

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Masterstudiengang marine Umweltwissenschaften

Masterarbeit

Meso- und Mikrozooplanktonuntersuchungen im Benguela-Auftriebsgebiet vor Namibia - Zusammensetzung und Abundanz in Relation zu abiotischen Parametern

Angefertigt am
Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften
der Universität Hamburg.

vorgelegt von

Anja Müller
geboren am: 21.08.1987

Betreuender Gutachter

Prof. Dr. Helmut Hillebrand

Zweiter Gutachter

Dr. Rolf Koppelman

Oldenburg, den 22.04.2013

Abstract

Zooplankton plays a key role in the marine food web, due to its function of energy transfer between trophic levels. Abiotic conditions influence the composition and abundance of zooplankton, hence, it is possible to use zooplankton as bioindicators. The region of the Benguela Current is influenced by upwelled eutrophic deep water throughout the year and is known as one of the most productive regions of the oceans with high abundance of fish. Samples of micro- and mesozooplankton and also of micronekton were collected on the Kunene Transect (Namibia), leading from the coast into the open sea, in February 2011. At the time of sampling during austral summer, the upwelling conditions were moderate, caused by the movement of the Benguela-Angola-Front to the south. Due to this displacement of water, less nutrients were available for the plankton organisms and the composition of plankton shifts from larger to smaller organisms. In this study, the highest abundance of mikrozooplankton were measured in the oceanic (offshore) station in the surface layer and counts more than 2 mio. ind./m³. With increasing depth the abundance of mikrozooplankton decrease, except on the shelf and the shelf break. The highest abundances of mesozooplankton were measured on the shelf station with 2285 Ind/m³ in surface water. At depth over 250 m were shown a new increase of abundance of the mesozooplankton and also in micronekton, at higher depth (>600 m) the abundance decrease. The highest abundance of micronekton were measured at the slope station in depth of 400-500 m and counts ~29 Ind./m³. The most abundant groups in this study were Dinoflagellata, Ciliophora, Radiolaria, Larvae, Crustacea and Chaetognatha. Crustacea were abundant in all investigated size groups (micro- mesozooplankton and mikronekton). Mesozooplankton and Micronekton decline in abundance at the beginning of the oxygen minimum layer (between 100-400 m) at all stations. Using a CTD (Conductivity, Temperatur and Depth) probe, abiotic conditions were measured. From the shelf region to the open ocean. the sea surface temperature increased with increasing distance from the coast, salinity decreased with increasing depth. Furthermore the concentration of oxygen at depth of 850 m increases and indicates the intrusion of Antarctic Intermediate Water (AAIW). Due to the increased sea surface temperatures and a lowering of the 14°C isotherm to depth of 100 m, it is assumed that a Benguela-Niño was present during the

time of sampling. This phenomenon (El Niño) is known for the coastal regions of Ecuador and Peru, it occurs every 3-10 years at Christmas time and is shown by a unusual warming of the coastal water. Also, it influenced the composition and abundance of plankton and created weather anomalies.

Zusammenfassung

Zooplankton nimmt durch seine Funktion als Energieübermittler zwischen den Trophiestufen eine Schlüsselposition im marinen Nahrungsnetz ein. Durch abiotische Einflüsse kann sich die Zusammensetzung und Abundanz des Zooplanktons verändern und dieses somit als Bioindikator genutzt werden. Das Benguela-Auftriebsgebiet wird ganzjährig durch nährstoffreiches Tiefenwasser gespeist und zählt zu den produktivsten und fischreichsten Regionen unserer Ozeane. Auf einem Transekt vor der Kunene-Mündung (Namibia) vom Schelf bis in den offenen Ozean wurden im Februar 2011 Proben des Mikro- und Mesozooplanktons, so wie des Mikronektons gesammelt. Zum Zeitpunkt der Probenahme im Südsommer lag ein reduzierter Auftrieb vor, da zu dieser Zeit eine Verschiebung der Benguela-Angola-Front nach Süden erfolgte. Hierdurch stehen den Planktonorganismen weniger Nährstoffe zur Verfügung und es kommt zu einem Wechsel der Zusammensetzung hin zu kleineren Organismen. In dieser Arbeit konnte die höchste Abundanz mit über 2 Mio. Ind./m³ des Mikrozooplanktons im oberen Tiefenintervall der Station Ozeanisch (küstenfern) festgestellt werden. Es erfolgte mit zunehmender Tiefe eine Abnahme der Mikrozooplankton-Abundanz, mit Ausnahme auf dem Schelf und an der Schelfkante. Die höchste Abundanz mit 2285 Ind./m³ des Mesozooplanktons konnte im oberen Tiefenintervall der Schelfstation vorgefunden werden. In Tiefen größer als 250 m konnte eine erneute Zunahme der Mesozooplankton- und Mikronektonabundanzen festgestellt werden, nach 600 m Tiefe nahmen die Abundanzen erneut ab. Im Mikronekton betrug die höchste Abundanz ~29 Ind./m³ in einer Tiefe von 400-600 m an der Station Hang. In allen übrigen Stationen wurden die höchsten Abundanzen des Mikronektons in 25-50 m Tiefe vorgefunden. Die abundantesten Gruppen dieser Arbeit waren Dinoflagellata, Ciliophora, Radiolaria, "Larvenstadien", Crustacea und Chaetognatha. Die Crustacea waren in allen Größenklassen (Mikro/Mesozooplankton und –Mikronekton) am häufigsten vertreten. Die Abundanzen des Mesozooplanktons und Mikronektons kennzeichneten durch ihre Abnahme den Beginn der Sauerstoffminimumzone (ca. 100 m) an den Stationen. Mit Hilfe einer CTD (engl. *Conductivity, Temperatur and Depth*)-Sonde wurden die abiotischen Parameter im Untersuchungsgebiet gemessen. Vom Schelf bis in den offenen Ozean konnte somit eine Zunahme der Oberflächentemperatur festgestellt werden, die Salinität nahm

mit der Tiefe ab. Zudem konnte in Tiefen von 800 m eine Zunahme der Sauerstoffkonzentrationen festgestellt werden, die den Einfluss von antarktischem Zwischenwasser kennzeichnet. Durch ein Absinken der 14°C-Isotherme in einer Tiefe über 100 m wurde außerdem ein Benguela-Niño-Phänomen vermutet. Dieses Phänomen (El Niño) ist für die Küstengewässer Ecuadors und Perus bekannt, dort zeigt es sich etwa alle 3-10 Jahre durch eine Erwärmung des Küstenwassers. Zudem führt es zu Veränderungen der Planktongemeinschaften und Wetteranomalien.

Inhaltsverzeichnis

ABSTRACT	I
ZUSAMMENFASSUNG	III
INHALTSVERZEICHNIS	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
TABELLENVERZEICHNIS	IX
1 EINLEITUNG	1
1.1 Auftriebsgebiet.....	4
1.2 Untersuchungsgebiet.....	7
1.3 Fragestellung.....	9
2 MATERIAL UND METHODEN	11
2.1 Standorte.....	11
2.2 Probenentnahme und Bearbeitung	12
2.2.1 Hydrographie	12
2.2.2 Mikrozooplankton	13
2.2.3 Mesozooplankton und Mikronekton.....	14
2.2.4 Auswertung der Mikro- und Mesozooplankton/Mikronektonproben.....	16
2.2.5 Taxonomie	18
3 ERGEBNISSE	22
3.1 Hydrographie.....	22
3.2 Abundanz	27
3.2.1 Autotrophe Organismen	29
3.2.2 Mikrozooplankton	31
3.2.3 Zusammensetzung des Mikrozooplanktons.....	32
3.2.4 Mesozooplankton und Mikronekton.....	47
3.2.5 Zusammensetzung des Mesozooplanktons und Mikronektons.....	49
4 DISKUSSION	61
4.1 Charakterisierung der abiotischen Faktoren	64
4.2 Autotrophe Organismen.....	67

4.3	Abundanz, Zusammensetzung und Verteilung des Zooplanktons und Nektons	68
4.3.1	Tiefenverteilung und die Sauerstoffminimumzone	74
4.4	Klimatischer Ausblick	76
4.5	Methodenkritik	79
4.6	Fazit	80
5	DANKSAGUNG	82
6	REFERENZEN	83
6.1	Bilder	91

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Nahrungsnetz. Verknüpfung des klassischen Nahrungskette mit der mikrobiellen Schleife [Modifiziert nach Barber (2007; Internetquelle 1)]	3
Abb. 2:	Ekman-Spirale [Modifiziert nach Ekman (1905)].....	6
Abb. 3:	Ekman-Drift [Wright A.(2011; Internetquelle 2)]	6
Abb. 4:	Benguela-Strömungssystem vor Namibia, Angola und Südafrika [Modifiziert nach Shanon and O´Toole (2003)].....	8
Abb. 5:	Beprobte Stationen auf dem Kunene-Transekt vor der Küste Namibias.....	11
Abb. 6:	CTD Rosette am Kran vor dem zu Wasser lassen [Modifiziert nach André Eckhardt (2013; Internetquelle 3)].....	12
Abb. 7:	Multischließnetz [Modifiziert nach André Eckhardt (2013; Internetquelle 3)]	13
Abb. 8:	MOCNESS am Kran [Modifiziert nach Dr. Volker Morholz (2013; Internetquelle 3)]	15
Abb. 9:	Hydrographie und Abundanz.....	26
Abb. 10:	Zusammensetzung der Ochrophyta	30
Abb. 11:	Zusammensetzung des Mikrozooplanktons.....	34
Abb. 12:	Zusammensetzung der Dinoflagellata (Mikrozooplankton)	36
Abb. 13:	Zusammensetzung der Ciliophora (Mikrozooplankton).....	38
Abb. 14:	Zusammensetzung der Radiolaria (Mikrozooplankton).....	40
Abb. 15:	Zusammensetzung der Larvenstadien (Mikrozooplankton)	42
Abb. 16:	Zusammensetzung der Crustacea (Mikrozooplankton)	44
Abb. 17:	Verhältnis der Exuvien zu lebenden Copepoda (Mikrozooplankton).....	46

Abb. 18:	Relative Zusammensetzung des Mesozooplanktons und Mikronektons.....	51
Abb. 19:	Zusammensetzung der Crustacea (Mesozooplankton und Mikronekton)	54
Abb. 20:	Zusammensetzung des Restes (Mesozooplankton und Mikronekton)	57
Abb. 21:	Verhältnis der Exuvien zu lebenden Copepoda (Mesozooplankton und Mikronekton)	59
Abb. 22:	Satelliten Aufnahme der Chlorophyll a Konzentration [Modifiziert nach Martin <i>et al.</i> (in prep.)]	62
Abb. 23:	Chlorophyll-a Konzentration [Modifiziert nach Martin <i>et al.</i> (in prep.)]	64
Abb. 24:	Verteilung des Mikro-/Mesozooplanktons und Mikronektons	70
Abb. 25:	Veränderung der Lebensgemeinschaft durch den Klimawandel und den Eingriff des Menschen.....	79

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Probenahmedaten	17
Tab. 2:	Systematische Eingliederung der einzelligen Organismen.....	20
Tab. 3:	Systematische Eingliederung der mehrzelligen Organismen	21
Tab. 4:	Sauerstoffgehalte.....	25
Tab. 5:	Vorkommen der autotrophen Organismen, sowie der Hauptgruppen des Mikro- und Mesozooplanktons und Mikronekton	27
Tab. 6:	Ergebnisse der Indices für die Gruppe Ochrophyta.....	31
Tab. 7:	Ergebnisse der Indices für die Gruppe Dinoflagellata (Mikrozooplankton).....	37
Tab. 8:	Ergebnisse der Indices für die Gruppe Ciliophora (Mikrozooplankton).....	39
Tab. 9:	Ergebnisse der Indices für die Gruppe Radiolaria (Mikrozooplankton).....	41
Tab. 10:	Ergebnisse der Indices für die Gruppe Crustacea (Mikrozooplankton).....	45
Tab. 11:	Ergebnisse der Indices für die Gruppe Crustacea des Mesozooplanktons und Mikronektons	55

1 Einleitung

Plankton spielt in der marinen Lebensgemeinschaft sowohl als Primärproduzent wie auch als Primärkonsument eine wichtige Rolle (Sommer, 1998, S. 133ff). Es umfasst ein- bis mehrzellige Organismen die einer autotrophen, heterotrophen oder mixotrophen Lebensweise folgen und die sich nicht aktiv gegen Strömungen im Wasserkörper fortbewegen können im Gegensatz zum Nekton. Sich autotroph ernährende Organismen werden zum Phytoplankton gezählt. Dem Zooplankton werden heterotrophe und mixotrophe Ein- und Mehrzeller zugeordnet. Für die weitere Gliederung werden die Organismen in Größenklassen unterteilt. So zählen Organismengruppen mit Größen von 20-200 μm zum Mikroplankton und Gruppen mit einer Größe von 200-2000 μm zum Mesoplankton (Calbet, 2008), Organismen größer als 2 cm werden dem Mikronekton zugeordnet (Sieburth *et al.*, 1978). Zusätzlich zur Einteilung in Größenklassen kann das Zooplankton auch nach seiner Lebensweise in Holo- oder Meroplankton unterschieden werden. Zum Holoplankton zählen Organismen, die ihr ganzes Leben das Plankton besiedeln, das Meroplankton hingegen wird von Organismen gebildet die nur einen Teil ihres Lebenszyklus im Plankton verbringen (Sommer, 1998, S. 158). Der Übergang zwischen Plankton und Nekton ist fließend, so können viele kleinere Organismen des Nektons gegen schwache Strömungen anschwimmen, jedoch nicht gegen starke Strömungen (Sommer, 1998, S. 134).

Im marinen Nahrungsnetz nimmt Zooplankton eine Schlüsselposition ein, da es Energie niedriger Trophieniveaus (Primärproduzenten) an höhere trophische Ebenen (Konsumenten wie z.B. das Nekton) weiterleitet (Lalli & Parsons, 1997). Diese besondere Stellung ermöglicht es, Zooplankton als vielfältigen Bioindikator zu nutzen. So lassen sich z.B. durch Abundanz-, Komposition- und Diversitätsforschungen Aussagen über den Zustand eines Gewässers treffen (Bednarski & Morales-Ramírez, 2004). Weiter können sogar Hypothesen über die Einflüsse und Auswirkungen des Klimawandels aufgestellt werden, da Bioindikatoren mit bestimmten Umweltverhältnissen korreliert sind (Bednarski & Morales-Ramirez, 2004).

Mikro- wie auch Mesozooplankton hat direkten Einfluss auf die Bestände des Nanoplanktons (vorwiegend Phytoplankter in der Größenklasse 2-20 μm), jedoch bevorzugen viele Organismen des Mesozooplanktons/Mikronektons größeres Mikrozooplank-

ton als primäre Nahrungsquelle (Calbet & Landry, 1999). Somit übernimmt das Mikrozooplankton im Nahrungsnetz die Position als Hauptkonsument des Phytoplanktons. Der durchschnittliche Verbrauch des Mikrozooplanktons an der partikulären Primärproduktion beträgt etwa 75%, dies entspricht etwa der Hälfte der Phytoplanktonbiomasse pro Tag (Calbet, 2008). Desweiteren stellt Mikrozooplankton eine Schlüsselkomponente in der Verknüpfung des klassischen Nahrungsnetzes mit der mikrobiellen Schleife dar (Calbet, 2008). Die Organismen des Mikrozooplanktons bedienen sich zwar vorwiegend vom Nanoplankton als Nahrungsquelle, bei reduzierten Phytoplanktonbeständen, können sie sich jedoch auch vom Picoplankton (vorwiegend Bakterien und kleinste Phytoplankter, Größen zwischen 0,2-2 µm) ernähren und regulieren somit deren Bestände (Godhantaraman & Uye, 2001; Abb. 1).

Die mikrobielle Schleife wird durch Bakterien angetrieben, welche sich vorwiegend von gelösten organischen Substanzen (DOC (dissolved organic carbon)) ernähren. Mittels der Verwertung von gelöster org. Substanz (z.B. abgestorbenen Organismen oder deren Ausscheidungsprodukte) durch das Picoplankton werden Nährstoffe (z.B. NO_3 , PO_4) und Kohlenstoffverbindungen für höhere Trophiestufen (Phyto- und Zooplankton) wieder zugänglich (Abb. 1). Somit spielt das bakterielle Plankton eine wichtige Rolle im Nahrungs- und Kohlenstoffkreislauf (Sommer, 1998 .S.192). Der mikrobielle Abbau der herabsinkenden Materie (DOC) trägt jedoch auch einen großen Anteil zur Sauerstoffzehrung in den Ozeanen bei und führt z.B. in Auftriebsgebieten, zur Ausbildung einer Sauerstoffminimumzone (SMZ).

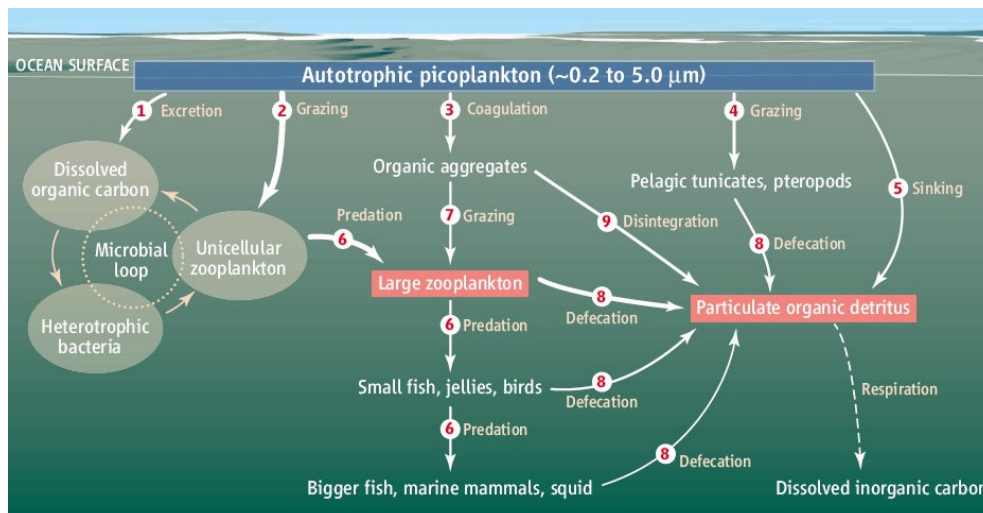


Abbildung 1: Nahrungsnetz. Verknüpfung der klassischen Nahrungskette mit der mikrobiellen Schleife (links). 1. Exkretionen werden von Bakterien (Picoplankton) abgebaut, welche wiederum von kleinen Zooplanktern gefressen werden, ebenso wird autotrophes Picoplankton (bei Aggregat-Bildung) auch von größeren Zooplanktern direkt abgegrast (2,7,4). Pfad 6 zeigt wie kleine Zooplankter von größeren Zooplanktern gefressen werden und diese wiederum der Prädation durch Fischen, Quallen und weiteren unterliegen. Modifiziert nach Barber (2007; Internetquelle 1).

In dieser Arbeit wird speziell das Gebiet des Benguelastroms untersucht, welcher bei hohem Nährstoffvorkommen vor allem von Diatomeen (Phytoplankton) besiedelt wird. Diese bilden, besonders für heterotrophe Dinoflagellaten (Mikrozooplankton), wie z.B. *Prorocentrum* spp. eine bedeutende Nahrungsgrundlage (Calbet, 2008). Bei geringem Nährstoffangebot dominieren hingegen autotrophe Dinoflagellaten das Phytoplankton, welche wiederum vielen weiteren Mikrozooplanktern als Nahrungsquelle dienen. Zu den wichtigsten Vertretern des Mikrozooplanktons zählen Organismen der Taxa Ciliophora (besonders die Gruppe Tintinnida), Radiolaria, Dinoflagellata (heterotrophe und mixotrophe Arten), Foraminifera, meroplanktische Larven und marine Copepoden (Calbet & Alcaraz, k.A.).

Die Arten der Gruppe Copepoda stellen einen Übergang zwischen Mikro- und Mesozooplankton dar. Während das Mikrozooplankton vor allem aus kleinen Copepoden wie z.B. *Oithona* spp. besteht und viele juvenile Copepoden beinhaltet, setzt sich das Mesozooplankton vorwiegend aus adulten und größeren Calanoida-Arten zusammen. Da Mesozooplankton/Mikronekton generell längere Entwicklungszeiten, als das Mikrozooplankton besitzt, ist es schlechter an das schwankende Nahrungsangebot, welches vor

allem für Auftriebsgebiete charakteristisch ist, angepasst (Landry & Calbet, 2004). Um einen effizienten Konsum des Phytoplanktons gewährleisten zu können müssen Konsumenten in hohen Abundanzen und zeitlich korreliert mit dem Phytoplankton auftreten. Dies wird durch kurze Entwicklungszeiten des Mikrozooplanktons gewährleistet und unterstreicht deren Position als Kontrollfaktor der Phytoplanktonpopulationen. Zudem liefert dies eine Erklärung für die Bevorzugung von Mikrozooplankton als primäre Nahrungsquelle des Mesozooplanktons. Ein weiterer Grund könnten Unterschiede der Fettsäuremuster sein. Viele Phytoplankter besitzen verschiedene Nährwerte und beeinflussen darüber die Fraßaktivität des Zooplanktons (Cottonnec *et al.*, 2011). Zudem können viele Copepoda durch Aufnahme verschiedener Fettsäuren ihr Wachstum und die Eiproduktion regulieren (Veloza *et al.*, 2005).

Das Mesozooplankton und Mikronekton besteht vorwiegend aus Organismen des Taxons Crustacea. Im Mesozooplankton treten vor allem die Gruppe Copepoda, sowie meroplanktischen Larven und weitere Holoplankter auf. Das Mikronekton besteht zudem aus größeren Individuen der Gruppe Mollusca und Fischlarven. Das Mesozooplankton und Mikronekton stellen wiederum ein bedeutendes Nahrungsangebot für juvenile, wie auch adulte Fische dar, welche wiederum als wichtige Nahrungsquelle für die menschliche Ernährung dienen und sind somit von besonderer Bedeutung (Bednarski & Morales-Ramírez, 2004).

1.1 Auftriebsgebiet

Auftriebsgebiete zählen zu den produktivsten und fischreichsten Regionen der Ozeane. Sie liefern etwa 20% des kommerziell gefangenen Fisches, bei nur 0,1%-igem Flächenanteil der Weltmeere (Pauly & Christensen, 1995). Diese erhöhte Produktivität lässt sich durch eine Anreicherung von aufsteigendem Tiefenwasser mit Nährstoffen wie Phosphat (PO_4), Silikat (SiO_4), Nitrat (NO_3) und Kohlenstoffdioxid (CO_2), welche für viele Phytoplankter von besonderer Bedeutung sind, erklären (Fiedler *et al.*, 1991). In der euphotischen Zone kommt es durch das hohe Nährstoffangebot zu starken Phytoplanktonblüten (Primärproduktion), welche wiederum zu Zooplanktonblüten führen und damit ein reiches Nahrungsangebot für höhere Trophiestufen (Konsumenten) liefern (Iitembu *et al.*, 2012).

