresforsch.*, **7**:205-213.
- Burrows, M.T. & Gibson, R.N., 1995: The effects of food, predation risk and endogenous rhythmicity on the behaviour of juvenile plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Anim. Behav.*, **50**:41-52.

- Casey, J.M., Myers, R.A., 1998. Diel variation in trawl catchability: is it as clear as day and night? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **55**(10): 2329-2340.
- Clark, D.S. & Green, J.M., 1989. Activity and movement pattern of juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua*, in Conception Bay, Newfoundland, as determined by sonic telemetry. *Can. J. Zool.*, **68**:1434-1442.
- Coull, K.A., Jermyn, A.S., Newton, A.W., Henderson, G.I. & Hall, W.B., 1989. Length/Weight relationships for 88 species of fish encountered in the North East Atlantic. Scottish Fisheries Research Report No.43, 81 S.
- Crisp, D.J., 1971. Energy flow measurements. S. 197-279 in: Holme, N.A. & McIntyre, A.D. (eds.): *Methods for the study of marine benthos*. IBP Handbook No.16, Blackwell, Oxford. 334 S.
- Daan, N., 1973. A quantitative analysis of the food intake of North Sea cod, *Gadus morhua*. *Neth. J. Sea Res.* **6**:479-517.
- Daan, N., 1983. Analysis of the cod samples collected during the 1981 Stomach Sampling Project. ICES C.M. 1983/G:61, 26 S.
- Dahl, K. & Kirkegaard, E., 1986. Stomach contents of mackerel, horse mackerel and whiting in the eastern part of the North Sea in July 1985. ICES C.M.1986/H:68.
- Dankers, N.; Wolff, W.J. & Zijlstra, J.J. (Hg.), 1978. Fishes and fisheries of the Wadden Sea. Report 5 of the Wadden Sea Working Group. Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek. Leiden 1978, 157 S.
- Dankers, N.M.J.A. & de Veen, J.F., 1978. Variation in relative abundance in a number of fish species in the Wadden Sea and the North Sea coastal areas. S.77-105 in: Dankers, N.M.J.A., Wolff, W.J. & Zijlstra, J.J. (Hrsg.): *Fishes and fisheries of the Wadden Sea*. Report 5 of the Wadden Sea Working Group, Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, Leiden 1978, 157 S.
- Dapper, R., 1978. Aantallen, biomassa en verspreiding van Garnalen (*Crangon crangon*) op het Balgzand in 1977. Interne Verslagen NIOZ, 1978-11, Texel, 46 S.
- Edwards, R. & Steele, J.H., 1968. The ecology of 0-group plaice and common dabs at Loch Ewe. I: Population and food. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **2**:215-238.
- Ehrenbaum, E., 1890. Zur Naturgeschichte von *Crangon vulgaris* Fabr. Sonderbeilage zu den Mittheilungen der Sektion Küsten- u. Hochseefischerei des Deutschen Fischerei-Vereins. Moeser, Berlin 1890, 124 S.
- Ehrich, S., 1991. The effect of a gale on bottom trawl catches in the German Bight. ICES C.M. 1991/G:59.
- Ehrich, S., 1992. Do different towing distances influence the variance of catch data, if towing time is constant? ICES C.M. 1992/B:24.
- Evans, S., 1984. Energy budgets and predation impact of dominant epibenthic carnivores on a shallow soft bottom community at the Swedish west coast. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **18**:651-672.
- Fonds, M., 1973. Sand gobies in the Dutch Wadden Sea (*Pomatoschistus*, Gobiidae, Pisces). *Neth. J. Sea Res.*, **6**:417-478.

- Fonds, M., 1978. The seasonal distribution of some fish species in the western Dutch Wadden Sea. S.42-77 in: Dankers, N.M.J.A., Wolff, W.J. & Zijlstra, J.J. (Hrsg.): Fishes and fisheries of the Wadden Sea. Report 5 of the Wadden Sea Working Group, Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, Leiden 1978, 157S.
- Fonds, M. & Veldhuis, C., 1973. The oxygen consumption of four *Pomatoschistus* species (Pisces, Gobiidae) in relation to water temperature. Neth. J. Sea Res., **7**:376-386.
- van der Gaag, M., 1977. Aantallen, Verdeling, Groei en Voedselopname van twee Grondelsoorten op het Balgzand in 1975 en 1976. Interne Verslagen NIOZ, 1977-9, Texel, 80 S.
- George, E. L. & Hadley, W. F., 1979. Food and habitat partitioning between Rock Bass (*Ambloplites rupestris*) and Smallmouth Bass (*Micropterus dolomieu*) young of the year. Trans. Am Fish. Soc., **108**:253-261.
- Gibson, R.N. & Ezzi, I.A., 1981. The Biology of the Norway Goby, *Pomatoschistus norvegicus* (Collett), on the West Coast of Scotland. J. Fish Biol., **19**:697-713.
- Gibson, R.N. & Robb, L., 1996. Piscine predation on juvenile fishes on a Scottish sandy beach. J. Fish Biol., **49**:120-138.
- Glass, C.W. & Wardle, C.S., 1989. Comparison of the reactions of fish to a trawl gear, at high and low light intensities. Fish. Res. **7**:249-266.
- Godø, O.R., 1994. Natural fish behaviour and catchability of groundfish. ICES C.M. 1994/G:14, 11 S.
- Hagmeier, A. & Kändler, R., 1927. Neue Untersuchungen im Nordfriesischen Wattenmeer und auf den fiskalischen Austernbänken. Wiss. Meresunters. **16**:1-90.
- Hamerlynck, O., 1990. The identification of *Pomatoschistus minutus* (Pallas) and *Pomatoschistus lozanoi* (de Buen) (Pisces, Gobiidae). J. Fish Biol., **37**:723-728.
- Hamerlynck, O. & Hostens, K., 1993. Growth, feeding, production, and consumption in 0-group bib (*Trisopterus luscus* L.) and whiting (*Merlangius merlangus* L.) in a shallow coastal area of the south-west Netherlands. ICES J. Mar. Sci., **50**:81-91.
- Hartsuyker, L., 1966. Daily tidal migrations of the shrimp *Crangon crangon*. Neth. J. Sea Res., **3**:52-67.
- Hawkins, A.D., Soofiani, N.M. & Smith, G.W., 1985. Growth and feeding of juvenile cod. J. Cons. perm. int. Explor. Mer. **42**:11-32.
- Healy, M.C., 1971. The distribution and abundance of sand gobies, *Gobius minutus*, in the Ythan estuary. J. Zool., Lond., **163**:177-229.
- He, P., 1993. Swimming speeds of marine fish in relation to fishing gear. ICES Mar. Sci. Symp., **196**:183-189.
- Hempel, G., 1964. Some observations on tidal effects on the catch of plaice (*Pleuronectes platessa* L.) and dab (*Limanda limanda* (L.)) in the German Bight. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer., **155**:65.
- Henderson, P.A. & Holmes, R.H.A., 1989. Whiting migration in the Bristol Channel: a predator-prey relationship. J. Fish Biol., **34**:409-416.