Ozeane sind keine stabil geschichteten Ökosysteme, viel mehr zirkulieren die Wassermassen der Meere und stehen im ständigen Austausch miteinander. Durch Druckunterschiede angetrieben, entstehen Meeresströmungen. Verdunstung und Ausfrieren sorgen für eine Anreicherung des Wassers mit Salz, dies ist schwerer als salzarmes Wasser und besitzt eine höhere Dichte. Ebenso spielt die Temperatur für die Dichte eine wichtige Rolle. Wassermassen eines hohen Dichtegrades sinken ab, leichteres Wasser steigt auf. Diese Mechanismen sorgen für den Antrieb der thermohalinen Zirkulation, welche für die Verteilung von Wärme und Nährstoffen sorgt (Baldenhofer & Marschall, 2012).

Kalte Meeresströmungen haben ihren Ursprung im Zirkumpolarstrom der Antarktis (Ausgangspunkt der thermohalinen Zirkulation) und bewegen sich vorwiegend in großen Tiefen, während warme Meeresströmungen überwiegend an den Oberflächen unserer Ozeane zu finden sind (Baldenhofer & Marschall, 2012). Jedoch kann in so genannten Auftriebsphänomenen (engl. Upwelling) kaltes Tiefenwasser an die Oberfläche gelangen. Zum ersten Mal wurde dieses Phänomen vom schwedischen Physiker Vagn Walfrid Ekman untersucht (Ekman, 1905). Dieser suchte zunächst eine Begründung für die von Fridtjof Nansen bei seiner Polarexpedition in den 1890er Jahren beobachteten Drift von Eismassen. Diese bewegten sich in einem Winkel von 20-40° versetzt zur Windrichtung. Wind spielt für die Verdriftung von an der Oberfläche befindlicher Materie eine entscheidende Rolle, da er die Oberflächenmeeresströmungen antreibt. Eine Erklärung des beobachteten Phänomens lieferte Ekman, 1905 mit Hilfe der nach ihm benannten Ekman-Spirale. Dieses Modell beschreibt die Tiefenabhängigkeit von Wasserbewegungen im Meer (Baldenhofer & Marschall, 2012). An der Oberfläche verschiebt der Wind das Oberflächenwasser horizontal, jedoch wird die Bewegung von der Corioliskraft 45°, je nach Nord- oder Südhalbkugel, nach rechts bzw. links abgelenkt. Durch Reibungskräfte nimmt dieser Winkel mit steigender Tiefe gleichförmig ab und ergibt letztendlich die Form einer Spirale (Ekman, 1905; Abb. 2).

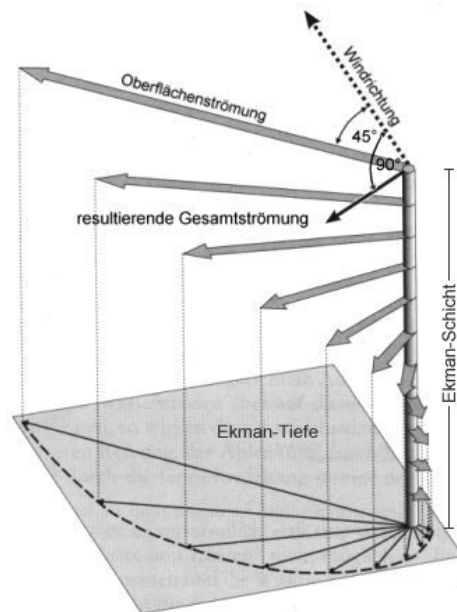


Abbildung 2: Ekman-Spirale: Durch die Corioliskraft wird das Oberflächenwasser um 45° zur Windrichtung abgelenkt. Mit Zunahme der Ekman-Tiefe nimmt die resultierende Gesamtströmung ab und somit der Einfluss auf verdriftende Materie. Modifiziert nach Ekman (1905).

Liegt nun ein küstenparallel gerichteter Wind vor, wird das Oberflächenwasser im 90° Winkel von der Küste abgelenkt und gibt dem schwereren Tiefenwasser die Möglichkeit an die Oberfläche nach zu strömen (Ekman-Drift; Abb. 3; Baldenhofer & Marschall, 2012).

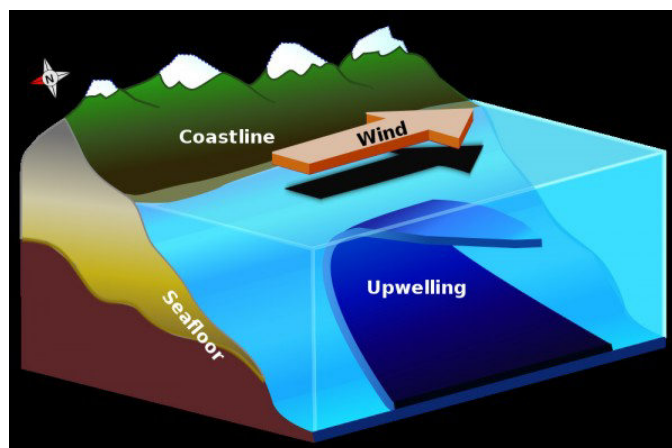


Abbildung 3: Ekman-Drift. Küstenparallel gerichtete Winde sorgen für eine Ablenkung des Oberflächenwassers um 90° von der Küste (Summation der Bewegungen (Ekman-Spirale) im Wasserkörper) und ermöglichen es somit dem Tiefenwasser an die Oberfläche nachzuströmen. Wright A (2011; Internetquelle 2).

Die Wassertemperatur beträgt im Auftriebsgebiet etwa 8°C weniger als die normale Oberflächentemperatur eines Gebietes und die Aufstiegsgeschwindigkeit von Tiefenwasser liegt weit unter der Fließgeschwindigkeit der Meeresströmungen (Baldenhofer & Marschall, 2012). Aufgrund dieser Trägheit und der Abhängigkeit von Windrichtung bzw. Stärke, ergibt sich, dass Auftriebsgebiete sehr variable Ökosysteme sind, in denen die physikalischen, biologischen und chemischen Gegebenheiten kontinuierlich wechseln (Nelson & Hutschings, 1983). Diese Diskontinuität begünstigt hohe Abundanz, bei relativ geringer Diversität (Sakko, 1998). Häufig setzen sich die hohen Biomassen dieser Gebiete nur aus wenigen unspezialisierten Arten (Generalisten) zusammen.

Die bereits erwähnten Sauerstoffminimumzonen (SMZ) zeichnen sich durch einen Sauerstoffgehalt von weniger als 45 µmol/L (1ml/L) aus (Loick *et al.*, 2005). Lässt der Abbauprozess nach, kann ein Anstieg der Sauerstoffkonzentration folgen. Die Sauerstoffzufuhr der SMZ erfolgt lediglich durch vertikale und horizontale Diffusion, sowie durch aufsteigendes Wasser (Levin, 2003). Gelangt Wasser der SMZ durch Aufstieg zurück ins Oberflächenwasser, wird dieser Vorgang als Rückkopplung bezeichnet und die in ihm gelösten Nährstoffe stehen dem Plankton erneut zur Verfügung.

1.2 Untersuchungsgebiet

Die namibische Küste erstreckt sich von Südsüdost nach Nordnordwest über eine Länge von 1500 km (Carter, 2011). Namibia (17,87°-29,98°S; 12°-25°O) selbst ist ein Staat im Süden Afrikas und wird durch die Staaten Angola, Sambia, Botswana und Südafrika begrenzt.

Das Klima Namibias zeichnet sich durch wenig Niederschlag und einer hohen Verdunstungsrate aus (arides Klima; Sakko, 1998). Die Westküste Südafrikas und Namibias bilden die östliche Grenze des kalten Benguelastroms, durch den es an Land zu starker Bodennebelbildung kommen kann. Der Benguelastrom ist der einzige östliche Kontinentalstrom der im Norden (Angola-Benguela-Front), wie im Süden (Agulhas-Strom) durch warmes tropisches Wasser begrenzt wird (Carter, 2011) (Abb. 4). Des Weiteren zählt der Benguelastrom zu den vier größten östlichen

Kontinentalströmungssystemen unserer Ozeane (Sakko, 1998). Namibia wird im Norden durch den Kunene River vom Staat Angola abgegrenzt und im Süden vom Staat Südafrika durch den Orange River (Süßwassereintrag). Die Oberflächenströmung des Benguelastroms ist allgemein äquatorwärts gerichtet, tiefere Schichten (unter 100 m) bewegen sich hingegen polwärts (Carter, 2011).

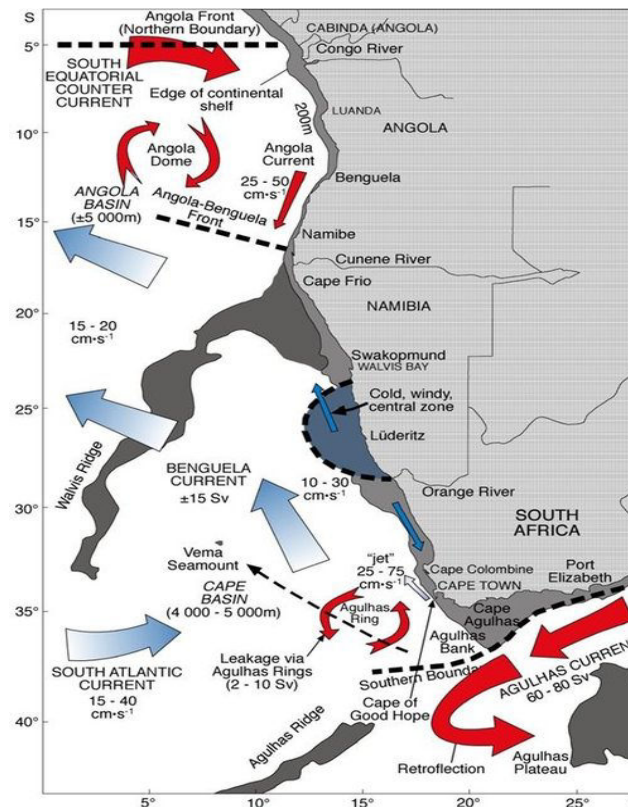


Abbildung 4: Benguela-Strömungssystem vor Namibia, Angola und Südafrika. Rote Pfeile Kennzeichnen die warmen nährstoffarmen Oberflächenströme. Blaue Pfeile das nährstoffreiche Tiefenwasser des Benguelastroms. Modifiziert nach Shannon and O’Toole (2003).

Im Spätsommer, wie im frühen Herbst (Monate Februar bis Mitte Juni) durchbricht warmes, salzreiches Wasser des Angolastroms die nördliche Front des Benguelas, während sich im Winter und Frühling (Monate Juli bis Mitte Januar) der Benguelastrom nach Norden ausbreitet, bis hin zum Angola Dome (10°S; 5°O; Carter, 2011). Im Winter finden verstärkt Auftriebsereignisse im zentralen und nördlichen Benguela statt (Shannon & O’Toole, 2003). Die Auftriebsereignisse an der Küste Namibias sind wind-induziert (Küstenauftriebsgebiet) und weder das ganze Jahr noch über das gesamte Gebiet gleichförmig verteilt. Die stärkste Auftriebsparzelle befindet sich vor Lüderitz

(Süd-Benguela), weniger intensive Auftriebsereignisse finden sich nördlich von Cape Frio und nahe Walvis Bay (Nord-Benguela) (Carter, 2011).

1.3 Fragestellung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Verbundprojekts Genus (*Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System*) am Standort Hamburg angefertigt. Seit 2009 läuft das vom Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (BMBF) geförderte Projekt in dem sich Wissenschaftler der Universitäten Hamburg, Bremen, das Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde, das Zentrum für Marine Tropenökologie Bremen, das Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung, das Helmholtz-Zentrum Geesthacht und das Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg, mit der Frage nach dem Einfluss des Klimawandels auf marine Ökosysteme beschäftigen. Hierzu wurde zusammen mit Wissenschaftlern aus Namibia und Südafrika, das Auftriebsgebiet des Benguelastroms untersucht. Im Rahmen des Projektes sollen die Beziehungen zwischen Klimawandel, biochemischen Zyklen und der Ökosystemstrukturen geklärt werden (Emeis, k.A.).

In dieser Arbeit werden die Abundanzen und Zusammensetzung des Meso- und Mikrozooplanktons und Mikronektors des Transektes Kunene, im Nordbenguela-Auftriebsgebiet, untersucht. Mittels Sonden-Daten, können Aussagen über die abiotischen Faktoren zum Zeitpunkt der Probenahme gemacht werden und durch Satellitenaufnahmen die Chlorophyll *a* Gehalte bestimmt werden. Mit Hilfe dieser Informationen soll festgestellt werden, wie sich die Zusammensetzung des Zooplanktons/Mikronektors mit der Entfernung zur Küste verändert und mit Zunahme der Tiefe. Des Weiteren soll untersucht werden, welchen Einfluss die abiotischen Faktoren auf die Zusammensetzung und Abundanz des Zooplanktons/Mikronektors haben.

Es ist zu erwarten, dass sich die höchsten Zooplankton- und Mikronektonabundanzen, auf Grund der hohen Nährstoffgehalte und der damit verbundenen Phytoplanktonblüte, an der Oberfläche befinden. Durch die generell längere Entwicklungszeit des Meso- und Mikrozooplanktons und Mikronektors, ist davon auszugehen, dass diese zeitlich versetzt der Phytoplanktonblüte auftreten. Desweiteren ist damit zu rechnen, dass die Diversität mit der Entfernung zur Küste zunimmt. Diese Annahme basiert auf der Aussage von Sakko (1998), welcher feststellte, dass Auftriebsgebiete zwar Individuen reich aber

Artenarm sind. Da es sich beim Benguela Auftriebsgebiet um ein windinduziertes Küstenauftriebsgebiet handelt, wird davon ausgegangen dass der Einfluss des Auftriebs mit Entfernung der Küste abnimmt und somit die Diversität zu. Es wird weiterhin vermutet, dass die Sauerstoffkonzentrationen einen hohen Einfluss auf die Zusammensetzung des Mikro-, wie auch Mesozooplanktons und Mikronektons hat. Daher werden die wenigsten Organismen in den Sauerstoffminimumzonen erwartet. Die stärkste Sauerstoffminimumzone wird hingegen am Standort des stärksten Auftriebs und der höchsten Produktivität vermutet. Weiter wird eine Veränderung der Zusammensetzung und der abiotischen Faktoren am Schelf erwartet, da hier durch den Kunene River eine Süßwasser Einspeisung vorliegt.

Daraus ergeben sich folgende Hypothesen:

1. Die höchsten Abundanzen des Zooplanktons/Mikronektons befinden sich im Oberflächenwasser, nahe der Auftriebsquelle.
2. Der Süßwassereintrag des Kunene Rivers nimmt Einfluss auf die abiotische Umgebung und damit auf die Zusammensetzung des Planktons/Nektors.
3. Mit Entfernung zur Küste wird die Zusammensetzung des Planktons und Nektors diverser.
4. Die Abundanz des Mikrozooplanktons ist insgesamt höher als die des Mesozooplanktons und Mikronektors.
5. Im Gebiet der höchsten Abundanz liegt die stärkste Sauerstoffzehrung vor.

2 Material und Methoden

2.1 Standorte

Mikro- und Mesozooplankton/Mikronektonproben wurden während der Ausfahrt 17/3 des Forschungsschiffes *Maria S. Merian* im Februar 2011 (Südsommer) genommen. Dies erfolgte auf einem Transekt von der Küste bis in die offene See in Höhe der Kunene Mündung (Nord-Namibia; Abb. 5). Es wurden für diese Arbeit fünf Mikrozooplanktonstationen (305, 306, 307, 309, 310) und vier Mesozooplankton/Mikronektonstationen (305, 306, 307, 310) ausgewählt, um eine Grundlage für eine vergleichende Auswertung innerhalb eines Transektes zu schaffen. Station 305 befindet sich auf dem Schelf, ca. 27 km vor der Küste, mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von etwa 150 m (Tabelle 1), gefolgt von Station 306 an der Schelfkante mit einer Wassertiefe von ca. 470 m (Lahajnar *et al.*, 2011). Station 307 ist am Hang positioniert und weist eine mittlere Tiefe von etwa 820 m auf. Als "ozeanisch" wurden in dieser Arbeit Stationen mit einer Wassertiefe von mehr als 1500 m definiert. Somit liegt die Station 310 mit einer Entfernung von ca. 133 km von der Küste und einer Tiefe von etwa 3270 m im offenen Ozean (ozeanisch, küstenfern). Für die Mikrozooplanktonuntersuchungen wurden zusätzlich an der Station 309 Proben gewonnen (Lahajnar *et al.*, 2011). Diese Station liegt, ebenso wie die Station 310, im ozeanischen Bereich, jedoch ca. 30 km näher zur Küste, welches sich auch in einer geringeren Wassertiefe von ungefähr 3180 m widerspiegelt (Abb.5; Tabelle 1)

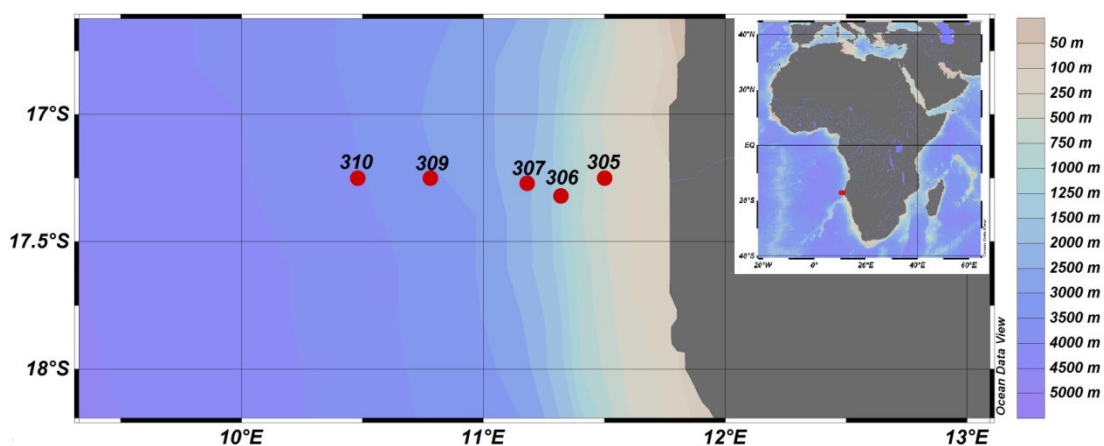


Abbildung 5: Beprobte Stationen auf dem Kunene-Transekt vor der Küste Namibias. Wassertiefen werden mit Hilfe unterschiedlicher Farbtöne dargestellt.

2.2 Probenentnahme und Bearbeitung

Die Probenahme erfolgte im Rahmen des Verbundprojekts GENUS des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Zum Zeitpunkt der Probenahme (Südsommer) herrschten abgeschwächte Auftriebsbedingungen vor, da sich die Angola-Benguela-Front zu dieser Jahreszeit nach Süden ausdehnt (Hagen *et al.*, 2001, Hutchings *et al.*, 2006, Carter, 2011).

2.2.1 Hydrographie

Mit einer CTD (engl. *Conductivity, Temperature and Depth*) Rosette der Firma Seabird (SBE 911+) wurden während der Ausfahrt 17/3 hydrographische Daten an den jeweiligen Stationen gemessen (Abb. 6). Diese dienen der Ermittlung der abiotischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Probenahme und können Aufschluss über die Stärke des Auftriebsphänomens bringen. Die Aufzeichnungen erfolgten hierbei nicht im Intervall, sondern kontinuierlich. Es wurden Daten für die Salinität, Temperatur und Sauerstoffgehalt gewonnen. Zur Definition einer Sauerstoffminimumzone (SMZ) wurde eine Konzentration von weniger als 45 $\mu\text{mol/L}$ Sauerstoff (nach Loick *et al.*, 2005) bestimmt.



Abbildung 6: CTD Rosette am Kran vor dem zu Wasser lassen. Modifiziert nach André Eckhardt (2013; Internetquelle 3).

2.2.2 Mikrozooplankton

Die Mikrozooplanktonproben wurden mit Hilfe eines Multischließnetzes (Abb. 7) der Firma Hydrobios gewonnen. Bei dem verwendeten Netz (Abb. 7) handelte es sich um den Typ Midi, mit einer Öffnung von $0,25\text{ m}^2$. Das Multinetz ist mit 5 Netzen ($55\text{ }\mu\text{m}$ Maschenweite), ausgestattet, die in definierten Tiefen (s. Tabelle 1) geöffnet und geschlossen werden können. Das Gerät wird nicht geschleppt, sondern vertikal nach oben gehievt. Die Hievgeschwindigkeit der Winde betrug $0,5\text{ m/s}$. Die entnommenen Proben wurden vor Ort mit Sieben aufkonzentriert und in eine mit Natriumtetraborat gepufferte 4%-ige Formaldehyd-Seewasserlösung überführt.



Abbildung 7: Multischließnetz. Öffnung $0,25\text{ m}^2$, Maschenweite $55\text{ }\mu\text{m}$. Insgesamt 5 Netze die in definierten Tiefen geöffnet und geschlossen werden können. Bild modifiziert nach André Eckhard (2013; Internetquelle 3)

Im Labor wurden die Proben für die taxonomische Bestimmung in Sortierlösung ($1,2\text{ Propandiol} + \text{Prophylphenoxelol} + \text{H}_2\text{O}$; nach Steedman, 1975) überführt und in eine geeignete Aliquotgröße mit Hilfe einer Hensenstempelpipette aufgetrennt. Die erhaltenden Fraktionen wurden in eine Bogorov-Schale überführt und unter einem Binokular der Marke Leica M165 C (Leica Microsystems, Schweiz AG) ausgezählt. Der Rest der Probe wurde erneut aufkonzentriert, rücküberführt, gekennzeichnet und

aufbewahrt. Die Individuen pro m³ (Konzentration der Individuen) wurden mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{\text{ausgezählte Individuen} \times \text{Teilungsfaktor}}{\text{filtriertes Volumen}}$$

Das filtrierte Volumen setzte sich aus der Länge des Fangintervalls (Tabelle 1) multipliziert mit der Größe der Öffnung, zusammen. Zur Klassifizierung der Individuen wurde folgende Bestimmungsliteratur verwendet: *An Introduction to the Zooplankton of the Benguela Current Region* (Gibbons, 1997), *South Atlantic Zooplankton, Volume 1* und *Volume 2* (Boltovsky, 1999) und *Common Copepods in the Benguela Current. Identification guide* (Schukat, 2009). Die gewonnenen Daten wurden anschließend im Programm Microsoft Excel 2007 weiter verarbeitet.