- Herrmann, J.P., Jansen, S. & Temming, A., 1998. Konsumtion durch Fische und dekapode Krebse sowie deren Bedeutung für die trophischen Beziehungen in der Sylt-Rømø-Bucht. In: Gätje, Ch. & Reise, K. (Hrsg.): Ökosystem Wattenmeer, Austausch-Transport- und Stoffumwandlungsprozesse. Springer, Berlin S. 437-462.
- Hinz, V., 1989. Monitoring the fish fauna in the Wadden Sea with special reference to different fishing methods and effects of wind and light on catches. Helgoländer Meeresunters., **43**:447-459.
- Hislop, J.R.G., Robb, A.P., Bell, M.A. & Armstrong, D.W., 1991. The diet and food consumption of whiting (*Merlangius merlangus*) in the North Sea. ICES J. Mar. Sci., **48**:139-156.
- Hureau, J.-C., 1969. Biologie comparée de quelques poissons antarctiques (Nototheniidae). Bull. Inst. Oceanogr. Monaco, **68**:1-131.
- Ivlev, V.S., 1961. Experimental ecology of the feeding of fishes. Yale Univ. Press, New Haven, 302 S.
- Jansen, S., Wellemann, H., Temming, A. & Daan, N., 2000. Interrelationships between the Brown Shrimp population and the multinational Brown Shrimp fishery with emphasis on recent changes in the population structure. Final Report of EU Study CFP96-007, 114 S.
- Janssen, G.M. & Kuipers, B.R., 1980. On tidal migration of the shrimp *Crangon crangon*. Neth. J. Sea Res., **14**:339-348.
- Johnson, B.S., 1966. Trawl. Secker & Warburg, London 1966. 183 S.
- Jones, R., 1956. A discussion of some limitations of the trawl as a sampling instrument. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, **140**:44-47.
- Keats, D.W. & Steele, D.H., 1992. Diurnal feeding of juvenile cod (*Gadus morhua*) which migrate into shallow water at night in eastern Newfoundland. J. Northw. Atl. Fish. Sci., **13**:7-14.
- Kesteven, G.L.(ed.), 1960. Manual of field methods in fisheries biology. FAO, Rom, 152 S.
- Kjelson, M.A. & Johnson, G.N., 1978. Catch efficiency of a 6.1 metre otter trawl for estuarine fish populations. Trans. Am. Fish. Soc., **107**(2):246-254.
- Köster, R., Austen, G., Austen, I., Bayerl, K.-A. & Ricklefs, K., 1995. Sedimentation, Erosion und Biodeposition. Abschlußbericht der Teil-Projekte 1.2b und 3.1 der Ökosystemforschung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Büsum 1995, 89 S.
- Kühl, H., 1961. Nahrungsuntersuchungen an einigen Fischen im Elbe-Mündungsgebiet. Ber. dt. wiss. Kommn. Meeresforsch., **16**:90-104.
- Kühl, H., 1964. Protokolle zu den Nahrungsuntersuchungen an einigen Fischen der Elbmündung. Veröff. Inst. KüBiFi., **32**:1-30.
- Kühl, H., 1973. Nahrungsuntersuchungen an einigen Gadiden im Elbe-Mündungsgebiet. Arch. FischWiss., **24**:141-149.

- Kühl, H. & Kuipers, B.R., 1978. Qualitative food relationships of Wadden Sea fishes. S.112-123 in: Dankers, N.M.J.A., Wolff, W.J. & Zijlstra, J.J. (Hrsg.): Fishes and fisheries of the Wadden Sea. Report 5 of the Wadden Sea Working Group, Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, Leiden 1978, 157 S.
- Kuipers, B.R., 1975. On the efficiency of a two-metre beam trawl for juvenile plaice (*Pleuronectes platessa*). Neth. J. Sea Res., **9**:69-85.
- Kuipers, B.R., 1977. On the ecology of juvenile plaice on a tidal flat in the Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., **11**:56-91.
- Kuipers, B.R. & Dapper, R., 1984. Nursery function of the Wadden Sea tidal flats for the brown shrimp *Crangon crangon*. Mar. Ecol. Prog. Ser., **17**(2): 171-181.
- Kuipers, B.R., MacCurrin, B., Miller, J.M., van der Veer, H.W. & Witte, J.IJ., 1992. Small trawls in juvenile flatfish research: their development and efficiency. Neth. J. Sea Res., **29**:109-117.
- Linke, O., 1939. Die Biota des Jadebusen. Helgol. wiss. Meeresunters., **1**:201-348.
- van Lissa, J.H.L., 1977. Aantallen, voedselopname, groei en produktie van de garnaal (*Crangon crangon* L.) in een getijdengebied, alsmede de voedselopname en groei onder Laboratoriumomstandigheden. Interne Verslagen NIOZ, 1977-10, Texel, 110 S.
- Maes, J., Pas, J., Taillieu, A., van Damme, P. A. & Ollevier, F., 1999. Diel changes in the vertical distribution of juvenile fish in the Zeeschelde Estuary. J. Fish Biol., **54**:1329-1333.
- van Marlen, B., Redant, F., Polet, H., Radcliffe, C., Revill, A. & Kristensen, P., 1997. Research into *Crangon* Fisheries Unerring Effect (RESCUE). Final Report of EU-Study DG XIV-94/044, 37 S.
- Meyer-Waarden, P.F. & Tiews, K., 1957. Krebs- und Muscheltiere. 1. Teil Krebstiere. Arb. d. dt. Fischereiverb. **8**:1-55.
- Möbius, K., 1893. Über die Thiere der schleswig-holsteinischen Austernbänke, ihre physikalischen und biologischen Lebensverhältnisse. Mathematische und Naturwissenschaftliche Mittheilungen aus den Sitzungsberichten der königlich preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Jg 1893, S. 39-40.
- Muus, B.J., 1967. The fauna of Danish estuaries and lagoons. Distribution and ecology of dominating species in the reaches of the mesohaline zone. Medd. Danm. Fisk. Havunders., N.S., **5**(1):1-316.
- Neudecker, T., Fischer, J. & Damm, U., 1998. Influence of tidal currents on fishing performance in the Wadden Sea. ICES C.M.1998/BB:6, 12 S.
- Nierynck, E. & Redant, F., 1983. Caridean shrimps in the food of demersal fish off the Belgian coast. 3. Pleuronectiformes. ICES C.M.1983/K:20, 16 S.
- del Norte-Campos, A.G.C. & Temming, A., 1994. Daily activity, feeding and rations in gobies and brown shrimp in the northern Wadden Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser., **115**:41-53.

- del Norte-Campos, A.G.C., 1995. Ecological studies on the coexistence of the brown shrimp, *Crangon crangon* L. and the Gobies *Pomatoschistus microps* Krøyer and *P. minutus* Pallas in shallow areas of the German Wadden Sea. Dissertation, Fachbereich Biologie, Universität Hamburg, 265 S.
- Orthmann, T., 2000. Telemetrische Untersuchungen zur Verbreitung, zum Tauchverhalten und zur Tauchphysiologie von Seehunden (*Phoca vitulina vitulina*) des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeeres. Dissertation, Math.-Naturw. Fakultät d. Universität Kiel, 219 S.
- Parrish, B.B., Blaxter, J.H.S. & Hall, W.B., 1964. Diurnal variation in size and composition of trawl catches. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer., **155**:27-34.
- Piepenburg, D., 1984. Zum Auftreten von Fischen und Fischnährtieren in ausgewählten Prielen des Nordfriesischen Wattenmeeres. Diplomarbeit, Math.-Naturw. Fakultät d. Universität Kiel, 184 S.
- Pihl, L., 1982. Food intake of young cod and flounder in a shallow bay on the Swedish west coast. Neth. J. Sea Res., **15**(3-4):419-432.
- Pihl, L. & Rosenberg, R., 1982. Production, abundance and biomass of mobile epibenthic marine fauna in shallow waters, western Sweden. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., **57**:273-301.
- Pihl, L. & Rosenberg, R., 1984. Food selection and consumption of the shrimp *Crangon crangon* in some shallow marine areas in western Sweden. Mar. Ecol. Prog. Ser., **15**:159-168.
- Pitcher, T.J. & Hart, P.J.B., 1982. Fisheries Ecology. Croom Helm, London, 1982, 414 S.
- Redant, F., 1980a. Population dynamics of the brown shrimp (*Crangon crangon*) in the Belgian coastal waters. 1. Consumption-production-model. ICES C.M.1980/K:32, 24 S.
- Redant, F., 1980b. Population dynamics of the brown shrimp (*Crangon crangon*) in the Belgian coastal waters. 2. Predation mortality. ICES C.M.1980/K:33, 24 S.
- Redant, F., 1982. Caridean shrimps in the food of demersal fish off the Belgian coast. 1. Gadiformes. ICES C.M.1982/K:25, 22 S.
- Reise, K., 1977. Predator exclusion experiments on an intertidal mud flat. Helg. wiss. Meeresunters., **30**:263-271.
- Reise, K., 1978. Experiments on epibenthic predation in the Wadden Sea. Helg. wiss. Meeresunters., **31**:55-101.
- Reise, K., 1985. Tidal flat ecology. Springer-Verlag, Berlin 1985. 191 S.
- Riley, J.D., 1971. The Riley push-net. In: Holme, N.A. & McIntyre, A.D. (eds.): Methods for the study of marine benthos. IBP Handbook No.16, Blackwell, Oxford 1971. 334 S.
- Ruiz, G.M., Hines, A.H. & Posey, M.H., 1993. Shallow water as a refuge habitat for fish and crustaceans in non-vegetated estuaries: an example from Chesapeake Bay. Mar. Ecol. Prog. Ser., **99**:1-16.
- Ruth, M., 1991. Einschließungsexperimente im Wattenmeer. Final Report on the DFG-Project Einschließungsexperimente (Ne99/77), Kiel, 1991, 122 S.