2.2.3 Mesozooplankton und Mikronekton

Die Mesozooplankton- und Mikronektonproben wurden mit einem 1 m²-Double MOCNESS (*Multiple Opening and Closing Net and Environmental Sensing System*; D-MOC, Wiebe *et al.*, 1985) gewonnen. Dieses D-MOC (Abb. 8) ist im Gegensatz zum Multinetz mit insgesamt 18 Netzen ausgestattet (2x9 Netze, parallel), welche ebenfalls in definierten Tiefen geschlossen und geöffnet werden können. Die Maschenweite beträgt 333 µm. Für eine effektive Nutzung des 1 m² großen Eingangs der Netze wurde ein Gerätewinkel von 45° angestrebt der bei einer Schleppgeschwindigkeit von 2 Knoten (1 Knoten = 1,852 km/h) erreicht wird. Durch die Ausstattung der Systeme mit einem Flow-Meter wurde pro Fangintervall (s. Tabelle 1) automatisch das filtrierte Volumen unter Berücksichtigung des Netzwinkels bestimmt. Weitere Sensoren liefern Daten zur Gerätetiefe, Salinität und Temperatur. Zu Wasser gelassen und auch wieder gehoben wurde das D-MOC mit Hilfe einer Winde. Der Schleppdraht besitzt ein innen liegendes Koaxkabel, über welches Daten zum Schiff transferiert werden und die einzelnen Netze vom Schiff aus geöffnet bzw. geschlossen werden können. Die Fier- und Hievgeschwindigkeit der Winde betragen 0,5 m/s, ab einer Gerätetiefe von <200 m wurde die Hievgeschwindigkeit auf 0,2-0,3 m/s gedrosselt. In der Regel wurden die parallelen Netze gemeinsam geschlossen, anschließend wurden die linken Netze vorwiegend für die Analysen der Biomasse und der taxonomischen Zusammensetzung genutzt. Die rechten Netze hingegen wurden für physiologische Experimente und

biochemische Analysen verwendet. Am Ende wurden die Netze mit Seewasser gespült und einige Proben wurden mit einem Motoda Plankton Splitter (Teiler) aufgetrennt (Martin *et al.*, in prep.). Die Proben wurden für die taxonomische Analyse und für die Biomassenbestimmung, wie die Proben des Mikrozooplanktons, in eine mit Natriumtetraborat gepufferte 4%-ige Formaldehyd-Seewasserlösung überführt.



Abbildung 8: MOCNESS am Kran. 2x9 parallel verlaufende Netze mit einer Maschenweite 333 μm , Öffnung 1 m^2 . Modifiziert nach Dr. Volker Morholz (2013; Internetquelle 3).

Im Labor wurden die Proben durch eine Siebkette fraktioniert und in fünf Größenfraktionen getrennt (<0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2 mm, 2-5mm, >5 mm). Anschließend wurden die Fraktionen in formolfreie Sortierlösung überführt. Für die taxonomische Bestimmung der Proben wurden diese mit Hilfe des Motoda Plankton Splitters bis zu einer zum Auszählen geeigneten Aliquotgröße aufgetrennt. Folgend wurden die Aliquote in eine Petrischale bzw. Bogorov-Schale überführt und unter einem Binokular der Marke Leica MZ 16 (Leica Microsystems, Schweiz AG) gezählt und sortiert. Die nicht benötigten Fraktionen wurden zurück überführt, gekennzeichnet und aufbewahrt. Die Auszählung und Sortierung erfolgte, wenn möglich, bis zur Gattung (Bestimmungsliteratur s. Mikrozooplankton). Die Bearbeitung der erlangten Daten und die Berechnung der Individuen pro m^3 erfolgte wie zuvor beim Mikrozooplankton.

2.2.4 Auswertung der Mikro- und Mesozooplankton/Mikronektonproben

Die Präsentation der Ergebnisse des Mikro- und Mesozooplanktons, sowie des Mikronektons erfolgte mittels Graphiken, die mit dem Windows Programm „SigmaPlot 11.0“ erstellt wurden. Für eine bessere Darstellung der Gesamtabundanzen zusammen mit der Hydrographie wurden die mittleren Tiefen der Intervalle berechnet. Einige Tiefenintervalle waren für die Auswertung des Mikrozooplanktons nicht zugänglich, hier wurden die übergeordneten Intervalle genutzt (s. Tabelle 1). Für die Darstellung der Zusammensetzung wurden die Abundanzen der Individuen (Bestände pro m²) in relative Häufigkeiten in % gezeigt. Für die Gesamtzusammensetzung des Mesozooplanktons und Mikronektons wurden die prozentualen Anteile der Hauptgruppen je Tiefenintervall berechnet, hierfür wurde die folgende Formel genutzt:

$$n_i * 100/N$$

wobei N für die Gesamtindividuenzahl steht und n_i für die (i-te) Gruppe, Gattung oder Art steht.

Die Zusammensetzung der Hauptgruppen im Mikrozooplankton hingegen wurden pro Station integriert über alle beprobten Tiefenstufen berechnet. Hierzu musste die Summe aller Ind./m² der Gruppe, Gattung oder Art, so wie der Gesamtindividuenzahl gebildet werden:

$$\sum (n_{ij} * T_j) * 100 / \sum (N_j * T_j)$$

wobei T die Distanz des Tiefenintervalls j beschreibt (z.B. Tiefenintervall 600-800 m, T= 200 m)

Die Berechnung von Diversitätsindices, Gleichverteilungsindices (eng. Evenness) und Dominanzindices erfolgte in dieser Arbeit nur für einzelne Hauptgruppen und gab somit Aufschluss über die Verhältnisse der Individuen innerhalb der Gruppen. Im Mikrozooplankton wurden somit Berechnungen für die Gruppen Crustacea, Ciliophora, Dinoflagellata, Radiolaria und Ochrophyta durchgeführt. Im Mesozooplankton, und Mikronekton lediglich für die Gruppe Crustacea, da alle übrigen Gruppen als Rest

zusammengefasst wurden.

Diversitätsindex [H] nach Shannon und Weaver (1949)

$$H = \sum [(n_i/N) * \ln (n_i/N)]$$

wobei N die totale Abundanz aller Individuen darstellt und n_i die Abundanz der (i-ten) Spezies repräsentiert. Der Index kann Werte zwischen 0 und 5 annehmen, hierbei wird durch einen Wert von 0 nur eine Spezies repräsentiert und 5 bedeutet, dass eine hohe Diversität vorliegt.

Die Gleichverteilung (Evenness) [J] wurde nach der Formel von Piloni (1966), welche auf dem Shannon und Weaver-Index basiert, berechnet.

$$J = H/\ln (N)$$

Die Werte nehmen Zahlen von 0 bis 1 an, wobei 1 für eine perfekte Gleichverteilung der Spezies steht.

Der Dominanzindex [D] nach Simpson (1949)

$$D = \sum (n_i/N)^2$$

kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 1 für die vollständige Dominanz steht (nur eine Spezies präsent).

Tabelle 1: Probenahmedaten. Uhrzeit in UTC, Position des MOCNESS-Fänge am Ende des Einsatzes.

Station	Lokation	Position Lat	Position Long	Gerät	Datum	Zeit (UTC)	Wassertiefe (m)	Fangintervall (m)
305	Schelf	17°19,145'S	11°30,506'O	MOCNESS	19.02.2011	12:41	153	50-100
		17°19,196'S	11°30,508'O	MOCNESS	19.02.2011	12:42	155	25-50
		17°19,240'S	11°30,509'O	MOCNESS	19.02.2011	12:44	150	0-25
		17°15,242'S	11°30,375'O	Multinetz	19.02.2011	10:05	143	130-100
		17°15,242'S	11°30,375'O	Multinetz	19.02.2011	10:06	143	100-50
		17°15,242'S	11°30,375'O	Multinetz	19.02.2011	10:08	143	50-25
		17°15,242'S	11°30,375'O	Multinetz	19.02.2011	10:09	143	25-0

Station	Lokation	Position Lat	Position Long	Gerät	Datum	Zeit (UTC)	Wassertiefe (m)	Fangintervall (m)
306	Scheffkante	17°16,58'S	11°17,80'O	MOCNESS	19.02.2011	00:22	450	200-400
		17°16,75'S	11°17,85'O	MOCNESS	19.02.2011	00:27	444	100-200
		17°16,85'S	11°17,87'O	MOCNESS	19.02.2011	00:30	444	50-100
		17°16,90'S	11°17,89'O	MOCNESS	19.02.2011	00:32	441	25-50
		17°16,988'S	11°17,919'O	MOCNESS	19.02.2011	00:34	440	0-25
		17°19,094'S	11°19,113'O	Multinetz	19.02.2011	20:48	427	200-400
		17°19,094'S	11°19,113'O	Multinetz	19.02.2011	20:56	427	100-200
		17°19,094'S	11°19,113'O	Multinetz	19.02.2011	20:59	427	0-100
		17°19,092'S	11°19,113'O	Multinetz	19.02.2011	21:17	447	50-100
		17°19,092'S	11°19,113'O	Multinetz	19.02.2011	21:19	447	25-50
		17°19,092'S	11°19,113'O	Multinetz	19.02.2011	21:20	447	0-25
		307	Hang	17°17,268'S	11°11,859'O	MOCNESS	20.02.2011	12:10
17°17,74'S	11°12,04'O			MOCNESS	20.02.2011	12:25	?	200-400
17°17,92'S	11°12,11'O			MOCNESS	20.02.2011	12:31	829	100-200
17°18,03'S	11°12,16'O			MOCNESS	20.02.2011	12:35	833	50-100
17°18,09'S	11°12,18'O			MOCNESS	20.02.2011	12:36	835	25-50
17°18,17'S	11°12,21'O			MOCNESS	20.02.2011	12:41	806	0-25
17°16,5'S	11°11,8'O			Multinetz	20.02.2011	8:54	820	400-600
17°16,5'S	11°11,8'O			Multinetz	20.02.2011	9:01	820	200-400
17°16,5'S	11°11,8'O			Multinetz	20.02.2011	9:08	820	0-200
17°16,5'S	11°11,8'O			Multinetz	20.02.2011	9:31	820	100-200
17°16,5'S	11°11,8'O			Multinetz	20.02.2011	9:35	820	50-100
17°16,5'S	11°11,8'O			Multinetz	20.02.2011	9:37	820	25-50
309	Ozeanisch (küstennah)	17°15,463'S	10°47,958'O	Multinetz	21.02.2011	8:09	3384	600-1000
		17°15,463'S	10°47,958'O	Multinetz	21.02.2011	8:24	3384	400-600
		17°15,463'S	10°47,958'O	Multinetz	21.02.2011	8:34	3384	200-400
		17°15,463'S	10°47,958'O	Multinetz	21.02.2011	9:04	2982	100-200
		17°15,463'S	10°47,958'O	Multinetz	21.02.2011	9:07	2982	50-100
		17°15,463'S	10°47,958'O	Multinetz	21.02.2011	9:09	2982	25-50
310	Ozeanisch (küstenfern)	17°24,77'S	10°36,59'O	MOCNESS	22.02.2011	12:30	3277	800-1000
		17°24,93'S	10°36,59'O	MOCNESS	22.02.2011	12:42	3284	600-800
		17°25,10'S	10°37,20'O	MOCNESS	22.02.2011	12:53	3293	400-600
		17°25,28'S	10°37,52'O	MOCNESS	22.02.2011	13:04	3279	200-400
		17°25,37'S	10°37,69'O	MOCNESS	22.02.2011	13:11	3280	100-200
		17°25,42'S	10°37,78'O	MOCNESS	22.02.2011	13:14	3277	50-100
		17°25,44'S	10°37,81'O	MOCNESS	22.02.2011	13:15	3270	25-50
		17°25,44'S	10°37,81'O	MOCNESS	22.02.2011	13:18	3273	0-25
		17°15,001'S	10°29,966'O	Multinetz	22.02.2011	15:22	3267	600-1000
		17°15,001'S	10°29,966'O	Multinetz	22.02.2011	15:37	3267	400-600
		17°15,001'S	10°29,966'O	Multinetz	22.02.2011	15:44	3267	200-400
		17°15,001'S	10°29,968'O	Multinetz	22.02.2011	16:15	3269	100-200
		17°15,001'S	10°29,968'O	Multinetz	22.02.2011	16:19	3269	50-100
		17°15,001'S	10°29,968'O	Multinetz	22.02.2011	16:21	3269	25-50
		17°15,001'S	10°29,968'O	Multinetz	22.02.2011	16:22	3269	0-25

2.2.5 Taxonomie

Die taxonomische Klassifizierung erfolgte in dieser Arbeit anhand einer auf phylogenetischen Merkmalen basierenden Einteilung (siehe Wehner & Gehring, 2007). Die identifizierten und gezählten Organismen wurden zunächst den Hauptgruppen Radiolaria, Foraminifera, Ciliophora, Dinoflagellata, Ochrophyta, Cnidaria, Mollusca, Annelida,

Chaetognatha, Crustacea, Tunicata, Fische, Echinodermata und meroplanktische Larven (Larvenstadien von überwiegend benthischen Organismen) zugeordnet.

Die Gruppen Radiolaria und Foraminifera zählen aufgrund des Besitzes einer harten Schale und Pseudopodien, zum Taxon Rhizaria (Tabelle 2). Radiolaria bilden mit Hilfe einer von Mucoproteinen gebildeten Zentralkapsel, die das Endoplasma vom Ektoplasma trennt, eine skelettartige Struktur mit einer oder mehreren silikathaltigen Gitterkugeln aus. Foraminifera hingegen besitzen ein poröses Kalkgehäuse (Wehner & Gehring, 2007, S. 694). Eine Schwestergruppe der Rhizaria, bildet das Taxon Alveolata, zudem die Gruppen Ciliophora und Dinoflagellata zählen. Beide Gruppen zeichnet der Besitz von Alveolen (gefüllte Vesikel) aus. Eine weitere verwandte Gruppe Dinoflagellata und Ciliophora stellen die zum Phytoplankton gehörenden Organismen der Ochrophyta dar, diese gehören zu den Heterokontophyta (Chromista) und sind durch gemeinsame Vorfahren im Taxon Chromalveolata mit den Alveolata verwandt (Tabelle 2) (Wehner & Gehring, 2007, S. 678). Alle in dieser Arbeit klassifizierten Individuen gehören den Eukaryota an, welche einen, von Cytoplasamkompartimenten, getrennten Zellkern besitzen. Bei den Gruppen Radiolaria, Foraminifera, Ciliophora, Dinoflagellata und Ochrophyta handelt es sich um einzellige Organismen (Wehner & Gehring, 2007, S. 679-694), welche zum Teil mixotrophe (sowohl autotroph wie auch heterotroph) Arten einschließen. Der Übergang von Photosynthese treibenden Organismen zu Organismen, die sich rein durch Phagozytose ernähren, ist zum Teil fließend (Flynn *et al.*, 2012). In dieser Arbeit wurden die Arten der Gattungen *Ceratium* und *Ceratocoris*. nach Stoecker (1999) und Barton *et al.* (2013) als mixotrophe Organismen der Dinoflagellata dem Zooplankton zugeordnet (Tabelle 2). Zudem wurden in dieser Arbeit vereinzelt nachgewiesene Foraminifera im Mikronekton nicht in die Auswertung einbezogen, da es sich wahrscheinlich um Anheftungen an andere Organismen handelt.

Tabelle 2: Systematische Gliederung der einzelligen Organismen.

Eucaryota			
Rhizaria		Chromalveolata	
Radiolaria	Foraminifera	Alveolata	Hetero- kontophyta
		Dinozoa	Ochrophyta (autotroph)
		Dinoflagellata	Ciliophora
		Mixotroph: <i>Ceratium</i> spp <i>Ceratocoris</i> spp.	Heterotroph: <i>Noctiluca</i> spp. <i>Dinophysis</i> spp. <i>Protoperidinium</i> spp.

Zu den mehrzelligen Eukaryota zählen allen Organismen des Taxons Metazoa, welches die Gruppe Eumetazoa einschließt. Eumetazoa sind bereits im Besitz von echten Epithelgeweben und werden in diploblastisch (zweikeimblättrig) und triploblastisch (dreikeimblättrig) unterteilt (Wehner & Gehring, 2007, S. 697). Diploblastische Eumetazoa besitzen eine Mesogloea (gallertartiges Gewebe), die dem embryonalen Blastocoel entspricht. Zu den diploblastischen Eumetazoa zählt die Gruppe Cnidaria, die triploblastische Schwestergruppe bilden die Bilateria (Tabelle 3) (Wehner & Gehring, 2007, S. 697). Diese sind im Besitz eines Mesoderms, aus dem wichtige Gewebsstrukturen (z.B. Skelett, Herz, etc.) hervorgehen. Das Taxon Bilateria lässt sich in Protostomia (Urmünder) und Deuterostomia (Neumünder) gliedern. Die für diese Arbeit wichtigen Gruppen Mollusca, Annelida (beide werden unter dem Taxon Lophotrochozoa zusammengefasst), Chaetognatha und Crustacea (Großgruppe der Arthropoda, Ecdysozoa) zählen zu den Protostomia (Tabelle 3). Nur die Taxa Echinodermata und Chordata, mit der polyphyletischen Gruppe Fische und den Tunicata, gehören den Deuterostomia an (Wehner, 2007, S. 714ff). In dieser Arbeit wurden für die Auswertung der Cnidaria lediglich die gezählten Medusen und diverse gelantinöser Organismen gezählt, sofern sie nicht den Siphonophora angehörten. Siphonophora (deut.: Staatsquallen) sind

stockbildene, freischwimmende Nesseltiere. Jedes Mitglied übernimmt in diesem Stock spezielle Aufgaben und Funktionen, sodass ein Einzeltier eher als Organ betrachtet werden könnte, an Stelle eines eigenständigen Individuums (Campbell *et al.*, 2002, S.771). Da die Staatsquallen beim Fang regelmäßig in ihre Einzeltiere zerfallen, wurde in dieser Arbeit auf die Auswertung der Siphonophora Einzeltiere verzichtet.

Tabelle 3: Systematische Eingliederung der mehrzelligen Organismen.

Eumetazoa						
Cnidaria	Bilateria					
	Protostomia			Deuterostomia		
	Lophotrochozoa	Chaetognatha	Ecdysozoa	Chordata	Echinodermata	
	Mollusca	Annelida	Arthropoda	Tunicata	Fische	
			Crustacea			

Die Gruppe meroplanktische Larven, umfasst in dieser Arbeit alle planktischen Larvenformen, ungeachtet der Phylogenie. Eine weitere, bisher unerwähnte Gruppe, bilden die Exuvien. Diese umfassen lediglich das Exoskelett der zur Großgruppe Crustacea zählenden Gruppe Copepoda (Wheeler, 1967). Häufig ist das Exoskelett der Copepoda zwischen dem Cephalon und den Thoraxsegmenten gebrochen, welches mit einem Verlust des dorsalen Muskels und internen Gewebes einhergeht. Diese Strukturen können zwar der Gruppe Copepoda zugeordnet werden, jedoch nicht den lebenden Individuen zugeordnet werden (Wheeler, 1967). Daher werden sie unter der Gruppe Exuvien zusammen gefasst.

3 Ergebnisse

3.1 Hydrographie

Temperatur

Die Oberflächentemperaturen auf dem Kunene Transekt betragen zum Zeitpunkt der Probenahme zwischen 20 °C und 25 °C. Auf dem Schelf wurde eine Oberflächentemperatur von etwa 21 °C gemessen, an der Schelfkante betrug sie ca. 23 °C. An den Stationen Hang (307) und Ozeanisch (küstennah, 309) lag die Oberflächentemperatur ebenso bei etwa 23 °C. Die höchste Oberflächentemperatur konnte an der ozeanisch, küstenfernen Station (310) mit 25 °C gemessen werden. An allen Stationen wurde eine Abnahme der Temperatur mit Zunahme der Tiefe beobachtet (Abb. 9).

Ein Temperaturabfall von >1 °C erfolgte an allen Stationen unterhalb der durchmischten Zone in Wassertiefen zwischen 30 und 40 m. Ein Abfall von 20 °C auf 15 °C erfolgt an den Stationen Schelf von etwa 30 bis 100 m, Schelfkante von 40-100 m und am Hang von 50-140 m. An der Station Ozeanisch (küstennah) wurde ein Temperaturabfall von 20 °C auf 15 °C von ca. 50 bis 100 m festgestellt, in dieser Station konnte auch die niedrigste Temperatur (~ 3 °C) in einer Tiefe von etwa 3000 m gemessen werden. Ozeanisch (küstenfern) fiel die Temperatur von 20 auf 15 °C in einer Tiefe von ungefähr 40 bis 80 m ab. Es war kein linearer Zusammenhang in der Temperaturabnahme mit der Tiefe erkennbar (Abb. 9).

Salinität

Die Salinität variierte innerhalb und auch zwischen den Stationen nur wenig. Die Werte lagen im Allgemeinen um die 35 ± 1 PSU (Practical Salinity Units). Auf dem Schelf konnten an der Oberfläche ca. 36 PSU und in ca. 140 m Tiefe ebenfalls etwa 36 PSU gemessen werden (Abb. 9). An den Stationen Schelfkante und Hang lag der Oberflächensalzgehalt wie zuvor bei ca. 36 PSU und ab einer Tiefe von etwa 500 m bei ~ 35 PSU (Abb. 9). Die, küstennahe ozeanische Station hatte ebenfalls eine Salinität von ~ 36 PSU an der Oberfläche und ~ 35 PSU in der Tiefe (ca. 3000 m). Ebenso betrug die

Salinität an der Station Ozeanisch, küstenfern etwa 36 PSU an der Oberfläche und endete bei ca. 35 PSU in etwa 3010 m Tiefe (Abb. 9).

Sauerstoff

Die Oberflächensauerstoffgehalte betragen an allen Stationen mehr als 200 $\mu\text{mol/L}$. Auf dem Schelf konnte ein durchschnittlicher Sauerstoffgehalt von etwa 209 $\mu\text{mol/L}$ bis in eine Tiefe von ca. 30 m gemessen werden. Die Sauerstoffminimumzone (SMZ) begann in einer Tiefe von ~ 70 m und reichte bis zum letzten Messpunkt in etwa 140 m Tiefe (Abb. 9).