- Scherer, B. & Reise, K., 1981. Significant predation on micro- and macrobenthos by the crab *Carcinus maenas* L. in the Wadden Sea. Kieler Meeresforsch., **5**:490-500.
- Sievers, U., 1989. Nahrungsökologische Untersuchungen an Seehunden (*Phoca vitulina*, L. 1758). Zool. Anz., **222**:249-260.
- Sissenwine, M.P., 1978 in: Gunderson, D.R., 1993. Surveys of fisheries resources. Wiley and Sons, New York, 248 S.
- Smiley, P.C.jr & Parsons, G.R., 1997. Effects of photoperiod and temperature on swimming performance of white crappie. Trans. Am. Fish. Soc., **126**:495-499.
- Temming, A., 1995. Die quantitative Bestimmung der Konsumtion von Fischen. Experimentelle, methodische und theoretische Aspekte. Habilitationsschrift Fachbereich Biologie, Hamburg, 1995, 235 S.
- Temming, A., Damm, U. & Neudecker, T., 1993. Trends in the size composition of commercial catches of brown shrimp (*Crangon crangon* L.) along the German coast. ICES C.M. 1993/K:53, 14 S.
- Temming, A. & Andersen, N.G., 1994. Modelling gastric evacuation without meal size as a variable. A model applicable for the estimation of daily ration of cod (*Gadus morhua* L.) in the field. ICES J. Mar. Sci., **51**:429-438.
- Temming, A. & Damm, U., 2002. Life cycle of *Crangon crangon* in the North sea: a simulation of the timing of recruitment as a function of the seasonal temperature signal. Fish. Oceanogr., **11**:45-58.
- Tiews, K., 1954a. Die biologischen Grundlagen der Büsumer Krabbenfischerei. Ber. Dt. Wiss. Komm. Meeresforsch. **13**:235-269.
- Tiews, K., 1954b. Einfluß der Gezeiten und der Wassertemperatur auf die Garnelenfischerei. Ber. dt. wiss. Kommn. Meeresforsch., **13**(3): 270-282.
- Tiews, K., 1963. The role of whiting as an undesirable guest in German coastal waters. Veröffentlichungen des Instituts für Küsten- und Binnenfischerei. **27**:9-19.
- Tiews, K., 1965. Lichtung des Nordseegarnelenbestandes (*Crangon crangon*, L.) durch Wegfraß. Arch. FischWiss., **16**:169-181.
- Tiews, K., 1978. The predator-prey relationship between fish populations and the stock of brown shrimp (*Crangon crangon* L.) in German coastal waters. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. **172**:250-258.
- Tyler, A.V., 1970. Rates of gastric emptying in young cod. J. Fish. Res. Canada, **27**:1177-1189.
- Ursin, E., Pennington, M., Cohen, E.B. & Grosslein, M.D., 1985. Stomach evacuation rates of Atlantic cod (*Gadus morhua*) estimated from stomach contents and growth rates. Dana, **3**:1-20.
- Walsh, S.J., 1991. Diel variation in availability and vulnerability of fish to a survey trawl. J. Appl. Ichthyol., **7**:147-159.
- Walsh, S.J. & Hickey, W.M., 1993. Behavioural reactions of demersal fish to bottom trawls at various light conditions. ICES Mar. Sci. Symp. **196**:68-76.

- Wardle, C.S., 1977. Effects of size on swimming speed of fish. In: Pedley, T.J. (ed.): Scale effects in animal locomotion. Academic Press, New York, S.167-195.
- Wardle, C.S., 1993. Fish behaviour and fishing gear. In: Pitcher, T.J. (ed.): Behaviour of teleost fishes. 2<sup>nd</sup> ed., Chapman & Hall, London., S.609-643.
- Weatherly, A.H. & Gill, H.S., 1987. The biology of fish growth. Academic Press, London, 1987, 443 S.
- Webb, C.J., 1980. Systematics of the *Pomatoschistus minutus* complex (Teleostei: Gobiidae). Phil. Trans. Royal Soc. Lond. Ser.B, **291**:201-241.
- Wennhage, H., Gibson, R.N. & Robb, L., 1997. The use of drop traps to estimate the efficiency of two beam trawls commonly used for sampling juvenile flatfishes. J. Fish Biol., **51**:441-445.
- Westin, L. & Aneer, G., 1987. Locomotor activity patterns of nineteen fish and five crustacean species from the Baltic Sea. Env. Biol. Fish, **20**:49-65.
- Whitehead, P.J.P., Bouchot, M.-L., Hureau, J.-C., Nielsen, J. & Tortonese, E., 1984. Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. UNESCO, Paris 1984, 1473 S.
- Wiedemeyer, W., 1993. Die Biologie des Steinpickers *Agonus cataphractus* (L. 1758) als Prädator der Nordseegarnele *Crangon crangon* (L. 1758) im Wattenmeer. Diplom-Arbeit, Universität Kiel, 95 S.
- Winberg, G.G., 1960 (orig. 1956). Rate of metabolism and food requirements of fish. Fish. Res. Bd. Can. Transl. Ser. #194, 202 S.
- Windell, J.T., 1978. Digestion and the daily ration of fishes. In: Gerking, S.D. (Hrsg.): Ecology of freshwater fish production. Blackwell, Oxford, S.159-183.
- Wohlenberg, E., 1937. Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt. Helgoländer wiss. Meeresunters., **1**:1-92.
- Woodhead, P.M.J., 1964. Diurnal changes in trawl catches of fishes. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. **155**:35-44.
- Zarkeschwari, N., 1978. Food composition of cod *Gadus morhua* L. in shallow waters of Kiel Bay during two 24 hour surveys. Kieler Meeresforsch., Sonderheft **4**:128-129.
- Zijlstra, J.J., 1978. The function of the Wadden Sea for the members of its fish-fauna. S. 20-25 in: Dankers, N.M.J.A., Wolff, W.J. & Zijlstra, J.J.(eds.): Fishes and fisheries of the Wadden Sea. Report 5 of the Wadden Sea Working Group, Stichting Veth tot Steun aan Waddenonderzoek, Leiden 1978, 157 S.
- Zimmermann, C., 1997. Zur Ökologie arktischer und antarktischer Fische: Aktivität, Sinnesleistungen und Verhalten. Ber. Polarforsch., **231**:1-137.

## 7 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

*Abbildung 3.01:* **Karte** des Untersuchungsgebiets mit Lage der Stationen

*Abbildung 3.02:* **Zeitpunkte** der Meßkampagnen

*Abbildung 3.03:* Die am häufigsten verwendeten **Geräte**

*Abbildung 3.04:* **Tiefenverteilung** und Schleppstrecke **aller Hols** mit Scherbrettnetz und 2-Meter-Kurre.

*Abbildung 3.05:* **Tiefenverteilung** und Schleppstrecke der **tiefenstratifizierten Probennahmen** mit Scherbrettnetz und 2-Meter-Kurre.