An der Schelfkante konnten Sauerstoffgehalte von ca. 232 $\mu\text{mol/L}$ von der Oberfläche bis in ungefähr 30 m Tiefe gemessen werden, darunter fielen die O_2 -Konzentrationen bis zum Beginn der SMZ in etwa 120 m Tiefe auf 47 $\mu\text{mol/L}$ ab (Abb. 9). Ab einer Tiefe von ~ 470 m stiegen die Gehalte des Sauerstoffs wieder über 45 $\mu\text{mol/L}$ an. Folglich erstreckte sich die SMZ über etwa 350 m.

Die SMZ am Hang besaß eine Mächtigkeit von ca. 400 m und reichte von 110 m bis in etwa 510 m Tiefe (Abb. 9). An dieser Station konnten bis in ca. 40 m Sauerstoffkonzentrationen um 220 $\mu\text{mol/L}$ gemessen werden. An allen Stationen lag der niedrigste Sauerstoffgehalt um die 14 $\mu\text{mol/L}$, mit Ausnahme der Schelfstation, an der die O_2 -Gehalte nicht unter 34 $\mu\text{mol/L}$ sanken (Abb. 9).

Die küstennahe ozeanische Station wies von der Oberfläche bis in eine Tiefe von ca. 40 m eine durchschnittliche Sauerstoffkonzentration von 229 $\mu\text{mol/L}$ auf. Die SMZ setzte ab einer Tiefe von ~ 130 m ein und endete bei ca. 500 m (Mächtigkeit: ~ 370 m).

An der ozeanisch, küstenfernen Station konnte die größte Ausdehnung der SMZ mit 410 m gemessen werden. Die obere Grenze der SMZ lag in einer Tiefe von etwa 110 m, die untere Grenze bei ca. 520 m (Abb. 9). Bis in eine Tiefe von ungefähr 30 m wurden an dieser Station Oberflächensauerstoffgehalte von 221 $\mu\text{mol/L}$ gemessen und nahmen folgend bis zu einer Wassertiefe von etwa 40 m zu (Werte bis 265 $\mu\text{mol/L}$). Im

weiteren Verlauf sanken die Werte bis zum Erreichen der Sauerstoffminimumzone in 110 m ab (Abb. 9).

Bezogen auf die Fangintervalle der Mikro- und Mesozooplanktonfänge, sowie Mikronektonfänge konnte festgestellt werden, dass die oberen Fangintervalle (0-25 m und 25-50 m) immer ausreichend mit Sauerstoff versorgt waren; dort lag der durchschnittliche O_2 -Gehalt immer über $100 \mu\text{mol/L}$ (Tabelle 4). Wohingegen in den Fangintervallen 100–200 m und 200-400 m an allen Stationen die Sauerstoffkonzentrationen unter $45 \mu\text{mol/L}$ lagen und die SMZ kennzeichneten. Am Hang wurden im Tiefenintervall 400-600 m sogar O_2 -Gehalte unter $45 \mu\text{mol/L}$ festgestellt. An allen anderen Stationen konnte in den tieferen Intervallen (400-600 m und 600-1000 m) eine Zunahme der O_2 -Konzentration festgestellt werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Sauerstoffgehalte

gemittelt über die Fangintervalle der Zooplankton- und Nektonproben

Station	Tiefenintervall [m]	Ø-Sauerstoffgehalt [µmol/l]
Schelf	0-25	209
	25-50	143
	50-100	51
	100-130	42
Schelfkante	0-25	232
	25-50	183
	0-100	146
	50-100	87
	100-200	41
	200-400	27
Hang	0-25	220
	25-50	206
	50-100	58
	0-200	87
	100-200	40
	200-400	29
	400-600	42
Ozeanisch (küstennah)	0-25	228
	25-50	216
	50-100	92
	100-200	41
	200-400	21
	400-600	45
Ozeanisch (küstenfern)	600-1000	117
	0-25	221
	25-50	234
	50-100	124
	100-200	35
	200-400	21
	400-600	47
	600-800	109
	600-1000	122
800-1000	135	

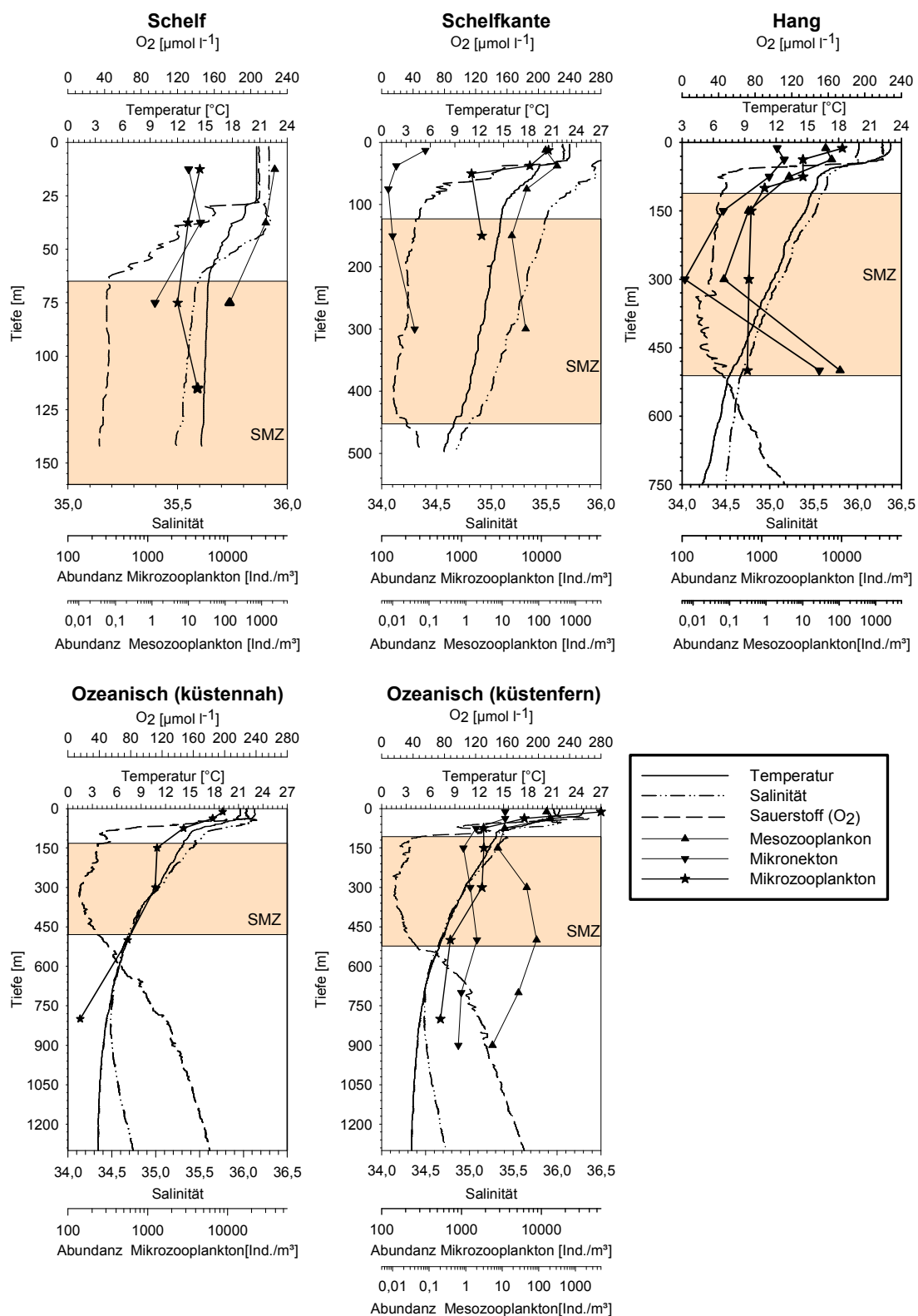


Abbildung 9: Hydrographie und Abundanz. Konzentrationen des Mikro- und Mesozooplanktons und Mikronektons in Relation zu Temperatur, Salinität und Sauerstoffgehalt. Farblich hinterlegt, der Bereich mit einer Sauerstoffkonzentration <45 μmol/L = Sauerstoffminimumzone.

3.2 Abundanz

Die für diese Arbeit zu identifizierenden Individuen wurden in insgesamt 13 Hauptgruppen eingeteilt (Tabelle 3). Hierbei überschneiden sich für Mikro- und Mesozooplankton acht Gruppen: Cnidaria, Foraminifera, Tunicata, Chaetognatha, Crustacea, Annelida, Echinodermata und Mollusca. Die Gruppen Annelida und Echinodermata setzten sich im Mikrozooplankton vorwiegend aus meroplanktischen Larven zusammen und wurden daher im weiteren Verlauf unter der Gruppe Larvenstadien zusammengefasst. Zudem umfasste diese Gruppe viele Crustacea-Larven. Das Mikrozooplankton schloss zudem die Gruppen Radiolaria, Ciliophora, hetero- und mixotrophe Dinoflagellata ein (insg. 11 Hauptgruppen, Tabelle 3). Zudem wurde die autotrophe Gruppe Ochrophyta untersucht. Das Mesozooplankton umfasste zusätzlich die Gruppe Fische und in dieser Arbeit somit 9 Taxa. Das Mikronekton setzte sich aus insgesamt 8 Taxa zusammen, da es zwar dieselben Gruppen wie das Mesozooplankton einschloss, jedoch die Gruppe Foraminifera fehlte. Die meisten Gruppen waren weder innerhalb der Stationen, noch zwischen den Stationen gleichmäßig verteilt (s. Tabelle 3). Außer an der Schelfkante (Station 306), wurden alle Probenahmen am Tag durchgeführt.

Tabelle 5: Vorkommen der autotrophen Organismen, sowie der Hauptgruppen des Mikro- und Mesozooplanktons und Mikronekton

Gruppe	Vorkommen (Station, Tiefenintervall) Mikrozooplankton	Vorkommen (Station, Tiefenintervall) Mesozooplankton	Vorkommen (Station, Tiefenintervall) Mikronekton
Ochrophyta (Diatomeen)	Fehlt an der Station, 310 in den oberen Tiefenintervallen bis 200 m und 309 bis 50 m, sonst ubiquitär		
Dinoflagellata	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen		
Ciliophora	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen		
Foraminifera	Fehlt am Schelf (305) in den Tiefenintervallen: 0-25 m, 100-130 m, sonst ubiquitär	An Station 305, 306 (25-50 m), 307 (100-200 m+ 200-400 m + 400-600 m), 310 (Fehlt 600-800 m)	
Radiolaria	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen		

Gruppe	Vorkommen (Station, Tiefenintervall) Mikrozooplankton	Vorkommen (Station, Tiefenintervall) Mesozooplankton	Vorkommen (Station, Tiefenintervall) Mikronekton
Cnidaria	An Station 305 und 306 in den Tiefenintervallen 50-100 m und 0-100 m	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen
Mollusca	An Station 305, 306, 307 (0-200 m + 200-400 m), 309 (0-25 m), 310 (0-25 m + 50-100 m)	An Station 305, 306 (25-50 m + 50-100 m), 307 (Fehlt: 100-200 m), 310 (Fehlt: 200-400 m + 400-600 m + 600-800 m)	An Station 305, 306 (Fehlt: 25-50 m + 50-100 m), 307 (Fehlt: 100-200 m + 200-400 m), 310 (Fehlt: 200-400 m + 400-600 m + 600-800 m + 800-1000 m)
Annelida	An Station 305 (25-50 m, 50-100 m), 306 (0-25 m, 100-200 m), 307 (fehlt in 100-200 m), 309 (200-400 m), 310 (0-25 m, 200-400 m)	An Station 305 (nur in 0-25 m + 25-50 m), 306 (Fehlt 200-400 m), 307 (nur in 25-50 m; 0-25 m + 100-200 m), 310 (Fehlt: 100-200 m + 200-400 m)	An Station 306 (Fehlt 25-50 m + 200-400 m), 307 (nur in 400-600 m), 310 (Fehlt: 0-25 m + 100-200 m + 200-400 m + 400-600 m)
Chaetognatha	An Station 305 Tiefenintervalle 25-50 m + 50-100 m	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen	Fehlt an Station 305 (25-50 m), sonst ubiquitär
Crustacea	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen
Tunicata	An Station 305, 306 (fehlt in 0-25 m), 307 (50-100 m, 100-200 m, 400-600 m), 309 (25-50 m), 310 (0-25 m, 25-50 m, 100-200 m, 400-600 m)	An allen Stationen und in allen Tiefenintervallen	An Station 305, 306, 307 (Fehlt: 0-25 m + 100-200 m), 310 (Fehlt: 25-50 m + 200-400 m + 400-600 m)
Fische		An Station 305, 306, 307 (Fehlt: 100-200 m + 200-400 m + 400-600 m), 310 (Fehlt: 100-200 m + 600-800 m + 800-1000 m)	An Station 305 (Fehlt: 0-25 m), 306, 307 (Fehlt: 0-25 m + 100-200 m + 200-400 m), 310 (Fehlt: 400-600 m)
Echinodermata	An Station 305, 306 (0-25 m, 100-200 m), 307 (50-100 m), 309 (600-1000 m),	Nur an Station 305 (nur 25- 50 m)	

3.2.1 Autotrophe Organismen

Taxonomische Zusammensetzung und Diversität der Ochrophyta

Zur Gruppe Ochrophyta zählen Photosynthese treibende einzellige Organismen, die den Chromista (Heterokonta) untergeordnet sind und damit zu Verwandten der Alveolata (Ciliophora, Dinoflagellata u.a.) zählen. In dieser Arbeit setzte sich die Gruppe aus verschiedenen Kieselalgen (Diatomeen) zusammen. Hauptsächlich waren *Pterosperma* spp in der Hauptgruppe Ochrophyta vertreten, dies war auch die einzige Gattung die in den oberen Tiefenintervallen vorzufinden war. Innerhalb der Sauerstoffminimumzone (s. Tabelle 4) sanken alle Abundanzen ab. Auf dem Schelf und an der Schelfkante waren je zwei Gattungen und diverse unbestimmte Individuen an der Zusammensetzung des Taxon beteiligt. *Pterosperma* spp. mit relativen Anteilen von 77% (4 800 Zellen/m²) auf dem Schelf und 67% (2 400 Zellen/m²) an der Schelfkante, "Unbestimmte Zellen" (17% und 11%) und *Actinocyclus* spp. (6% und 22%) (Abb. 10).

Am Hang konnte die höchste Abundanz der Gruppe mit 27 667 Zellen/m² und die geringste relative Häufigkeit der *Pterosperma* spp. mit nur 32% festgestellt werden (Abb. 10). Jedoch waren hier die relativen Anteile der *Actinoptychus* spp. mit 29% am höchsten.

An der ozeanischen, küstennahen Station konnten nur zwei Gattungen festgestellt werden, *Pterosperma* spp. mit einem relativen Anteil von 89% (5 357 Zellen/m²) und *Triceratium* spp. mit 11%. Im Ozean (Ozeanisch, küstenfern) kam als einziger Standort die Gattung *Cosinodiscus* vor (6%, Abb. 10).

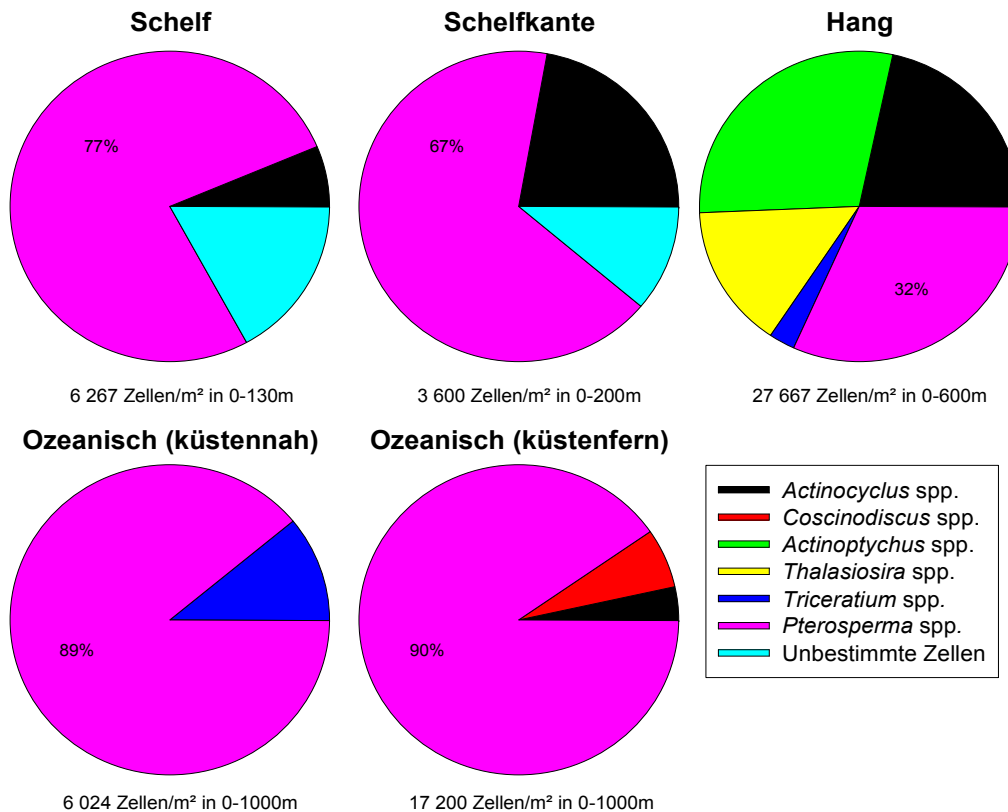


Abbildung 10: Zusammensetzung der Ochrophyta. Σ Zellen/m² der jeweiligen Station = 100%. Höchster prozentualer Anteil innerhalb der Stationen wurde der jeweiligen Untergruppe/Gattung/Art zugeordnet.

Die Berechnung der Diversität nach Shannon und Weaver ergab, dass am Hang die höchste Diversität [H] mit einem Wert von 1,31 vorlag. Die niedrigste Diversität der Hauptgruppe Ochrophyta konnte an der Station Ozeanisch (küstennah) festgestellt werden. Die Gleichverteilung [J] war in allen Stationen unausgewogen, auf dem Schelf betrug sie einen Wert von 0,13, an der Schelfkante 0,10, am Hang wurde der höchste Wert mit 0,25 festgestellt und die niedrigsten mit 0,07 (Ozeanisch, küstennah) und 0,06 in der Station Ozeanisch (küstenfern). Die Werte der Dominanz-Berechnung nach Simpson [D] waren am Hang am geringsten und stiegen auf 0,87 in den ozeanischen Stationen (küstennah und küstenfern) an.

Tabelle 6: Ergebnisse der Indices für die Gruppe Ochrophyta. Shannon-Weaver [H], Evenness [J] und Dominanz-Index [D] an den Stationen.

	Schelf	Schelfkante	Hang	Ozeanisch (küstennah)	Ozeanisch (küstenfern)
Shannon-Weaver-Index [H]	0,65	0,46	1,31	0,25	0,30
Gleichverteilung [J]	0,13	0,10	0,25	0,07	0,06
Dominanz-Index [D]	0,64	0,77	0,33	0,87	0,87

3.2.2 Mikrozooplankton

Zum Mikrozooplankton zählten in dieser Arbeit heterotrophe, sowie mixotrophe Organismen im Größenspektrum von 55 µm bis <300 µm.

Auf dem Schelf wurde mit 4 491 Ind./m³ die höchste Abundanz des Mikrozooplanktons, an dieser Station, im oberen Tiefenintervall (0-25 m) beobachtet (Abb. 9). Die niedrigste Abundanz, mit 2 368 Ind./m³, wurde im Tiefenintervall 50-100 m festgestellt. Jedoch stieg die Abundanz im Tiefenintervall 100-130 m, innerhalb der SMZ, erneut auf etwa 4 200 Ind./m³ an (Abb. 9).

Auch an der Schelfkante stieg die Abundanz in der SMZ an (Abb. 9). Die höchste Abundanz (12 320 Ind./m³) konnte an der Station im oberen Tiefenintervall gemessen werden (Abb. 9) und war mehr als doppelt so hoch wie auf dem Schelf. Im Tiefenintervall 25-50 m, lag die Abundanz bei 7 200 Ind./m³ (O₂ = 183 µmol/L), im weiteren Verlauf fiel die Abundanz auf 1336 Ind./m³ ab und in 100-200 m Tiefe stieg sie auf 1 804 Ind./m³ an, der Sauerstoffgehalt betrug hier 41 µmol/L (Tabelle 2).

Am Hang wurde die höchste Abundanz (10 192 Ind./m³) in einer Tiefe von 25-50 m ermittelt. Im Abschnitt 100-200 m wurde eine Abundanz von 737 Ind./m³ festgestellt. Bei einer Tiefe von 200-400 m betrug sie 688 Ind./m³, bei der niedrigsten Sauerstoffkonzentration der Station (Abb. 9).

An der ozeanischen küstennahen Station sank die Abundanz mit Zunahme der Tiefe. Im oberen Tiefenintervall (0-25 m) lag die höchste Abundanz (8 697 Ind./m³) vor. Ab einer Tiefe von 400-600 m sank die Abundanz unter 1 000 Ind./m³ (Abb. 9).

An der küstenfernen ozeanischen Station betrug die höchste Abundanz 56 000 Ind./m³, in 0-25 m Tiefe, dieser Abundanzwert war der höchste innerhalb aller Stationen. Mit zunehmender Tiefe konnte eine Abnahme in der Abundanz beobachtet werden (Abb. 9). Unterhalb 200-400 m fielen die Werte auf unter 1 000 Ind./m³.

3.2.3 Zusammensetzung des Mikrozooplanktons

Es konnte vom Schelf bis in den Ozean eine relative Zunahme von Organismen der Gruppe Ciliophora beobachtet werden und eine Abnahme mit der Tiefe der zur Gruppe Dinoflagellata gehörenden heterotrophen und mixotrophen Organismen an den Stationen (Abb. 11). Die relative Häufigkeit an Individuen der Gruppe Radiolaria nahm hingegen mit der Tiefe zu.

Ein Großteil der Zusammensetzung des Mikrozooplanktons bestand aus Individuen der Großgruppe Crustacea und der polyphyletischen Gruppe "Larvenstadien" (Abb. 11). Während Individuen der Gruppe Larvenstadien in größeren Tiefen nur mit geringen Häufigkeiten auftraten, waren die Crustacea auch hier mit hohen Anteilen vertreten, selbst in sauerstoffarmen Tiefen (s. Tabelle 4). Jedoch nahm die relative Häufigkeit der Crustacea mit der Entfernung zur Küste ab.

Auf dem Schelf betrug die absolute Abundanz (Gesamtbestand der Station) 436 667 Ind./m², jedoch waren die Organismen nicht gleichmäßig über die Tiefenintervalle verteilt (s. Abb. 9). Der geringste relative Anteil mit 24% (1 067 Ind./m³) der Crustacea wurde im Tiefenintervall 0-25 m beobachtet. Hier erreichte die Gruppe Mollusca ihre höchste relative Häufigkeit mit 1%. Insgesamt waren nur selten Organismen dieser Gruppe vertreten und meist in den oberen Tiefenintervallen mit einer relativen Häufigkeit von weniger als 1%. Die Gruppe Chaetognatha wurde nur am Schelf identifiziert und besaß hier einen relativen Anteil geringer als 1% (Abb. 11).

An der Schelfkante im Tiefenintervall 25-50 m wurde die höchste relative Häufigkeit der Larvenstadien mit 54% ($3\,888\text{ Ind./m}^3$) beobachtet, der relative Anteil an Crustacea lag hier hingegen bei lediglich 10%. Die absolute Abundanz betrug an dieser Station $802\,000\text{ Ind./m}^2$. Der relative Anteil an Dinoflagellata sank nie unter 17% (Abb. 11). Zudem konnten an der Schelfkante als einziger Standort Individuen der Gruppe Cnidaria identifiziert werden, jedoch mit einem relativen Anteil von weniger als 1%. Die Gruppe Radiolaria besaß einen relativen Anteil von 6% innerhalb der SMZ (100-200 m).

Die absolute Abundanz am Hang betrug $945\,400\text{ Ind./m}^2$, wovon das Tiefenintervall 50-100 m eine Abundanz von $3\,296\text{ Ind./m}^3$ umfasste (s. Abb. 9). In diesem Tiefenintervall betrug die relative Häufigkeit der Foraminifera 2%, mit zunehmender Tiefe nahmen die Anteile ab (Abb. 11). Innerhalb der SMZ (200-400 m) am Hang wurde in dieser Gruppe eine relative Häufigkeit von etwa 0,3% erreicht. Auch die Gruppe Dinoflagellata erreichten innerhalb SMZ (200-400 m) die geringsten relativen Anteile (1% und 3%), die Sauerstoffkonzentration betrug in diesem Tiefenintervall $29\text{ }\mu\text{mol/L}$ (Tabelle 2). Die Gruppe Ciliophora hingegen besaß mit 19% ihre höchste relative Häufigkeit an der Station innerhalb der SMZ (Abb. 11).

An der Station Ozeanisch (küstennah) wies die Gruppe Crustacea ihren höchsten relativen Anteil mit 41% in der SMZ (200-400 m) auf. Den insgesamt höchsten relativen Anteil mit 16% (23 Ind./m^3) der Radiolaria konnte an dieser Station in einer Tiefe von 600-1000 m beobachtet werden (Abb. 11).

An der ozeanisch, küstenfernen Station betrug die absolute Abundanz etwas mehr als $2,5\text{ Mio. Ind./m}^2$. Es konnte hier der geringste relative Anteil mit 5% (25-50 m und 600-1000 m) der Crustacea festgestellt werden (Abb. 11). Zudem besaßen die Gruppen Ciliophora ihre insgesamt höchste relative Häufigkeit aller Stationen mit 55% innerhalb der SMZ (200-400 m) dieser Station und die Foraminifera mit 5% im Tiefenintervall 600-1000 m.

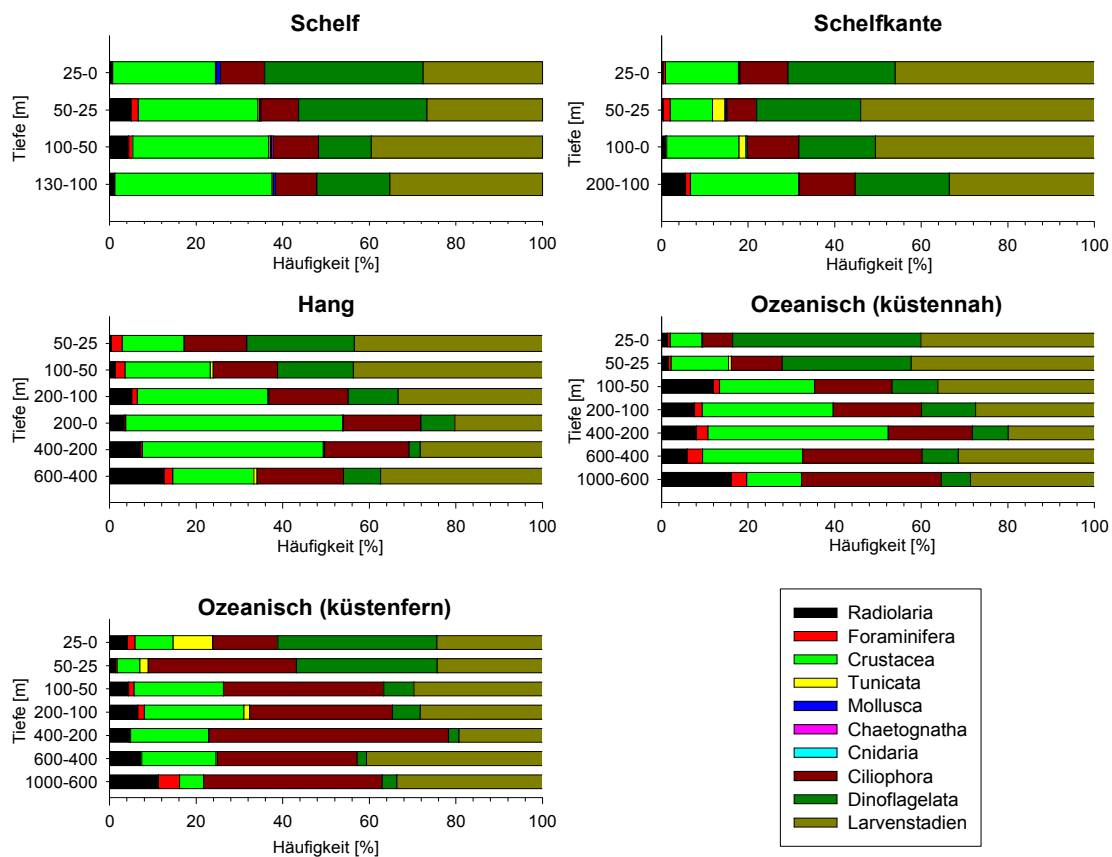


Abbildung 11: Zusammensetzung des Mikrozooplanktons pro Tiefenintervall [m].
 Ind._{Gesamt}/m² pro Tiefenintervall = 100%. Die Gruppe Dinoflagellata umfasst mixo- und heterotrophe Arten.

Taxonomische Zusammensetzung und Diversität der mixo- und heterotrophen Dinoflagellata

Im Taxon Dinoflagellata wurden die Arten der Gattung *Ceratium* und *Ceratocoris* einer mixotrophen Lebensweise zugeordnet. Alle weiteren bestimmten Arten ernähren sich heterotroph.

Auf dem Schelf bestand das Taxon Dinoflagellata vor allem aus *Dinophysis* spp. mit 31% (31 200 Ind./m²) und *Noctiluca* spp. mit einem relativen Anteil von 19%. Sowie den Arten *Protoperidinium* cf. *depressum* (17%), *Protoperidinium* cf. *claudicans* (26%) und *Ceratium* cf. *furca* (4%, Abb. 12). Alle weiteren Arten waren mit einem relativen

Anteil von 1% und weniger vertreten. *Ceratium* cf. *horridum* und *Ceratium* cf. *tripos* kam auf dem Schelf nur in der SMZ (100-130 m) mit Abundanzen von 27 Ind./m³ und 13 Ind./m³ vor. Im weiteren Verlauf nahmen auch die Abundanz dieser zwei Gruppen innerhalb der SMZ ab oder blieben gleich, erst im Ozean zeigte sich eine erneute Zunahme der Arten *Ceratium* cf. *horridum* und *Ceratium* cf. *tripos* in der SMZ.

An der Schelfkante nahmen die *Dinophysis* spp. den höchsten relativen Anteil mit 43% am gesamten Taxon Dinoflagellata an. Die geringsten Abundanzen der Gattung *Noctiluca* betragen an der Schelfkante 4 400 Ind./m² und am Hang 1 600 Ind./m² (1%; Abb. 12).

Mit zunehmender Entfernung zur Küste verändert sich die Zusammensetzung, und die Arten der Gattung *Ceratium* nahmen einen größeren Anteil im Taxon ein. *Ceratium* cf. *tripos* trug am Hang und an der Station Ozeanisch (küstennah) etwa 15-18% zum gesamten Taxon Dinoflagellata bei (Abb. 12). Die Art *Ceratocoris* cf. *horrida* konnte ab der Station Hang identifiziert werden, jedoch lag ihre relative Häufigkeit bei weniger als 1%, erst im küstenfernen Ozean stieg ihr Vorkommen auf über 1%. *Dinophysis* spp. waren mit zunehmender Entfernung zur Küste immer seltener vorhanden und trug im küstenfernen Ozean nur noch mit einem relativen Anteil von etwa 1% zur Zusammensetzung bei. Jedoch konnte in dieser Station die höchste Abundanz von *Ceratium* cf. *limulus* (5 467 Ind./m², relativer Anteil 1%) festgestellt werden (Abb. 12).

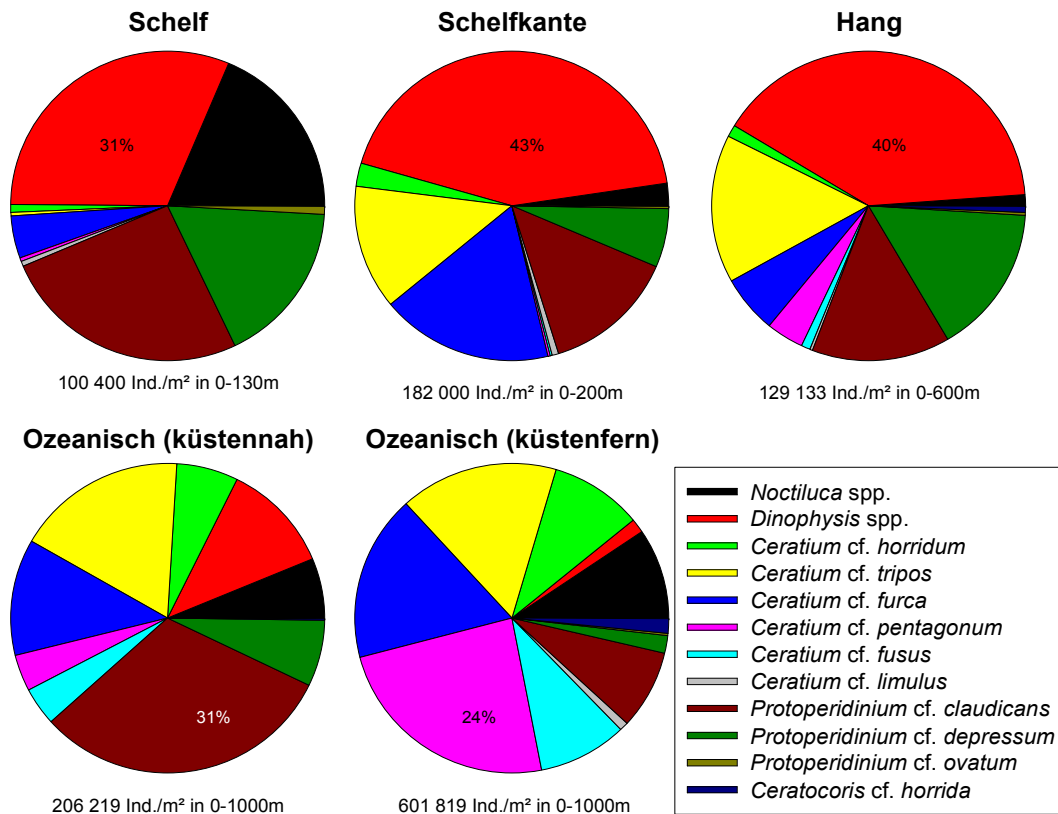


Abbildung 12: Zusammensetzung der Dinoflagellata (Mikrozooplankton). Σ Ind./m² der jeweiligen Station= 100%.Höchster prozentualer Anteil innerhalb der Stationen wurde der jeweiligen Untergruppe/Gattung/Art zugeordnet.

Die Berechnung des Shannon und Weaver Index [H] zeigte eine Zunahme vom Schelf in den Ozean (1,61 und 2,02; Tabelle 7). Die Verteilung der Organismen hingegen war sehr unterschiedlich (Tabelle 7). Auf dem Schelf und Ozeanisch (küstenfern) lagen die Werte des Gleichverteilungsindex nach Piloni [J] bei 0,20, an der Schelfkante bei 0,19, am Hang und Ozeanisch (küstennah) bei 0,23. Der Dominanzindex [D] hingegen zeigte, ebenso wie der Diversitätsindex, eine Abnahme vom Schelf in den Ozean. Auf dem Schelf lag ein Wert von 0,23 vor, dieser nahm an der Schelfkante auf 0,24 zu und fiel im Folgenden bis zur Station Ozeanisch (küstenfern) auf 0,15 ab (Tabelle 7).

Tabelle 7: Ergebnisse der Indices für die Gruppe Dinoflagellata (Mikrozooplankton).

Shannon-Weaver [H], Evenness [J] und Dominanz-Index [D] an den Stationen.

	Schelf	Schelfkante	Hang	Ozeanisch (küstennah)	Ozeanisch (küstenfern)
Shannon-Weaver-Index [H]	1,61	1,67	1,90	1,97	2,02
Gleichverteilung [J]	0,20	0,19	0,23	0,23	0,20
Dominanz-Index [D]	0,24	0,24	0,18	0,17	0,15

Taxonomische Zusammensetzung und Diversität der Ciliophora

Das Taxon Ciliophora bestand vor allem aus den Gattungen der Gruppe Tintinnida. Am stärksten waren die Gattungen *Codonellopsis* und *Cymatocyclis* vertreten (Abb. 13), auf dem Schelf betrug ihre relativen Anteile 44% (18 667 Ind./m², *Codonellopsis* spp.) und 25% (*Cymatocyclis* spp.).

Die Untergruppe Zoothamniidae wurde nur an der Schelfkante anhand eines ausgezählten Individuums der Probe identifiziert (relative Häufigkeit <1%) und kam an keiner anderen Station vor. Ebenso lag für die Gattung *Epiplocyclus* die höchste Beteiligung am Taxon Ciliophora mit einem relativen Anteil von 19% (16 000 Ind./m²) an der Schelfkante vor (Abb. 13). Die übrigen Gattungen nahmen meist relative Anteile von 1-2% und vereinzelt auch bis 5% an.

Bis zur Station Ozeanisch (küstennah) besaßen *Codonellopsis* spp. relative Anteile von bis zu 61%, folgend sank die relative Häufigkeit dieser Gattung auf 36% an der Station Ozeanisch (küstenfern, Abb. 13). Häufig stiegen die Abundanzen und relativen Häufigkeiten der *Codonellopsis* spp. innerhalb der SMZ an, so betrug im Tiefenintervall 50-100 m der ozeanisch, küstenfernen Station die Abundanz 236 Ind./m³ und stieg bis 400 m auf 318 Ind./m³ an. Die insgesamt höchste Abundanz besaßen jedoch *Cymatocyclis* spp. mit 4 334 Ind./m³ an der Station Ozeanisch (küstenfern), diese Gattung verlor mit zunehmender Tiefe an Bedeutung, behielt jedoch die zweit höchste relative Häufigkeit mit mehr als 1% in 600-1000 m Tiefe.

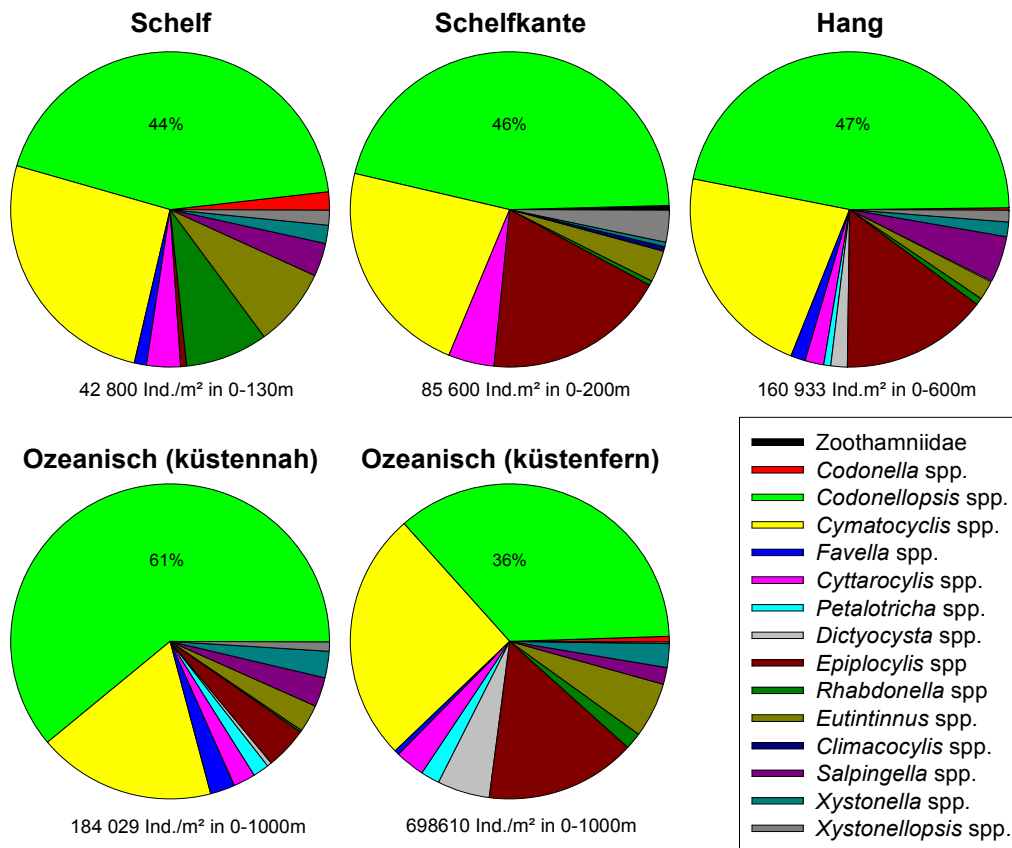


Abbildung 13: Zusammensetzung der Ciliophora (Mikrozooplankton). Σ Ind./ m² der jeweiligen Station= 100%.Höchster prozentualer Anteil innerhalb der Stationen wurde der jeweiligen Untergruppe/Gattung/Art zugeordnet.

Der Diversitätsindex nach Shannon und Weaver [H] zeigte, dass die Werte vom Schelf zur Station Ozeanisch (küstennah) von 1,57 auf 1,13 abnahmen. An der Station Ozeanisch (küstenfern) hingegen betrug der Diversitätsindex 1,88 und war somit am höchsten (Tabelle 8). Die Individuen waren an den Stationen alle sehr ungleich verteilt, so betrug der Gleichverteilungsindex [J] auf dem Schelf 0,22 und nahm ebenso wie der Index der Dominanz zur Station Ozeanisch (küstennah) ab ([J]= 0,14), auch hier stieg der Wert in der ozeanisch, küstenfernen Station an ([J]= 0,20). Die höchste Dominanz wurde mit [D]=0,52 an der ozeanisch, küstennahen Station festgestellt, die niedrigste mit [D]= 0,20 hingegen Ozeanisch (küstenfern).

Tabelle 8: Ergebnisse der Indices für die Gruppe Ciliophora (Mikrozooplankton).

Shannon-Weaver [H], Evenness [J] und Dominanz-Index [D] an den Stationen.

	Schelf	Schelfkante	Hang	Ozeanisch (küstennah)	Ozeanisch (küstenfern)
Shannon-Weaver-Index [H]	1,57	1,46	1,45	1,13	1,88
Gleichverteilung [J]	0,22	0,19	0,18	0,14	0,20
Dominanz-Index [D]	0,30	0,29	0,34	0,52	0,20

Taxonomische Zusammensetzung und Diversität der Radiolaria

Innerhalb des Taxons Radiolaria konnten 11 verschiedenen Gruppen identifiziert werden (Abb. 13). Auf dem Schelf dominierte die Gruppe Actinomidae und besaß eine relative Häufigkeit von 52% (6 000 Ind./m², Abb. 14).

An der Schelfkante waren insgesamt nur drei Untergruppen vertreten, wobei die Gruppe Collospheridae einen relativen Anteil von 79% (10 400 Ind./m²) der Radiolaria besaß und ihre höchste Abundanz mit 8 000 Ind./m³ innerhalb der SMZ (100-200 m).

Der relative Anteil an Individuen der Gruppe Theopertidae (14%) war am Hang am höchsten (Abb. 14) und verlor in den ozeanischen Station wieder an Bedeutung.

In der Station Ozeanisch (küstennah) lag für die Gruppe Plagonidae die höchste relative Häufigkeit mit 9% vor und die Gruppe Challengeridae erreichte hier ihren höchsten relativen Anteil mit 20% (13 724 Ind./m²).

Die Gruppe Acantharia dominierte mit einem relativen Anteil von 31% (insg. 48%) die ozeanisch, küstenferne Station (Abb. 14). Zu den Acantharia zählt auch die Untergruppe Diplocinidae (17%).

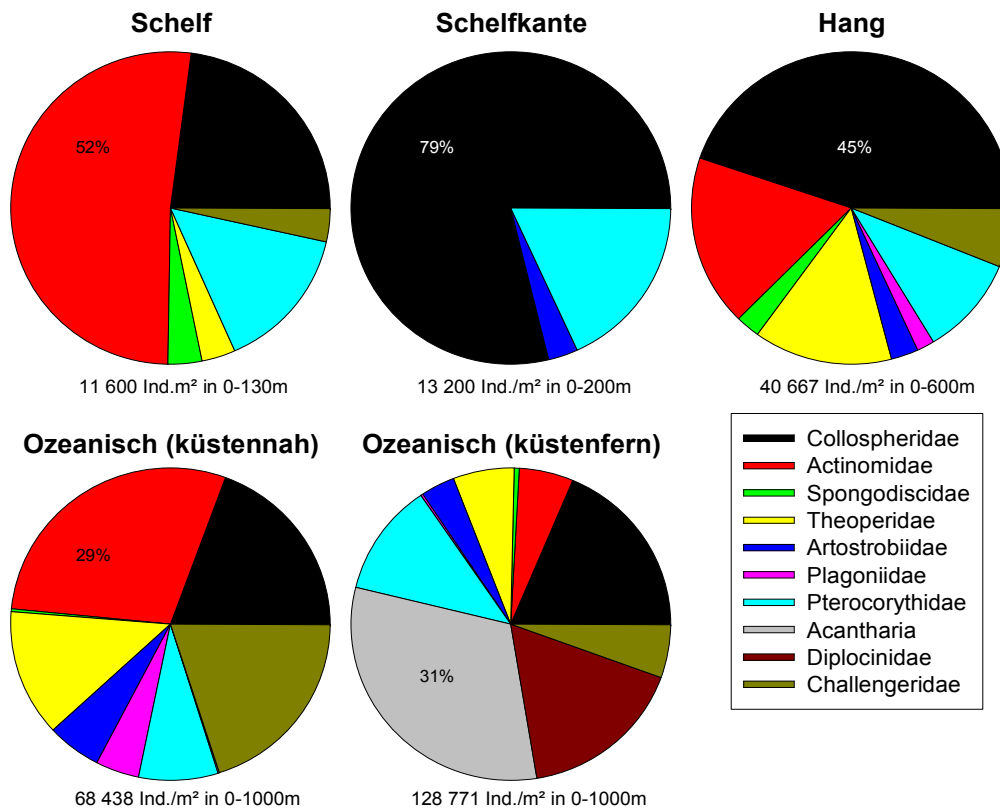


Abbildung 14: Zusammensetzung der Radiolaria (Mikrozooplankton). Σ Ind./ m² der jeweiligen Station = 100%.Höchster prozentualer Anteil innerhalb der Stationen wurde der jeweiligen Untergruppe/Gattung/Art zugeordnet.