*Abbildung 3.06:* Für die Konsumtionsberechnung benutzte **Temperaturverläufe**.

*Abbildung 4.01:* Verteilung der **Gesamt-Fischbiomasse** auf die einzelnen Gruppen

*Abbildung 4.02:* Vergleich der in den **Februar**-Befischungen vorgefundenen mittleren Dichten des **Kabeljau** und des **Wittlings** in den Jahren **1991 bis 1994**.

*Abbildung 4.03:* Vergleich der Abundanzen des **Kabeljau** und **Wittlings** im Mittel der **sowohl 1992** als auch **1993** mit dem Scherbrettnetz beprobten Standard-Stationen.

*Abbildung 4.04:* **Saisonaler Verlauf** der Abundanz von **Kabeljau** und **Wittling** im tiefen Sublitoral.

*Abbildung 4.05:* **Saisonaler Verlauf** des Anteils von **Kabeljau** und **Wittling** an der Gesamt-Fischabundanz

*Abbildung 4.06* und *Abbildung 4.07:* Verlauf der Abundanzen von **Kabeljau** und **Wittling** in den **24-Stunden-Fischereien**.

*Abbildung 4.08:* Verteilung der Abundanzen von **Kabeljau** und **Wittling** über die **mittlere Holtiefe**.

*Abbildung 4.09:* **Echolot-Querschnittaufzeichnungen** des Pandertiefs.

*Abbildung 4.10:* **Tiefenverteilung** der Abundanzen von **Kabeljau** und **Wittling** bei **Tag / Nacht**.

*Abbildung 4.11:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen des **Kabeljau** auf des Stationen des tiefen Sublitorals.

*Abbildung 4.12:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen des **Wittlings** auf des Stationen des tiefen Sublitorals.

- Abbildung 4.13:* Vergleich der in den **Februar**-Befischungen vorgefundenen mittleren Dichten der **Sandgrundel** und der **Sandgarnele** in den Jahren **1991 bis 1994**.
- Abbildung 4.14:* Vergleich der Abundanzen der **Sandgarnele** und der **Sandgrundel** im Mittel der in **1992** und **1993** beprobten Standard-Stationen.
- Abbildung 4.15:* **Saisonaler Abundanzverlauf** der **Sandgarnele** auf den **drei Tiefenstrata** des Standardstationsnetzes.
- Abbildung 4.16:* **Saisonaler Abundanzverlauf** der **Sandgrundel** auf den **drei Tiefenstrata** des Standardstationsnetzes.
- Abbildung 4.17* und *Abbildung 4.18:* Verlauf der Abundanzen von **Sandgarnele** und **Sandgrundel** in den **24-Stunden-Fischereien**.
- Abbildung 4.19:* Verlauf der Abundanz der **Sandgarnele** in der **24-Stunden-Fischerei #9** an der Lister Odde.
- Abbildung 4.20:* **Vertikalverteilung der Abundanz** der **Sandgarnele** in den Fängen der tiefenstratifizierten Probennahmen mit Scherbrettnetz und 2-Meter-Kurre.
- Abbildung 4.21a:* **Längenabhängige Tiefenverteilung der Sandgarnele** im Lister Tief.
- Abbildung 4.21b:* **Längenabhängige Tiefenverteilung der Sandgarnele** zwischen Hestendragt und Westerley.
- Abbildung 4.22:* **Vertikalverteilung der Abundanz** der **Sandgrundel** in den Fängen der tiefenstratifizierten Probennahmen mit Scherbrettnetz und 2-Meter-Kurre.
- Abbildung 4.23:* **Längenabhängige Tiefenverteilung der Sandgrundel** im Lister Tief.
- Abbildung 4.24:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen der **Sandgarnele** im **oberen Eulitoral**.
- Abbildung 4.25:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen der **Sandgarnele** im **tiefen Eulitoral / flachen Sublitoral**.
- Abbildung 4.26:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen der **Sandgarnele** im **tiefen Sublitoral**.
- Abbildung 4.27:* Abundanzen der **Sandgarnele** auf den **Stationen CS1 bis CS3** im Verlauf der Jahre **1993** und **1994**.
- Abbildung 4.28:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen der **Sandgrundel** im **oberen Eulitoral**.
- Abbildung 4.29:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen der **Sandgrundel** im **tiefen Eulitoral / flachen Sublitoral**.

- Abbildung 4.30:* **Horizontalverteilung** der Abundanzen der **Sandgrundel** im **tieferen Sublitoral**.
- Abbildung 4.31:* **Längen/Häufigkeits-Verteilungen** von **Wittling** und **Kabeljau**.
- Abbildung 4.32:* Mittlere **Längen** und **Längenwachstumsraten** von **Wittling** und **Kabeljau**.
- Abbildung 4.33:* Mittlere **Gewichte** und **Gewichtswachstumsraten** von **Wittling** und **Kabeljau**.
- Abbildung 4.34:* **Längen und Gewichte** von 744 **Kabeljau** und 1801 **Wittlingen** der AK0.
- Abbildung 4.35:* **Längen/Gewichts-Relation** der AK0 des **Kabeljau**.
- Abbildung 4.36:* **Längen/Gewichts-Relation** der AK0 des **Wittlings**.
- Abbildung 4.37:* **Saisonalen Verlauf** des mittleren **Konditionsfaktors** **Wittling** und **Kabeljau**.
- Abbildung 4.38:* **Längen/Häufigkeits-Verteilung** der **Sandgrundel** auf den drei Strata des Standardstationsnetzes.
- Abbildung 4.39:* **Relative und absolute Längen/Häufigkeits-Verteilung** der **Sandgrundeln** der Sylt-Rømø-Bucht.
- Abbildung 4.40:* **Längen/Gewichts-Relation** der **Sandgrundel**.
- Abbildung 4.41:* **Längen/Häufigkeits-Verteilung** der **Sandgarnele** auf den drei Strata des Standardstationsnetzes.
- Abbildung 4.42:* **Relative und absolute Längen/Häufigkeits-Verteilung** der **Sandgarnelen** der Sylt-Rømø-Bucht.
- Abbildung 4.43:* **Längen/Gewichts-Relation** der **Sandgarnele**.
- Abbildung 4.44:* Verlauf der **Gesamtzahl** und der **Biomasse** der **Wittlinge** in 1993.
- Abbildung 4.45:* Verlauf der **Gesamtzahl** und der **Biomasse** der **Kabeljau** in 1993.
- Abbildung 4.46:* Verlauf der **Gesamtzahl** und der **Biomasse** der **Sandgarnele** in 1993.
- Abbildung 4.47:* Verteilung der **Biomasse** und **Anzahl** der **Sandgarnele** auf den **Strata** des Standardstationsnetzes.
- Abbildung 4.48:* Verlauf der **Gesamtzahl** und der **Biomasse** der **Sandgrundel** in 1993.
- Abbildung 4.49:* Verteilung der **Biomasse** und **Anzahl** der **Sandgrundel** auf den **Strata** des Standardstationsnetzes.
- Abbildung 4.50:* Verteilung der **Biomasse** und **Anzahl** der **Sandgrundel** auf die **Altersklassen**.

- Abbildung 4.51:* Relative Häufigkeit der **Füllungsindizes** für 6 Fischarten.
- Abbildung 4.52:* **Anteile** der drei Gewichtsfractionen **des Mageninhalts**.
- Abbildung 4.53:* **Saisonalen Verlauf** des **Füllungsindex**.
- Abbildung 4.54:* **Verlauf der Gewichtsanteile** der Mageninhalte von Kabeljau, Wittling und Sandgrundel.
- Abbildung 4.55:* **Gewichtsanteile** von Sandgarnele und Grundeln **in den Einzelmägen des Kabeljau** über die Monate.
- Abbildung 4.56:* **Gewichtsanteile** von Sandgarnele und Grundeln **in den Einzelmägen des Wittlings** über die Monate.
- Abbildung 4.57:* **Gewichtsanteile** von Sandgarnele und Grundeln **in den Einzelmägen der Sandgrundel** über die Monate.
- Abbildung 4.58:* **Gewichte der drei Fraktionen** in den Mägen von **Kabeljau, Wittling und Sandgrundel**.
- Abbildung 4.59:* **Tagesgang** des **Füllungsindex** der **Wittlingsmägen** aus den 24-Stunden-Fischereien.
- Abbildung 4.60:* **Tagesgang** des **Füllungsindex** der **Kabeljaumägen** aus den 24-Stunden-Fischereien.
- Abbildung 4.61:* **Tagesgang** des **Füllungsindex** der **Sandgrundelmägen** aus den 24-Stunden-Fischereien.
- Abbildung 4.62:* Verhältnis von **Körperlänge** und **Nahrungszusammensetzung**.
- Abbildung 4.63:* Die **Längenverhältnisse** zwischen **Räuber** und **Beute**.
- Abbildung 4.64:* **Längen/Häufigkeits-Verteilungen** der in **Wittlingsmägen** gefundenen **Sandgarnelen** und **Sandgrundeln**.
- Abbildung 4.65:* **Längen/Häufigkeits-Verteilungen** der in **Kabeljaumägen** gefundenen **Sandgarnelen** und **Sandgrundeln**.
- Abbildung 4.66:* Vergleich **Längen** der **in den Mägen** von Kabeljau und Wittling gefundenen Garnelen und Grundeln mit dem jeweiligen **Längespektrum des Angebots** in der Sylt-Rømø-Bucht.
- Abbildung 4.67:* **Elektivitätsindizes** der **Längenklassen** von Garnele und Grundel in den Magen von Wittling und Kabeljau.
- Abbildung 4.68:* **Anpassungen** des Parameters „**mittleres Räubergewicht**“ zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.

- Abbildung 4.69:* **Anpassungen** des Parameters „**mittleres Mageninhaltsgewicht an Garnelen potenziert mit  $B$** “ zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.
- Abbildung 4.70:* **Anpassungen** des Parameters „**mittleres Mageninhaltsgewicht an Grundeln potenziert mit  $B$** “ zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.
- Abbildung 4.71:* **Abundanzabschätzungen** und deren **Anpassungen** zur Berechnung der Konsumtion von Kabeljau und Wittling.
- Abbildung 4.72:* **Saisonalen Verlauf der täglichen Garnelenkonsumtion** jeweils eines mittleren Kabeljau und Wittling für 1993.
- Abbildung 4.73:* **Saisonalen Verlauf der täglichen Grundelkonsumtion** jeweils eines mittleren Kabeljau und Wittling für 1993.
- Abbildung 4.74:* **Saisonalen Verlauf der Summe der täglichen Garnelenkonsumtion des Bestandes** des Kabeljau und des Wittlings der Sylt-Rømø-Bucht.
- Abbildung 4.75:* **Saisonalen Verlauf der Summe der täglichen Grundelkonsumtion des Bestandes** des Kabeljau und des Wittlings der Sylt-Rømø-Bucht.
- Abbildung 4.76:* Abundanzen des **Wittling** und des **Kabeljau** aus den Einzelfängen des **DYFS**.
- Abbildung 4.77:* Abundanzen der **Sandgarnele** und der **Sandgrundel** aus den Einzelfängen des **DYFS**.
- Abbildung 4.78:* Mittlere **Räuberabundanzen** und mittlere **Beuteabundanzen** aus dem Schleswig-Holsteinischen Teil des **DYFS**.
- Abbildung 4.79:* Mittlere **Räuberabundanzen** und mittlere **Beuteabundanzen** des jeweils **folgenden Frühjahrs** aus dem Schleswig-Holsteinischen Teil des **DYFS**.
- Abbildung 5.01:* Anteilige **Jahreskonsumtion durch Fische** an der **Sandgrundel** in der Sylt-Rømø-Bucht 1993.
- Abbildung 5.02:* Anteilige **Jahreskonsumtion durch Fische** an der **Sandgarnele** in der Sylt-Rømø-Bucht 1993.
- Abbildung 5.03:* Das "**Nahrungsdreieck**" Gadiden, Sandgrundeln und Sandgarnelen in der Sylt-Rømø-Bucht.
- Abbildung 5.04:* **Abundanzverhältnisse** zwischen herbstlichen Fängen von **Kabeljau und Wittling** einerseits und den Frühjahrsfängen der **Sandgrundel** andererseits.