Die Diversität nach Shannon und Weaver [H] war in dieser Gruppe an der Schelfkante mit 0,66 am niedrigsten und an der Station Ozeanisch (küstennah) mit einem Wert von 1,54 am höchsten, ebenso verhielt es sich mit der Gleichverteilung [J] (Tabelle 9). Der Gleichverteilungsindex nach Piloni ergab an der Schelfkante einen Wert von 0,13 (niedrigste), am Hang 0,24 (höchste) und Ozeanischen (küstennah) 0,23, in der küstenfernen Station hingegen sank der Gleichverteilungsindex auf 0,17. Der Dominanzindex nach Simpson [D] nahm auf dem Schelf einen Wert von 0,38 an, an der Schelfkante hingegen wurde die Gruppe Radiolaria von wenigen Gruppen dominiert ([D]= 0,60).

Tabelle 9: Ergebnisse der Indices für die Gruppe Radiolaria (Mikrozooplankton).

Shannon-Weaver [H], Gleichverteilung [J] und Dominanz-Index [D] an den Stationen.

	Schelf	Schelfkante	Hang	Ozeanisch (küstennah)	Ozeanisch (küstenfern)
Shannon-Weaver-Index [H]	1,26	0,66	1,35	1,54	1,31
Gleichverteilung [J]	0,22	0,13	0,24	0,23	0,17
Dominanz-Index [D]	0,38	0,60	0,26	0,27	0,35

Zusammensetzung der Larvenstadien

Die Zusammensetzung der Larvenstadien bestand vorwiegend aus Nauplien der Großgruppe Crustacea, häufig mit relativen Anteilen von 99%. Jedoch konnten auch einige Larvenstadien zur Gruppe Echinodermata (Pluteus-Larven) gehörend, identifiziert werden, sowie Larven der Gruppen Annelida, Cnidaria und Mollusca (Abb. 15).

Auf dem Schelf betrug der relative Anteil an Pluteus Larven ca. 27% (38 534 Ind/m²), mit der höchsten Abundanz von 973 Ind/m³ innerhalb der SMZ (100-130 m) und nahm mit zunehmender Entfernung zur Küste meistens relative Häufigkeiten von weniger als 0,5% an (Abb. 15). In der Station Ozeanisch (küstenfern) waren Larven der Gruppe Echinodermata hingegen nicht vertreten (Abb. 15). Die Anteile anderer Larvenstadien sanken innerhalb der SMZ ab.

Der Anteil an Planula Larven auf dem Schelf war kleiner als 0,5% (400 Ind/m²), ebenso die Abundanz an Mitraria Larven (Annelida), welche nur auf dem Schelf und Ozeanisch (küstennah, ~0,03%) vorkamen. Larven der Gruppe Mollusca waren auf dem Schelf mit ihrer höchsten relativen Häufigkeit von etwa 0,6% (933 Ind./m²) vertreten.

Mit Entfernung zur Küste nahm der Anteil an Nauplien zu. Am Hang konnten einige Larven der Gruppe Polychaeta (Annelida) mit einem relativen Anteil von ca. 1% (3 200 Ind./m²) identifiziert werden (Abb. 15).

In der Station ozeanisch, küstennah wurden fast ausschließlich Nauplien gefunden da der prozentuale Anteil aller anderen Larven insgesamt weniger als 1% betrug.

Im küstenfernen Ozean wurden vereinzelt Planula Larven mit einem Anteil von <0,5% identifiziert (Abb. 15). Im Schnitt waren die höchsten Abundanzen aller Gruppen in den oberen Tiefenintervallen, mit Ausnahme der Pluteus Larven auf dem Schelf, vorzufinden.

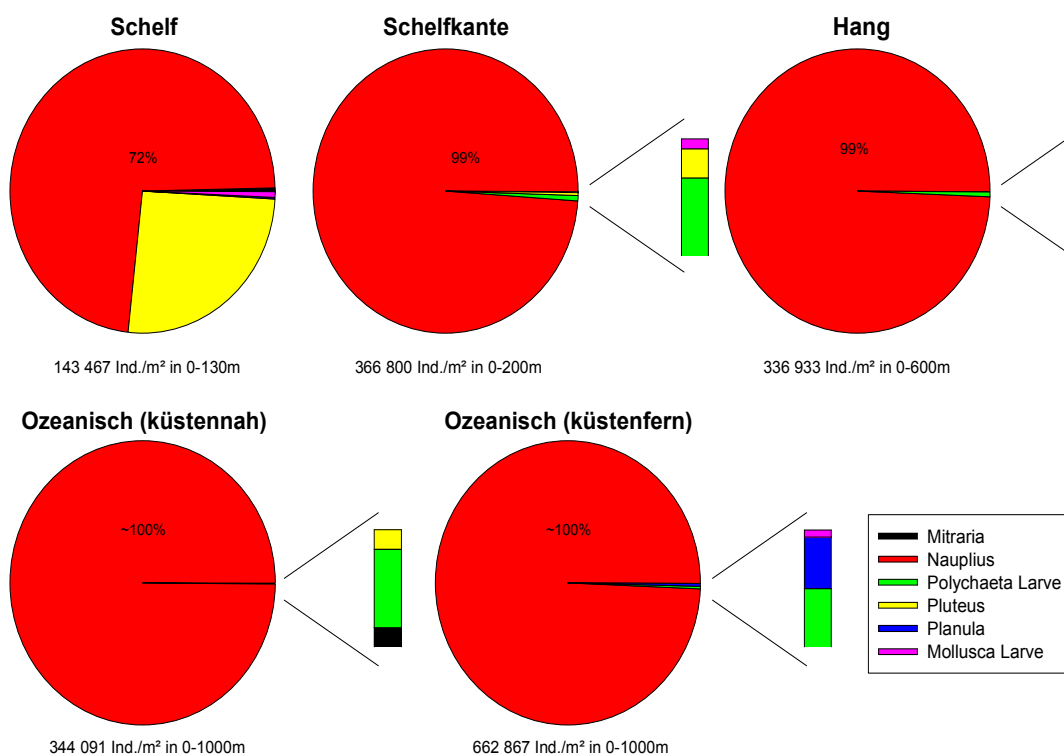


Abbildung 15: Zusammensetzung der Larvenstadien (Mikrozooplankton). Σ Ind./ m² der jeweiligen Station = 100%. Höchster prozentualer Anteil innerhalb der Stationen wurde der jeweiligen Untergruppe/Gattung/Art zugeordnet.

Taxonomische Zusammensetzung und Diversität der Crustacea

Die Zusammensetzung der Großgruppe Crustacea war auf dem Schelf und an der Schelfkante vorwiegend durch die Gattungen *Oncea* (49% und 32%), *Oithona* (13% und 6%), und Individuen der Gruppe Calanoida (25% und 47%) geprägt (Abb. 16). *Oncea* spp. besaß hierbei ihre höchsten Abundanzen (Schelf 1 053 Ind./m³, Schelfkante

228 Ind./m³) innerhalb der SMZ (100-130 m und 100-200 m). Auf dem Schelf wurden des Weiteren einzelne Individuen der Gruppe Cladocera (<0,5%) mit 8 Ind./m³ im Tiefenintervall 50-100 m identifiziert. An der Schelfkante wurde bereits eine Zunahme der Gruppe Calanoida beobachtet.

Ab der Station Hang nahm die Zahl an Calanoida mehr als die Hälfte der Großgruppe ein, relative Häufigkeiten von 70-72%. Die Anzahl an *Oncea* spp. und *Oithona* spp. nahm mit Entfernung zur Küste stark ab, jedoch wurden für die Gattung *Oncea* weiterhin die höchsten relativen Häufigkeiten in der SMZ festgestellt.

Die relative Häufigkeit der Individuen, die zur Gattung *Microsetella* gehören, stiegen am Hang und der Station Ozeanisch (küstennah) auf 11% an (Abb. 16).

In der Station Ozeanisch (küstenfern) besaßen die Calanoida ihre höchste relative Häufigkeit mit 32% im oberen Tiefenintervall und fielen im Folgenden auf 2% ab, in der SMZ stieg ihr relative Anteil jedoch erneut auf 14% an. Bis auf *Oncea* spp. und der Gruppe Calanoida, nahmen bei alle weiteren Gattungen und Gruppen die Abundanzen innerhalb der SMZ ab.

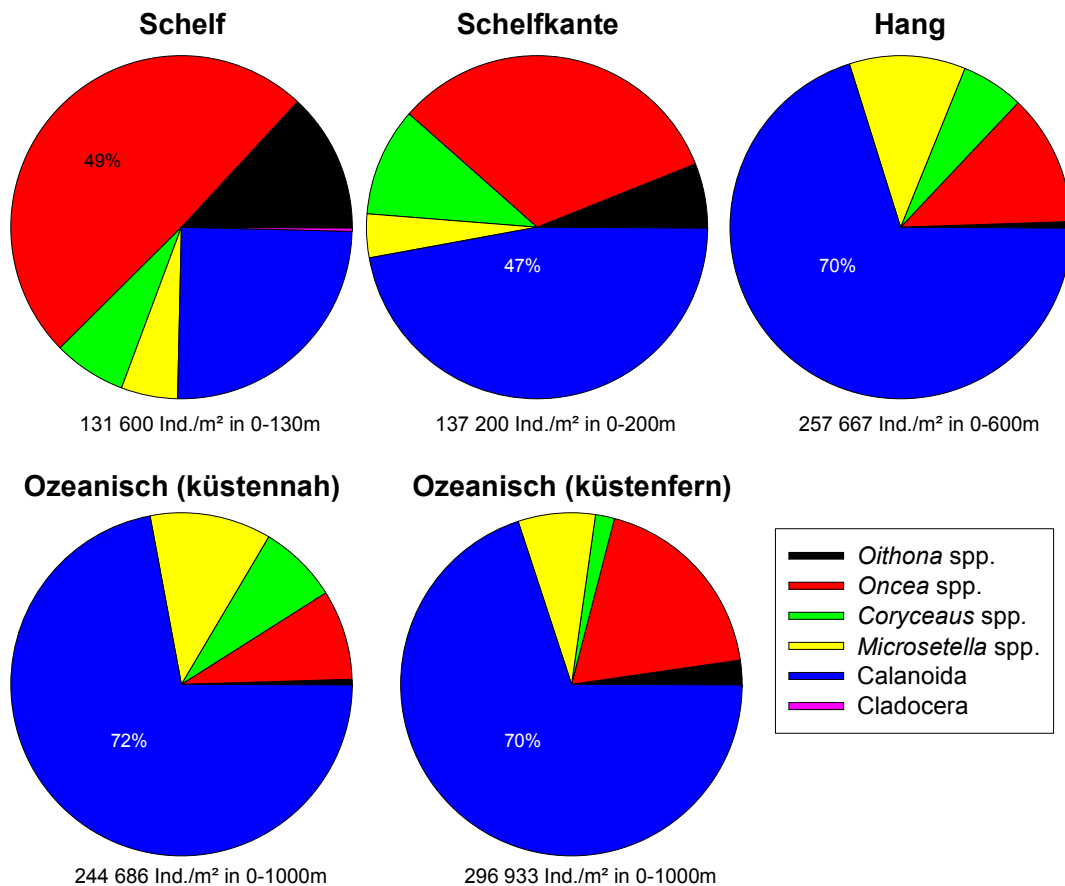


Abbildung 16: Zusammensetzung der Crustacea (Mikrozooplankton). Σ Ind./ m² der jeweiligen Station = 100%. Höchster prozentualer Anteil innerhalb der Stationen wurde der jeweiligen Untergruppe/Gattung/Art zugeordnet.

Die Diversität innerhalb der Gruppe Crustacea war auf dem Schelf am höchsten und nahm mit der Entfernung zur Küste ab. So betrug der Shannon und Weaver Index [H] auf dem Schelf 1,34 und an der Station Ozeanisch (küstenfern) 0,86. Zudem betrug der Gleichverteilungsindex (eng. Evenness) nach Pielou [J] auf dem Schelf 0,16 und an der ozeanisch, küstenfernen Station 0,10 (Tabelle 10). Die Dominanz einzelner Gruppen nahm hingegen mit der Entfernung zur Küste zu, somit betrug der Dominanzindex nach Simpson [D] auf dem Schelf 0,32 und Ozeanisch (küstenfern) 0,58. Am Hang waren die Werte der Indices für Diversität und der Gleichverteilung niedriger, sowie der Dominanzindex höher, als an der Station Ozeanisch (küstennah).

Tabelle 10: Ergebnisse der Indices für die Gruppe Crustacea (Mikrozooplankton).

Shannon-Weaver [H], Gleichverteilung [J] und Dominanz-Index [D] an den Stationen.

	Schelf	Schelfkante	Hang	Ozeanisch (küstennah)	Ozeanisch (küstenfern)
Shannon-Weaver-Index [H]	1,34	1,20	0,9	1,03	0,86
Gleichverteilung [J]	0,16	0,15	0,11	0,13	0,10
Dominanz-Index [D]	0,32	0,38	0,56	0,46	0,58

Anteil an Exuvien

Das Verhältnis von Exuvien zu Copepoda war in allen Stationen gering, meistens mit relativen Anteilen der Copepoda von über 90% (Abb. 17). Die meisten Exuvien wurden, verhältnismäßig, auf dem Schelf nachgewiesen (26 667 Ex./m²), wohingegen die wenigsten im küstenfernen Ozean gefunden wurden (5 400 Ex./m²). Auf dem Schelf wurden die meisten Exuvien im Tiefenintervall 100-130 m (SMZ) ausgezählt mit einer Abundanz von 560 Ex./m³ (27%; Abb. 17). Mit zunehmender Tiefe konnte ein Rückgang der Exuvien wie auch der Abundanz der Copepoda festgestellt werden, jedoch ein Anstieg des relativen Anteils an Exuvien.

An der Schelfkante betrug die höchste relative Häufigkeit an Exuvien 7% im Tiefenintervall 100-200 m (SMZ), am Hang hingegen sogar 13% in 200-400 m Tiefe bei einer Sauerstoffkonzentration von durchschnittlich 29 µmol/L.

An beiden ozeanischen Stationen kamen Tiefenintervalle völlig frei von Exuvien vor. An der Station Ozeanisch (küstennah) im Tiefenintervall 0-25 m und an der Station Ozeanisch (küstenfern) in den Tiefenintervallen 50-25 m und 100-200 m. An allen anderen Stationen konnten in jedem Tiefenintervall Exuvien beobachtet werden (Abb. 17).

Die höchste Abundanz an Copepoda lag im küstenfernen Ozean vor, im Tiefenintervall 0-25 m mit 4 928 Ind./m³ (99%) die Abundanz an Exuvien betrug hingegen nur 48 Ex./m³ (1%), der Sauerstoffgehalt betrug hier durchschnittlich 221 µmol/L (Tabel-

le 4). Die höchste relative Häufigkeit an Exuvien lag in dieser Station bei 9% in einer Tiefe von 400-600 m, bei einem Sauerstoffgehalt von 47 $\mu\text{mol/L}$ vor.

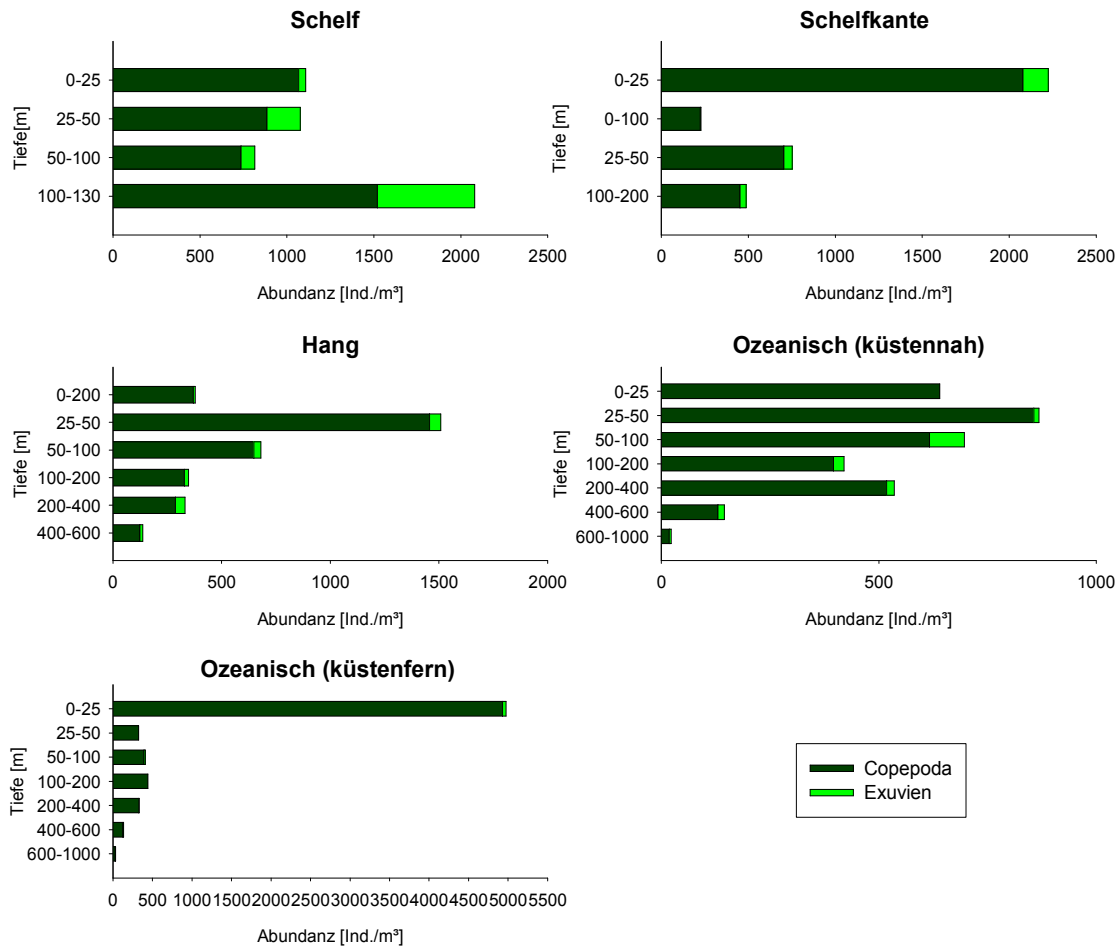


Abbildung 17: Verhältnis der Exuvien zu Copepoda (Mikrozooplankton). [Ind./m³; Ex./m³] pro Tiefenintervall [m].

Resümee der Mikrozooplanktonuntersuchung

Die höchsten Abundanzen konnten an allen Stationen im Oberflächenwasser vorgefunden werden, meist im Tiefenintervall 0-25 m. Am Hang war die höchste Abundanz im Tiefenintervall 25-50 m vorzufinden.

Die insgesamt höchste Abundanz mit etwas mehr als 2,5 Mio. Ind./m² wurde in der Station Ozeanisch (küstenfern) festgestellt. Auch die höchsten Abundanzen innerhalb aller Hauptgruppen wurden Ozeanisch (küstenfern) beobachtet.

Innerhalb der Gruppe Dinoflagellata wurden für die mixo- und heterotrophen Organismen der höchste Diversitätsindex ebenfalls in der Station Ozeanisch (küstenfern) mit 2,02 festgestellt, die niedrigste Diversität wurde für diese Gruppe auf dem Schelf berechnet. Mit Entfernung zur Küste wurde eine Zunahme an Individuen der mixotrophen Gattung *Ceratium* festgestellt.

Die wichtigste Gattung der Gruppe Ciliophora war *Codonellopsis* spp. Die Abundanz der Gattung nahm in allen Stationen mit zunehmender Tiefe ab, unabhängig der Sauerstoffkonzentration. Der höchste Diversitätsindex der Gruppe Ciliophora betrug 1,88 Ozeanisch (küstenfern), in der näher zur Küste gelegen Station Ozeanisch (küstennah) hingegen wurde der niedrigste Index mit 1,13 festgestellt.

In der Gruppe Radiolaria wurden vermehrt Individuen der Untergruppe Challengeridae in der SMZ vorgefunden. Diese Gruppe konnte in allen Stationen erst in Wassertiefen unter 50 m identifiziert werden. Vom Schelf in den Ozean konnte ein Wechsel in der Zusammensetzung von der Untergruppe Actinomidae, über Collospheridae hin zur Untergruppe Acantharia festgestellt werden. Der höchste Diversitätsindex betrug hier 1,54 in der Station Ozeanisch (küstennah).

Innerhalb der Gruppe Crustacea konnte der höchste Diversitätsindex (1,34) auf dem Schelf beobachtet werden. Die Abundanzen der Gruppe sanken meist mit zunehmender Tiefe ab. Die Gattung *Oncea* konnte jedoch in allen Stationen in der SMZ vorgefunden werden.

3.2.4 Mesozooplankton und Mikronekton

Zum Mesozooplankton wurden in dieser Arbeit Organismen der Größenklasse bis 5000 µm gezählt, Organismen der Siebfraktion >5000 µm wurden dem Mikronekton

zugeordnet. An allen Stationen waren die Gesamtabundanzen des Mesozooplanktons höher, als die des Mikronektons (Abb. 9).

Auf dem Schelf wurde mit $2\,285 \text{ Ind./m}^3$ die höchste Gesamtabundanz des Mesozooplanktons aller Stationen an der Oberfläche (0-25 m) festgestellt. Im Mikronekton lag die höchste Abundanz hingegen mit $21,1 \text{ Ind./m}^3$ im Tiefenintervall 25-50 m vor (Abb. 9). Die niedrigsten Abundanzen des Mesozooplanktons und Mikronektons an dieser Station wurden innerhalb der SMZ, im Tiefenintervall 50-100 m ausgezählt.

An der Schelfkante betrug die höchste Abundanz des Mesozooplanktons 315 Ind./m^3 im Tiefenintervall 25-50 m. Die wenigsten Individuen ($18,2 \text{ Ind./m}^3$) wurden hingegen in einer Tiefe von 100-200 m festgestellt (Abb. 9). Im Tiefenintervall 200-400 m wurden, trotz eines Sauerstoffgehaltes von nur $31 \mu\text{mol/L}$ $43,5 \text{ Ind./m}^3$ ausgezählt (Abb. 9). Im Mikronekton wurden im oberen Tiefenintervall (0-25 m) $5,4 \text{ Ind./m}^3$ gefangen, in einer Tiefe von 50-100 m jedoch nur $0,81 \text{ Ind./m}^3$. Auch hier konnte eine Zunahme der Abundanz ($4,1 \text{ Ind./m}^3$) im Tiefenintervall 200-400 m festgestellt werden (Abb. 9).

Am Hang betrug die Abundanz des Mesozooplanktons $62,2 \text{ Ind./m}^3$ in einer Tiefe von 25-50 m (Abb. 9). In den Tiefenintervallen 100-200 m und 200-400 m wurden die niedrigste Abundanz mit $0,33 \text{ Ind./m}^3$ und $0,07 \text{ Ind./m}^3$ festgestellt. Die meisten Individuen mit 106 Ind./m^3 wurden in einer Tiefe von 400-600 m gefunden. Für das Mikronekton wurden im Tiefenintervall 25-50 m $3,1 \text{ Ind./m}^3$ ausgezählt. Folgend wurden im Tiefenintervallen 100-200 m im Mikronekton Abundanzen von $0,07 \text{ Ind./m}^3$ und weniger als $0,01 \text{ Ind./m}^3$ in einer Tiefe von 200-400 m festgestellt. Im Tiefenintervall 400-600 m nahm die Abundanz bis auf $28,5 \text{ Ind./m}^3$ zu und erreichte den höchsten Wert aller Stationen (Abb. 9).

Die höchste Abundanz des Mesozooplankton der ozeanisch, küstenfernen Station lag in einer Tiefe von 25-50 m und wies einen Wert von 206 Ind./m^3 auf (Abb. 9), die Sauerstoffkonzentration war hier mit am höchsten ($260 \mu\text{mol/L}$; Tabelle 4). Die niedrigste Abundanz mit $5,4 \text{ Ind./m}^3$ wurde im Tiefenintervall 800-1000 m festgestellt, hier betrug der Gehalt an Sauerstoff $135 \mu\text{mol/L}$. In einer Tiefe von 200-400 m lagen die niedrigsten Sauerstoffkonzentrationen ($21 \mu\text{mol/L}$) vor (Tabelle 4), jedoch betrug die Abundanz $46,8 \text{ Ind./m}^3$. Ab einer Tiefe von 600 m nahmen die Abundanzen kontinuierlich

lich ab (Abb. 9). Für das Mikronekton wurde die höchste Abundanz mit 12,02 Ind./m³ im Tiefenintervall 25-50 m erreicht. Die wenigsten Individuen (0,63 Ind./m³) wurden auch hier in einer Tiefe von 800-1000 m gefangen. Im Tiefenintervall 400-600 m stieg die Abundanz gegenüber dem vorherigen Intervall des Mikronektons auf 2,01 Ind./m³ an und sank folgend bis auf 0,76 Ind./m³ (Abb. 9).

3.2.5 Zusammensetzung des Mesozooplanktons und Mikronektons

Das Taxon Crustacea stellte mit mehr als 60% den größten relativen Anteil des Mesozooplanktons und Mikronektons dar (Abb. 18). Lediglich im Mikronekton wurden relative Anteile von weniger als 60% erreicht, dies jedoch nur an den Stationen Hang und Ozeanisch (küstenfern). Weitere Taxa wurden als Rest zusammengefasst. Der Vergleich zeigte, dass das Mikronekton einen geringeren relativen Anteil der Crustacea aufwies als das Mesozooplankton.

Auf dem Schelf betrug der relative Anteil an Crustacea mehr als 90% des Mesozooplanktons, im oberen Tiefenintervall (0-25 m) waren 2 104 Ind./m³ dieser Gruppe vertreten und in 50-100 m Tiefe 125 Ind./m³ (Abb. 18). Der Anteil des Restes, bestehend aus den Taxa: Chaetognatha, Cnidaria, Foraminifera, Echinodermata, Mollusca, Tunicata, Fische, Annelida und diversen unbestimmten Individuen, nahm Werte zwischen 8% und 6% (0-25 m und 50-100 m) an, mit der höchsten Abundanz von 181 Ind./m³ im oberen Tiefenintervall. Im Mikronekton variierte der Anteil der Crustacea mit dem Tiefenintervall (Abb. 18). An der Oberfläche betrug der Anteil an Crustacea etwa 55% (5,6 Ind./m³), im Tiefenintervall 25-50 m hingegen dominierte diese Großgruppe mit 94% (Abb. 18). Vom Schelf zum Hang war im Mesozooplankton, wie auch im Mikronekton eine relative Abnahme des Anteils an Crustacea sichtbar.

An der Schelfkante wurden die geringsten relativen Anteile mit 75% der Crustacea des Mesozooplanktons im Tiefenintervall 50-100 m festgestellt (36,4 Ind./m³) (Abb. 18). Relative Häufigkeiten von 94% wurden hingegen in Tiefen von 25-50 m und 89% in 100-200 m und 200-400 m (SMZ) beobachtet (Abb. 18). Die niedrigste Abundanz mit 16,3 Ind./m³ der Gruppe Crustacea im Mesozooplankton wurde im Tiefenintervall 100-200 m bei einer Sauerstoffkonzentration von 41 µmol/L festgestellt. Ebenso wie im Mesozooplankton, wurden die höchsten relativen Anteile an Crustacea des Mikronek-

tons in den Tiefenintervallen 25-50 m mit 82% (1,5 Ind./m³) und 200-400 m mit 84% (3,5 Ind./m³) ermittelt (Abb. 18). Die niedrigste Abundanz betrug hier 0,55 Ind./m³ im Tiefenintervall 50-100 m.

Am Hang war ein starker relativer Zuwachs des Restes sichtbar (Abb. 18). Die höchste Abundanz des Restes im Mesozooplankton betrug 8,2 Ind./m³ im Tiefenintervall 25-50 m der Station. Die höchsten relativen Anteile des Restes betrugen 30% (1,3 Ind./m³) im Tiefenintervall 50-100 m und 15% in 100-200 m Tiefe. Ab dem Tiefenintervall 400-600 m war eine erneute Zunahme des Anteils an Crustacea auf 97% feststellbar. Die höchste relative Häufigkeit anderer Taxa (Rest) wurde im Mikronekton im Tiefenintervall 200-400 m mit 67% (<0,01 Ind./m³) erreicht. Auch hier stieg der relative Anteil der Crustacea auf 90% im Tiefenintervall 400-600 m (Abb. 18).

An der ozeanisch, küstenfernen Station lies sich eine erneute Zunahme des Anteils an Crustacea feststellen. Im Mesozooplankton betrug der niedrigste relative Anteil 66% (7,8 Ind./m³ in 50-100 m) und der Höchste 99% (85,4 Ind./m³ in 400-600 m) (Abb. 18). Der relative Anteil der Crustacea war im Mikronekton zwar insgesamt kleiner als im Mesozooplankton, jedoch waren auch hier die Werte höher als am Hang. Somit lag der niedrigste relative Anteil bei 33% (0,64 Ind./m³) in 50-100 m Tiefe und die größte relative Häufigkeit mit 91% (1,8 Ind./m³) im Tiefenintervall 400-600 m bei einer Sauerstoffkonzentration von 47 µmol/L (Abb. 18, Tabelle 2).

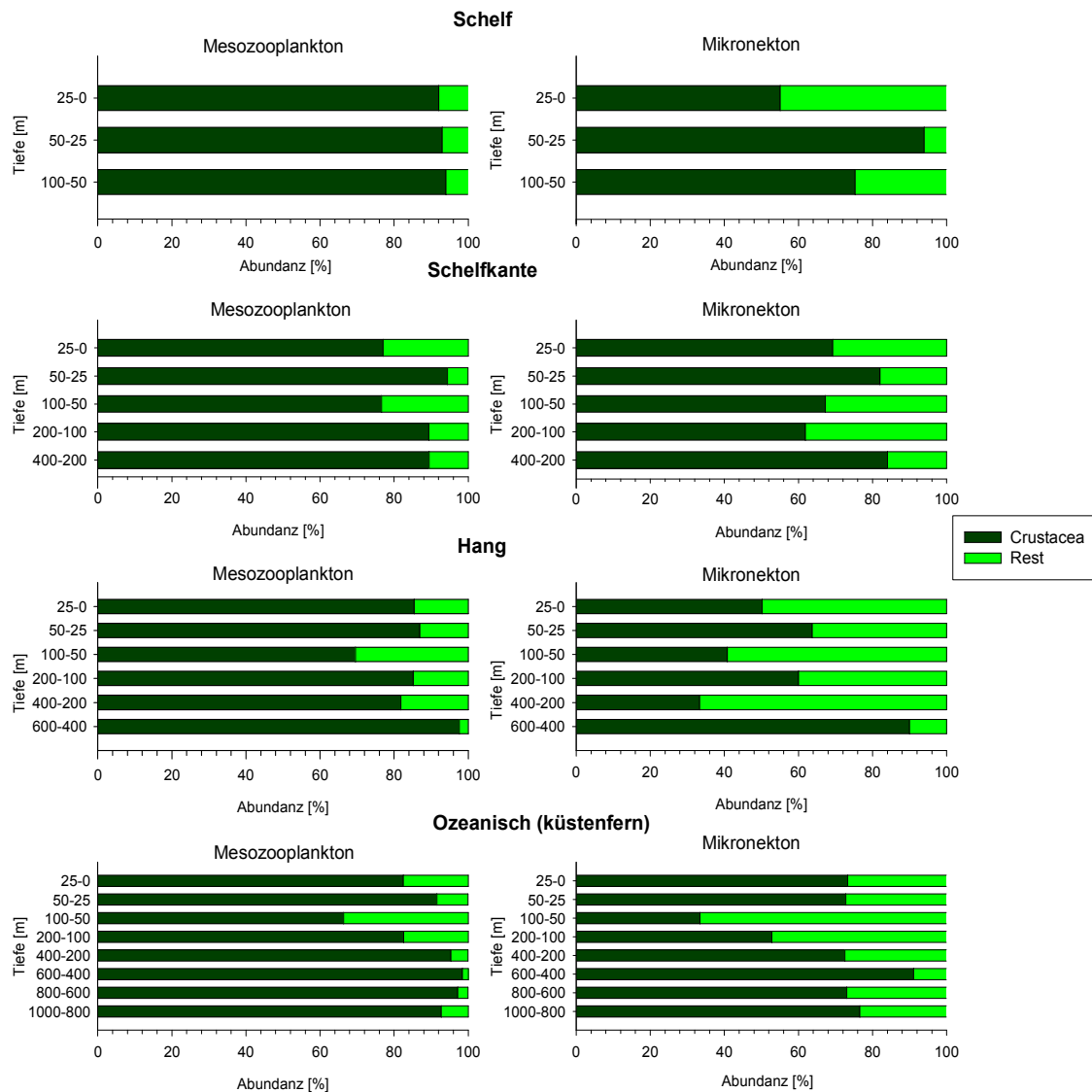


Abbildung 18: Relative Zusammensetzung des Mesozooplanktons und Mikronektons.
Dunkel grün Crustacea, hell grün übrige Taxa zusammengefasst als Rest. Ind./m² pro Tiefenintervall= 100%.

Taxonomische Zusammensetzung und Diversität der Crustacea

Überwiegend setzen sich die Crustacea aus Individuen der Untergruppe Copepoda zusammen (s. Abb. 19). Auf dem Schelf wurde der niedrigste relative Anteil an Calanoida des Mesozooplanktons mit 77% (96,2 Ind./m³) in einer Tiefe von 50-100 m aus gezählt. Die Gattungen *Oithona* und *Oncea* besaßen in dieser Tiefe ihre höchsten Abundanzen mit 10% und 7%. (Abb. 19). *Coryceaus* spp. und die Gruppe Sapphirinidae (nur im Tiefenintervall 0-25 m) waren auf dem Schelf in allen Tiefen nur gering mit

relativen Häufigkeiten von 0,9% und weniger vorhanden (Abb. 19). Nicht zum Taxon Copepoda zählten die Crustacea Gruppen Ostracoda, Cladocera, Mysidacea, Amphipoda, alle mit relativen Anteilen zwischen 0,6% und <0,01%, und die Gruppe Euphausiacea mit Anteilen bis zu 5% in der Tiefe (50-100 m). Im Mikronekton lag der höchste relative Anteil an Calanoida bei 90% im oberen Tiefenintervall, die höchste relative Häufigkeit der *Oithona* spp. lagen bei 10% (0,09 Ind./m³) und *Oncea* spp. hingegen bei 5% (in 50-100 m Tiefe (Abb19)). Die Gruppe Euphausiacea besaß im Mikronekton eine Abundanz von bis zu 1,3 Ind./m³ (7%) im Tiefenintervall 25-50 m, in diesem Tiefenintervall wurde mit 12% der höchste relative Anteil der Mysidacea innerhalb aller Stationen festgestellt. Alle weiteren Gruppen waren mit relativen Häufigkeiten von weniger als 1% vertreten.

An der Schelfkante setzte sich das Taxon Crustacea aus den Gruppen Copepoda, Ostracoda, Amphipoda, Decapoda, Cladocera, Euphausiacea und Mysidacea zusammen. Die Untergruppe Calanoida erreichte im Mesozooplankton einen maximalen relativen Anteil von 93% innerhalb der SMZ (200-400 m). Vereinzelt wurden Individuen der Untergruppe Sapphirinidae in den oberen Tiefenintervallen bis 100 m mit relativen Häufigkeiten von 0,1% und weniger gefunden (Abb. 19). Während der relative Anteil an *Coryceus* spp. und *Oncea* spp. stieg, 2% und 21% im Tiefenintervall 100-200 m, fielen die relativen Abundanzen der *Oithona* spp. auf unter 8% an der Schelfkante ab. Die relativen Anteile der Gruppen Cladocera stiegen in dieser Station bis auf 2% (2,7 Ind./m³) im oberen Tiefenintervall an. Die übrigen Gruppen besaßen jedoch weiterhin relative Häufigkeiten von 1% und weniger (Abb. 19). Die Gruppe Mysidacea wurde im Mesozooplankton und im Mikronekton nur im Tiefenintervall 200-400 m bei einem Sauerstoffgehalt von 27 µmol/L identifiziert. Die Calanoida besaßen im Mikronekton eine relative Häufigkeit von 90% in 200-400 m Tiefe. Die Gruppe Euphausiacea war im Mikronekton mit relativen Anteilen von bis zu 30% (50-100 m) vertreten.

Im oberen Tiefenintervall am Hang nahm der Anteil an *Coryceus* spp. bis auf 4% im Mesozooplankton zu. Im Tiefenintervall 200-400 m erlangte die Gattung *Oncea* ihre höchste relative Häufigkeit mit 21% (0,01 Ind./m³), die Gruppe Euphausiacea mit 3% und die Ostracoda mit 2% (Abb. 19). Nur an dieser Station wurden im Mesozooplankton, Individuen der Gattung *Microsetella* (0,03%, nur im Tiefenintervall 400-600 m) gefunden. Die Untergruppen Sapphirinidae und Cladocera fehlten an dieser Station vollständig, zusätzlich fehlte im Mesozooplankton zudem die Gruppe Mysidacea und im

Mikronekton die Ostracoda. Im Tiefenintervall 0-25 m wurde die höchsten relativen Häufigkeiten der *Oithona* spp. und *Corycaeus* spp. des Mikronekton mit 13% (0,15 Ind./m³) und 6% (0,06 Ind./m³) festgestellt (Abb. 19). In dieser Tiefe wurden die Gruppen Decapoda und Amphipoda mit einem Anteil von 0,8% identifiziert (Abb. 19), mit zunehmender Tiefe konnten keine weiteren Individuen der Decapoda gefunden werden. Im Tiefenintervall 200-400 m (O₂ = 29 µmol/L) konnten lediglich Individuen der Gruppe Euphausiacea identifiziert werden, die somit einen Anteil von 100% innehielten. Die Gruppe Mysidacea hingegen wurde nur im Tiefenintervall 400-600 m identifiziert mit einem relativen Anteil von 0,1% (Abb. 19).

Im küstenfernen Ozean waren im Mesozooplankton alle Gruppen, bis auf die Gattung *Microsetella*. und die Untergruppe Sapphirinidae, vertreten. Die Individuen der Untergruppe Mysidacea waren jedoch nur im oberen Tiefenintervall mit einem Anteil von 0,03% vertreten (Abb. 19). Decapoda und *Corycaeus* spp. kamen bis in eine Tiefe von 400 m vor, jedoch ebenfalls nur mit relativen Anteilen von 1% und weniger. In einer Tiefe von 25-50 m konnten hier Individuen der Gruppe Cladocera ausgezählt werden (0,02%). Es konnte die höchste relative Häufigkeit der Ostracoda mit 7% (0,38 Ind./m³) in dieser Station im Tiefenintervall 800-1000 m festgestellt werden. Im Mikronekton wurde für die Gattung *Oithona* die höchste relative Häufigkeit mit 52% (0,33 Ind./m³) in einer Tiefe von 50-100 m ermittelt, die *Oncaea* spp. hingegen erreichten mit 16% (0,16 Ind./m³) ihren relativ höchsten Anteil innerhalb der SMZ (200-400 m) (Abb. 19). Die Gruppe Ostracoda erreichte auch im Mikronekton in einer Tiefe von 800-1000 m seine höchste relative Häufigkeit mit 3% (0,01 Ind./m³), ebenso die Gruppe Mysidacea mit 2%.

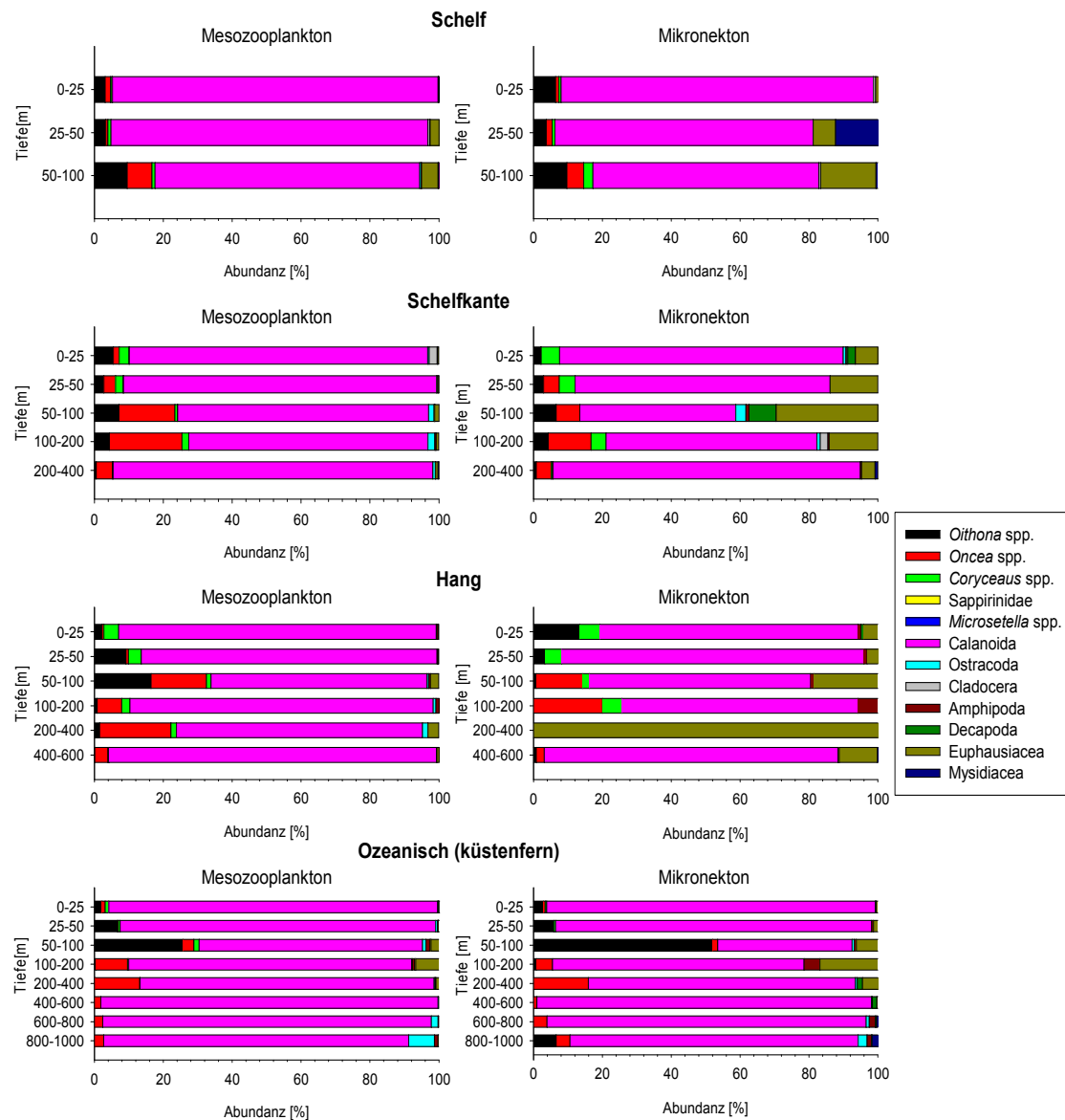


Abbildung 19: Zusammensetzung der Crustacea (Mesozooplankton und Mikronekton).
Ind./m² pro Tiefenintervall= 100%, Anteilig die Untergruppen und Gattungen.

Die Berechnung der Diversität nach Shannon und Weaver [H] ergab für die Crustacea des Mesozooplanktons, wie auch für das Mikronekton eine Abnahme mit der Entfernung zur Küste, wobei die höchsten Werte mit 0,54 (Mesozooplankton) und 0,84 (Mikronekton) an der Schelfkante vorlagen. Der Gleichverteilungsindex [J] betrug im Mesozooplankton auf dem Schelf und Ozeanisch (küstenfern) einen Wert von 0,06, an der Schelfkante und am Hang lag er hingegen bei 0,09 und 0,08. Für das Mikronekton lagen die Werte der Gleichverteilung zwischen 0,37 (Schelfkante) und 0,14 (Ozeanisch, küstenfern) (s. Tabelle 9). Die Werte der Dominanz [D] nahmen im Mesozooplankton,

wie auch im Mikronekton mit der Entfernung zur Küste zu und erreichten Ozeanisch (küstenfern) Werte von 0,86 und 0,83.