- Table 3.01:* **Flächenaufteilung** des Untersuchungsgebiets.
- Table 3.02:* Daten und Orte der **24h-Fischereien**.
- Table 3.03:* **Flächenaufteilung** der gesamten Sylt-Rømø-Bucht.
- Table 3.04:* Bei der Berechnung der Konsumtion benutzte **Magenleerungsparameter**
- Table 4.01:* Liste der im Nordsylter Wattenmeer angetroffenen **Fischarten**
- Table 4.02:* Relative Bedeutung von **Tag, Nacht, Ebbe und Flut** für die Fänge von Wittling und Kabeljau.
- Table 4.03:* Verteilung der prozentualen Anteile des Einheitsfangs auf die unterschiedlichen **Tageszeit/Tiden-Kombinationen** in den Hamenfischerei.
- Table 4.04:* Mittlere **Länge**, mittleres **Gewicht**, **Zuwachs** und **Wachstumsrate** von **Wittling und Kabeljau** aus den 24-Stunden-Fischereien 1993.
- Table 4.05:* **Produktion** von **Kabeljau und Wittling**.
- Table 4.06:* **Produktion** der **Sandgarnele**.
- Table 4.07:* **Produktion** der **Altersklassen der Sandgrundel**.
- Table 4.08:* Anzahl und Anteil **leerer Mägen**.
- Table 4.09:* **Kenngrößen des Füllungsindex**.
- Table 4.10:* **Präsenz und Anzahlen** von **Sandgarnelen** in den Mägen.
- Table 4.11:* **Präsenz und Anzahlen** von **Grundeln** in den Mägen.
- Table 4.12:* Monatliche **Mittelwerte** des **Gewichts** der **Sandgarnelen-Fraktion** in den Mägen.
- Table 4.13:* Monatliche **Mittelwerte** des **Gewichts** der **Grundel-Fraktion** in den Mägen.
- Table 4.14:* **Elektivitäten** Nahrungskomponenten Garnelen und Grundeln in den Mägen von Wittling und Kabeljau
- Table 4.15:* Monats- und Jahressummen der **Konsumtion** der Einzelfische des **Kabeljau**.
- Table 4.16:* Monats- und Jahressummen der **Konsumtion** der Einzelfische des **Wittling**.
- Table 4.17:* Monats- und Jahressummen der **Konsumtion** des **Kabeljaubestands** der Sylt-Rømø-Bucht.
- Table 4.18:* Monats- und Jahressummen der **Konsumtion** des **Wittlingsbestands** der Sylt-Rømø-Bucht.

---

*Tabelle 4.19:* Monatssummen der **Konsumtion** (gestuftes Modell) von **Wittling und Kabeljau** ausgedrückt als **Prozentsatz** der **Biomasse der Beuteorganismen**.

*Tabelle 4.20:* Monatssummen der **Konsumtion** (geglättetes Modell) von **Wittling und Kabeljau** ausgedrückt als **Prozentsatz** der **Biomasse der Beuteorganismen**.

*Tabelle 4.21:* Monatssummen der **Konsumtion** (geglättetes Modell) von **Wittling und Kabeljau** ausgedrückt als **Prozentsatz** der **Produktion der Beuteorganismen**.

*Tabelle 5.01:* **Vergleich** der in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffenen **Schollen-Abundanzen** mit anderen Untersuchungen.

*Tabelle 5.02:* **Vergleich** der in der Sylt-Rømø-Bucht angetroffenen **Abundanzen von Sandgarnele und Sandgrundel** mit Werten aus verschiedenen Untersuchungen im Watt und anderen Küstengebieten.

*Tabelle 5.03:* Anteile von **Garnelen und Grundeln in den Mägen** aus **verschiedenen Untersuchungen** im Vergleich.

*Tabelle 5.04:* **Vergleich** der mit verschiedenen Methoden für die Sylt-Rømø-Bucht berechneten **Jahreskonsumtionen an Sandgarnelen durch die Sandgrundeln**.

## 8 Danksagung

An den Beginn der Danksagung möchte ich den Geldgeber stellen, also den steuerzahlenden Teil der deutschen Bevölkerung, der - vermittelt durch das BMBF - den Rahmen, in dem diese Untersuchung entstand, mit nicht unerheblichen Beträgen finanzierte. Ich hoffe, daß wir als Mitarbeiter der diversen Projekte, etwas davon zurückgeben konnten, sei es in Form von wissenschaftlichem Erkenntnisgewinn über die uns allen anvertraute Mitwelt, sei es in den Antworten an zahllose interessierte Urlauber, die auf Sylt unweigerlich auftauchen, wenn man mit dem Schiebehaken in Strandnähe fischt oder im Lister Hafen an Bord noch Fänge sortiert und vermißt: "Und die Fische, tun Sie die dann wieder ins Wasser, wenn Sie die ausgeforscht haben?" "Sicher! Irgendwie kommen die alle zurück ins Meer". Ökosystemforschung lehrt: Kreisläufe können eben kürzer oder länger sein.

Für die Betreuung der Arbeit und Anregungen zu ihrem Verlauf möchte ich mich bei meinen "Doktorvätern" Prof. Dr. W. Nellen und Prof. Dr. A. Temming bedanken. Letzterer hatte sicherlich den größeren Betreuungsaufwand, obgleich er eigentlich mit seiner Stelle am IHF nur eine "Erblast" übernommen hatte. Vielen Dank.

Diese Untersuchung hat ihre Basis in einer Menge fischereiwissenschaftlicher Feldarbeit mit Booten, Netzen und anderem schweren Gerät, das nur als eingespieltes Team erfolgreich benutzt werden kann. Von diesem Team gilt mein Dank an erster Stelle Jens-Peter Herrmann, der fast immer dabei war und in verschiedenen Rollen von "Kutter-Kapitän" bis "Fisch-Meßknecht" viel mitmachen mußte, obwohl der Schwerpunkt seiner eigenen Arbeit eigentlich auf der experimentellen Seite des Teilprojekts lag, dem Teil, aus dem die Verdauungsraten kommen. Bei der gemeinsamen Arbeit und in aufsummiert fast einem Jahr "Wohncontainer-Leben" im Feld lernt man sich entweder hassen oder schätzen; ich darf sagen, ich schätze ihn. Gleich daneben seien aber unsere guten Geister, die Technischen Assistentinnen des Projekts, erwähnt, die unbeeindruckt von "unmöglichen" Arbeitszeiten und -umständen in jedem Schlickloch und bei fast jedem Wetter an Bord "ihren Mann standen". Ohne ihren Einsatz, der häufig über das arbeitsrechtlich und versicherungstechnisch Abgedeckte hinausging, wäre dieses ganze Projekt nicht möglich gewesen (Jeden, der das bezweifelt, bitte ich auch nur eine 24h-Fischerei unter Berücksichtigung des geltenden Arbeitsrechts für den öffentlichen Dienst zu organisieren). In alphabetischer Reihenfolge sind zu nennen: Gitta Hemken, Sigi Heye, Angela Kahl und Andrea Schneider. Dazu kommen diverse studentische Hilfskräfte, die während der Feldarbeit mithalfen, besonders fallen mir hier Sven Oesmann, Birthe Grätz und Meike Schmanns ein.

Des weiteren möchte ich danken: den Besatzungen von FK"Mya" für die Februarbefischungen und FS"Heincke" für die Hamenfischereien auf Ankerstation im Lister Tief (ich kenne nicht viele, die es gelassen hinnehmen, wenn man ihre Schiffe von der Back über die Brücke bis zum Heck mit Kabeln für eine mitgebrachte Lotanlage durchzieht, die dann auch mit bordeigenen Geräten interferiert); Dr. Th. Neudecker von der Bundesforschungsanstalt für Fischerei (BFA-Fi) für die Überlassung der Rohdaten aus dem DYFS und einigen Hinweisen zur Beachtung bei deren Auswertung; Dr. habil. C. Hammer von der BFA-Fi für Kommentare zum Manuskript und für einige hilfreiche Tritte; Herrn Dr. Hubold für die Gastfreundschaft an der BFA-Fi, die sich in Büro und Rechner zum Zusammenschreiben materialisierte; den ehemaligen Kollegen für erinnernswerte Jahre am IHF, den jetzigen Kollegen für Unterstützung, Zuspruch und einen geregelten Tagesablauf; meiner Familie und meinem Bekanntenkreis für die Geduld und Rücksicht und schließlich all jenen, die sich zu unrecht nicht in der Danksagung erwähnt finden für die Nachsicht, mit der sie mir das nicht übelnehmen.

- 
- 06.09.1963                      Geburt.
- 1969 - 1973                    Besuch der Grundschule in Hamburg.
- 1973 - 1982                    Besuch des Gymnasiums in Hamburg, Erwerb der allg. Hochschulreife.
- Sommersem. 1983              Beginn eines Biologiestudiums an der Universität Hamburg.
- 1985                              Vordiplom; Eintritt in das Hauptstudium ;  
Hauptfach: Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft,  
Nebenfächer: Zoologie und Mikrobiologie.
- 1985 - 1989                    Mehrere mehrwöchige Seereisen als studentische Hilfskraft u.a. auf FS“Friederich Heincke“, FS“Valdivia“, FS“Anton Dohrn“, FS“Walter HerwigII“, FS“Solea“.
- 1986/1987                      Einjähriges Auslandsstudium am University College of North Wales in Bangor GB; Masters Courses in Marine Biology and Zoology.
- 1990/1991                      Abschluß des Biologiestudiums an der Universität Hamburg mit der Diplomprüfung und der Diplomarbeit mit dem Thema "MIKROSTRUKTURUNTERSUCHUNGEN AN OTOLITHEN DES EUROPÄISCHEN AALS (*ANGUILLA ANGUILLA*, L.)", Anleitung Prof. Dr. E. Braum.
- 1991 - 1995                    Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Hamburg in der BMFT-finanzierten "Ökosystemforschung schleswig-holsteinisches Wattenmeer" (Teil B, "SYLTER WATTENMEER AUSTAUSCHPROZESSE") im Teilprojekt: „QUANTITATIVE UNTERSUCHUNGEN VON BIOMASSE, WANDERUNGEN UND KONSUMTION DER FISCHE UND DEKAPODEN KREBSE IM SYLTER WATTENMEER“.
- 1995-1997                    Mehrere kürzere Arbeitsverträge am Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg. Erstellung eines Projektantrags für die EU.
- 1997-1999                    Wiss. Mitarbeiter der Universität Hamburg. Bearbeitung und Koordination der EU-Finanzierten Studie „INTERRELATIONSHIPS BETWEEN THE BROWN SHRIMP POPULATION AND THE MULTINATIONAL BROWN SHRIMP FISHERY WITH EMPHASIS ON RECENT CHANGES IN THE POPULATION STRUCTURE“ (DG-XIV Study 96/007) in Zusammenarbeit mit dem Rijksinstituut voor Visserijonderzoek (NL);  
Mitarbeit in der "Working-Group on *Crangon* Fisheries and Life History" des Internationalen Rates für Meeresforschung (ICES).
- 2000-2002                    Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Seefischerei der Bundesforschungsanstalt für Fischerei in der EU-finanzierten Studie "HERRING SURVEYS IN THE NORTH SEA AND WEST OF SCOTLAND, HERSUR II" (DG-XVI Study 99/006 );  
Mitarbeit in der "Preparation-Group for Herring Surveys" (PGHERS) des ICES.