Tabelle 11: Ergebnisse der Indices für die Gruppe Crustacea des Mesozooplanktons und Mikronektons: Shannon-Weaver [H], Evenness [J] und Dominanz-Index [D] an den Stationen. MP= Mesozooplankton, MN= Mikronekton

	Schelf		Schelfkante		Hang		Ozeanisch (küstenfern)	
	MP	MN	MP	MN	MP	MN	MP	MN
Shannon-Weaver-Index [H]	0,51	0,82	0,54	0,84	0,40	0,56	0,36	0,43
Gleichverteilung [J]	0,06	0,25	0,09	0,37	0,08	0,17	0,06	0,14
Dominanz-Index [D]	0,21	0,62	0,78	0,65	0,84	0,73	0,86	0,83

Taxonomische Zusammensetzung des Restes

Die Zusammensetzung des Mesozooplankton-Restes an den Stationen Schelf und Schelfkante wurde durch die Gruppe Tunicata mit relativen Anteilen von 81% (146 Ind./m³) und 55% (19,5 Ind./m³) im oberen Tiefenintervall dominiert. Mit zunehmender Tiefe nahm ihr relativer und absoluter Anteil ab. Nur auf dem Schelf wurden einige Individuen der Echinodermata im Tiefenintervall 25-50 m gefunden, jedoch lagen ihre Anteile bei 0,01% (Abb. 20). Zudem wurde in dieser Tiefe an der Schelfkante die höchste relative Häufigkeit der Gruppe Fische mit 10% (1,9 Ind./m³) beobachtet. Auf dem Schelf und an der Schelfkante traten im Tiefenintervall 50-100 m vermehrt Larvenstadien der Crustacea mit relativen Häufigkeiten von 32% und 62% auf. Im Mesozooplankton setzen sich diese vorwiegend aus Nauplienstadien zusammen. An der Schelfkante innerhalb der SMZ (200-400 m) konnte eine Zunahme der relativen Häufigkeit der Cnidaria auf 42% beobachtet werden, so wie der höchste relative Anteil an Chaetognatha im Mesozooplankton mit 40%.

Der Rest bestand im Mikronekton vor allem aus den Individuen der Gruppe Chaetognatha (Abb. 20). Auf dem Schelf und an der Schelfkante wurden Individuen der Tunicata mit einem Anteil von 43% (0,56 Ind./m³) im Tiefenintervall 25-50 m und 28% an der Schelfkante in einer Tiefe von 0-25 m gefunden. Die Chaetognatha waren auf dem Schelf im Tiefenintervall 25-50 m nicht vertreten. An der Schelfkante betrug ihr relativer Anteil 50% (0,14 Ind./m³) im oberen Tiefenintervall (0-25 m). Für das Mikronekton wurden an den Stationen Schelf und Schelfkante in der Gruppe "Larven der Crustacea" relative Häufigkeiten von 18% (25-50 m) und 11% (50-100 m) bestimmt (Abb. 20). Im Gegensatz zum Mesozooplankton handelte es sich jedoch vorwiegend um Malacostracalarven. Die Fische erreichten an der Schelfkante in 25-50 m Tiefe ihre höchste relative Häufigkeit (12%) im Mikronekton. Im Tiefenintervall 100-200 m wurde die höchste relative Häufigkeit der Chaetognatha mit 82% festgestellt.

Am Hang erreichte die Gruppe Tunicata im Mesozooplankton, wie auch im Mikronekton selten Anteile über 2% (Abb. 20). Die höchste relative Häufigkeit der Tunicata lag im Mesozooplankton mit 9% im Tiefenintervall 100-200 m vor. Des Weiteren wurde am Hang die höchste relative Häufigkeit der Mollusca mit 34% (2,1 Ind./m³) im oberen Tiefenintervall für das Mesozooplankton festgestellt, so wie der größte relative Anteil an Foraminifera mit 29% in einer Tiefe von 200-400 m bei einer Sauerstoffkonzentration von 28 µmol/L. Im Mesozooplankton betrug die höchste relative Häufigkeit an Chaetognatha 74% in 400-600 m Tiefe (Abb. 20). Im Mikronekton hingegen erreichten die Chaetognatha in den Tiefenintervallen von 100 bis 400 m eine relative Häufigkeit von 100%, es waren keine weiteren Gruppen in diesen Tiefen vertreten. Crustacea-Larven waren mit 15% (25-50 m) im Mikronekton vertreten und Annelida mit 2% (0,07 Ind./m³) im Tiefenintervall 400-600 m.

Im ersten Tiefenintervall (0-25 m) der ozeanisch, küstenfernen Station nahmen die Tunicata des Mesozooplanktons einen relativen Anteil von 59% (17 Ind./m³) an (Abb. 20). Im Tiefenintervall 400-600 m und 800-1000 m wurden die insgesamt höchsten relativen Anteile der Annelida mit 12% (0,16 Ind./m³) und 13% (0,05 Ind./m³) im Mesozooplankton beobachtet. Die Gruppe Cnidaria besaß ihren höchsten relativen Anteil mit 28% innerhalb der Sauerstoffminimumzone (200-400 m) bei einer Abundanz von 125 Ind./m³. Im Mikronekton war die Gruppe Tunicata mit einem relativen Anteil von 38% im oberen Tiefenintervall vertreten, die Chaetognatha hingegen mit 47% und der höchsten relativen Häufigkeit von 94% in einer Tiefe von 50-100 m. Die Gruppe Fische

erreichte, neben der Schelfkante, in der Station Ozeanisch (küstenfern) seine insgesamt höchsten relativen Anteile mit 12% des Mikronektons in den Tiefenintervallen 200-400 m (9 Ind./m³) und 600-800 m (4,8 Ind./m³), die Cnidaria wiesen sogar ihre insgesamt höchste relative Häufigkeit mit 21% (0,03 Ind./m³) in dieser Station in einer Tiefe von 800-1000 m auf (Abb. 20).

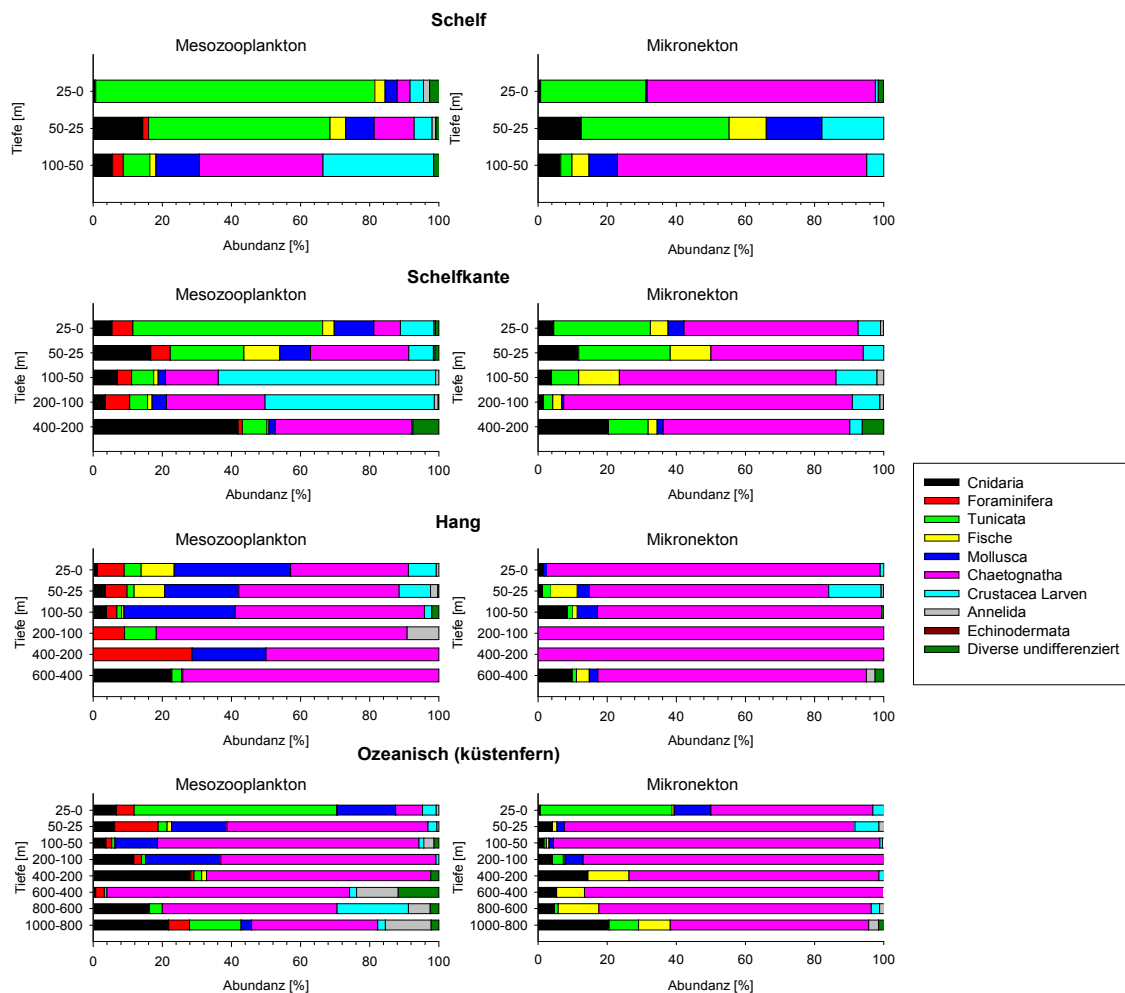


Abbildung 20: Zusammensetzung des Restes (Mesozooplankton und Mikronekton).
Ind./m² pro Tiefenintervall [m]=100%, Anteilig die Gruppen.

Anteil der Exuvien

Im Vergleich der Anzahl Copepoda und Exuvien, war der Anteil an Copepoda im Mesozooplankton deutlich höher als im Mikronekton (Abb. 21). Der Vergleich Exuvien/Copepoda zeigte jedoch im Mesozooplankton wie auch im Mikronekton, dass der Anteil an Exuvien gegenüber den Copepoda gering war.

Am Schelf wurden die höchsten Abundanzen für Copepoda, sowie Exuvien des Mesozooplanktons im oberen Tiefenintervall festgestellt. So betragen die Copepoda 2100 Ind./m³ und die Exuvien 82 Ex./m³ (4%). Für das Mikronekton wurde die höchste Abundanz an Copepoda mit 16 Ind./m³ (97%) im Tiefenintervall 25-50 m bestimmt, Exuvien mit einem relativen Anteil von 3% (Abb. 21).

Für das Mesozooplankton wurden die höchsten Abundanzen an der Schelfkante in den oberen Tiefenintervallen bis 100 m ermittelt. Copepoda traten mit 116 und 298 Ind./m³ (86-88%) auf und Exuvien mit 18 und 40 Ex./m³ (Abb. 21). Copepoda und Exuvien des Mikronektons kamen hingegen vermehrt im Tiefenintervall 0-25 m und 200-400 m vor. Im Vergleich Copepoda-Exuvien waren die Anteile der Exuvien in den Tiefenintervallen 50-100 m und 100-200 m am höchsten (35% und 20%) (Abb. 21).

Am Hang zeigte sich in den ersten Tiefenintervallen eine geringe Abundanz an Copepoda, im Mesozooplankton wie auch im Mikronekton, erst ab einer Tiefe von 400-600 m Tiefe stiegen die Werte an (Abb. 21). Anteilig betrachtet waren die Exuvien in dieser Station mit bis zu 78% des Mesozooplanktons und 100% des Mikronektons in der SMZ (200-400 m), stark vertreten. Jedoch lagen die Abundanzen der Copepoda des Mesozooplanktons bei 0,06 Ind./m³, bzw. 0,2 Ex./m³ und im Mikronekton bei 0 Ind./m³ Copepoda und bei unter 0,01 Ex./m³. Die höchste Abundanz an Copepoda des Mesozooplanktons an dieser Station betrug 103 Ind./m³ im Tiefenintervall 400-600 m. Im Mikronekton waren es in diesem Tiefenintervall 23 Ind./m³ (Abb. 21).

Im Ozean (küstenfern) waren die Abundanzen bis 50 m am höchsten, die Anteile der Exuvien mit max. 21% (Mikronekton) jedoch gering. Im Mesozooplankton sanken folgend die Abundanzen der Copepoda und Exuvien bis in 200 m Tiefe auf weniger als 10 Ind./m³ und ca. 2 Ex./m³ (24%) (Abb. 21). Der höchste relative Anteil an Exuvien betrug 34% in 800-1000 m Tiefe. Im Tiefenintervall 200-400 m bei einer Sauerstoffkonzentration von 20 µmol/L, war der Anteil der Exuvien des Mikronektons verglichen mit dem der Copepoda am höchsten (Copepoda 0,94 Ind./m³, Exuvien 0,57 Ex./m³=38%). Es war an keiner Station ein Zusammenhang zwischen der Tiefe und der Anzahl an Exuvien ersichtlich (Abb. 21).

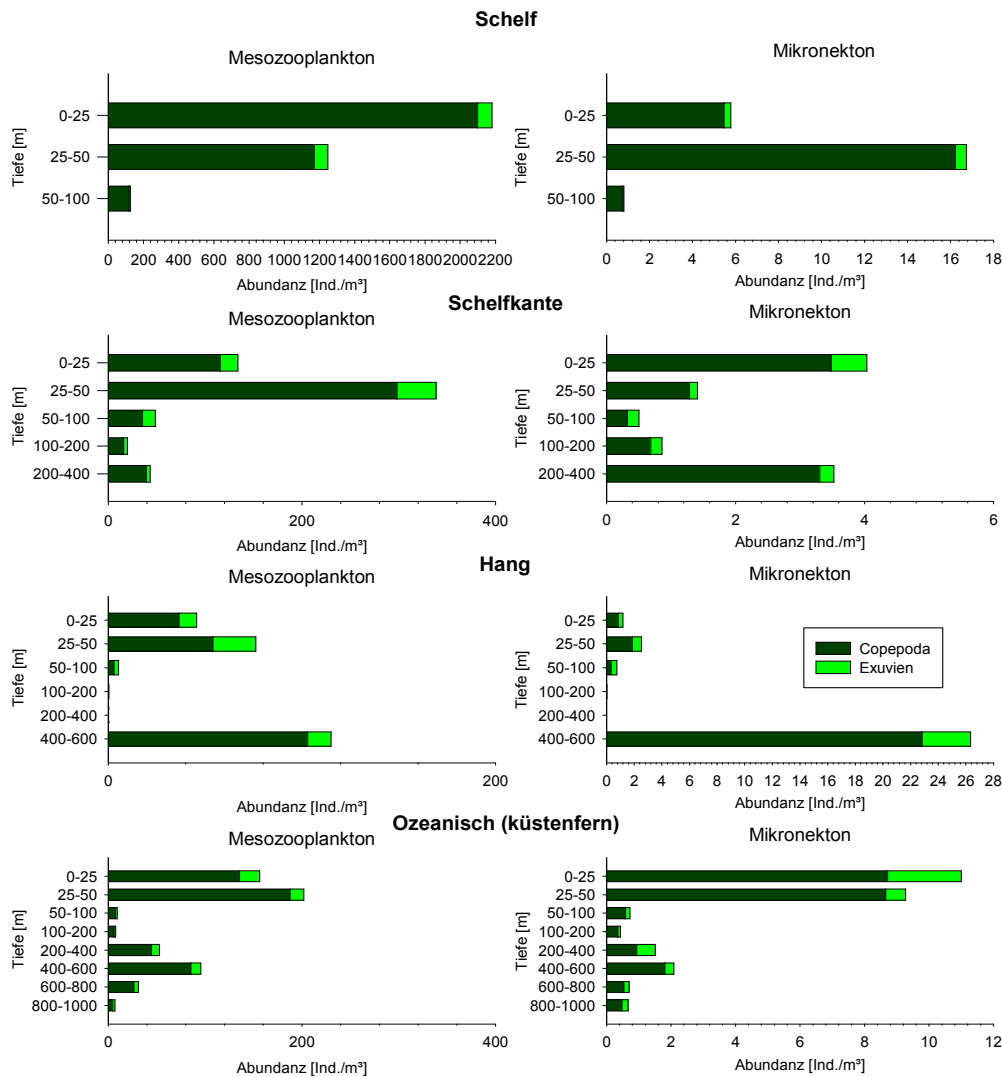


Abbildung 21: Verhältnis der Exuvien zu Copepoda (Mesozooplankton und Mikronekton).
 [Ind./m³, Ex./m³] pro Tiefenintervall [m].

Resümee der Mesozooplankton-und Mikronektonuntersuchung

Der Vergleich Mesozooplankton und Mikronekton zeigte, dass zum Zeitpunkt der Probenahme mehr Individuen des Mesozooplanktons im Auftriebsgebiet vorhanden waren. Die höchste Abundanz des Mesozooplanktons (~96 300 Ind./m²) konnte auf dem Schelf festgestellt werden, im Mikronekton (~5 900 Ind./m²) hingegen am Hang. Die Zusammensetzungen des Mesozooplanktons und Mikronektons bestand vorwiegend aus Individuen der Crustacea.

Auf dem Schelf wurden im Mesozooplankton Individuen sieben verschiedener Hauptgruppen identifiziert (Tabelle 5), wobei jedoch nur für die Gruppe Crustacea, auf Grund des hohen relativen Anteils an der Zusammensetzung (s. Abb. 18), Diversitätsindices berechnet wurden. Diese zeigten für alle Stationen des Mesozooplanktons, wie auch des Mikronektons eine geringe Diversität der Hauptgruppe Crustacea mit $[H] < 1$, jedoch hohen Dominanzen $[D] > 0,6$, mit Ausnahme auf dem Schelf wo der Dominanzindex nur 0,21 für das Mesozooplankton betrug (Tabelle 11). Die höchste Diversität des Mesozooplanktons und Mikronektons konnte jedoch für die Station Schelfkante berechnet werden. Zudem kamen auf dem Schelf und an der Schelfkante vermehrt Individuen der Cladocera vor.

Innerhalb der Gruppe Crustacea waren vor allem Individuen der Calanoida vorhanden, in der SMZ konnten zudem vermehrt Organismen der Gattung *Oncea* und vereinzelt der Gruppe Ostracoda gefunden werden. Im Mikronekton waren zudem noch bedeutende Anteile der Euphausiacea feststellbar. Neben Organismen der Crustacea setzte sich das Mikronekton überwiegend aus Individuen der Chaetognatha zusammen. Diese traten meist, ebenso wie die Cnidaria des Mesozooplanktons und Mikronektons vermehrt in Tiefenintervallen mit hohen Anteilen an Crustacea auf. Vom Schelf in den Ozean konnte im Mesozooplankton ein Wechsel der zuvor dominanten Gruppe Tunica zu Chaetognatha im Rest beobachtet werden (Abb. 20).

4 Diskussion

In dieser Arbeit wurden die tiefenabhängigen Mikro- und Mesozooplanktonabundanzen, sowie die Abundanzen des Mikronektons von der Küste bis in den offenen Ozean auf dem Kunene Transekt im Nordbenguela-Auftriebsgebiet analysiert. In diesem Gebiet vor Namibia (Afrika) kommt es zu ganzjährigen Auftriebsphänomenen, die jedoch in ihrer Kontinuität (Südsommer/-winter) variieren. Zum Zeitpunkt der Probenahme im Südsommer (Februar 2011) waren die Auftriebsbedingungen abgeschwächt, bedingt durch eine Ausdehnung des Angolastroms nach Süden (Carter, 2011). Diese Verschiebung der Benguela-Angola-Front beeinflusste die Phytoplanktonbestände in dem untersuchten Gebiet vor Namibia. Mit Hilfe eines Satellitenbildes (Abb. 22) konnten die durchschnittlichen Chlorophyll *a* Gehalte des Kunene Transektes (17°S; 10-11°O), gemittelt über 14-Tage, sechs Wochen vor Antritt der Probenahme dargestellt werden. Nach Morales-Ramírez & Brugnoli-Olivera (2001) werden Chlorophyllkonzentrationen ab 3 mg/m³ als hoch definiert (starke Phytoplanktonblüte). Auf dem Schelf des Kunene Transektes betrug der durchschnittliche Chlorophyll *a* Gehalt in etwa 20 mg/m³, jedoch nahm dieser stark mit der Entfernung zur Küste ab und erreichte im offenen Ozean nur noch Werte zwischen 0 und 2 mg/m³, wobei der niedrigste Wert auf dem untersuchten Transekt (17°S; 10-11°O) ca. 2 mg/m³ betrug (Abb. 22).

Der Angolastrom führt salzreiches, warmes Wasser, welches nur wenige gelöste Nährstoffe enthält (Carter, 2011) und somit nicht durch intensive Phytoplanktonblüten gekennzeichnet ist. Da südlich des Angolastroms jedoch Tiefenwasser (Benguelastrom), durch die Ekman-Drift an der Küste Namibias aufsteigt kann, stehen auf dem Schelf im Kunene Transekt genug Nährstoffe für die Primärproduktion zur Verfügung und erklären so die hohen Chlorophyllgehalte (Fiedler *et al.*, 1991). Zudem können Nährstoffe auch über Zuflüsse, wie in dieser Arbeit der Kunene River, ins Meer eingetragen werden. Der Kunene River hat seinen Ursprung im Angola-Hochland und besitzt eine Länge von etwa 1200 km, die jährliche Abflussrate liegt bei etwa 174 m³/s (Nicoll, 2009). Diese zusätzliche Nährstoffzufuhr könnte somit ebenfalls Einfluss auf die Chlorophyllkonzentrationen auf dem Schelf ausgeübt haben. Calbet (2008) entdeckte, dass während eines starken Auftriebsereignisses das Phytoplankton überwiegend aus Diatomeen (Größe 5-500 µm) besteht. Diese Algenarten benötigen zur Ausbildung ihrer Schalen einen besonders hohen Anteil an gelöstem Silikat (z.B. in Form von SiO₂) im Meerwasser. Da bei schwachen Auftriebsbedingungen jedoch weniger Nährstoffe an

die Oberfläche gelangen besiedeln vorwiegend autotrophe Dinoflagellata (Größe 2-20 μm) das Phytoplankton, welche durch die Wahl der Maschenweite von 55 μm des Netzes in dieser Arbeit jedoch nicht erfasst wurden. Sakko (1998) stellte zudem fest, dass das Plankton bei geschwächtem Auftrieb, sich eher aus kleinen Organismen zusammensetzt.

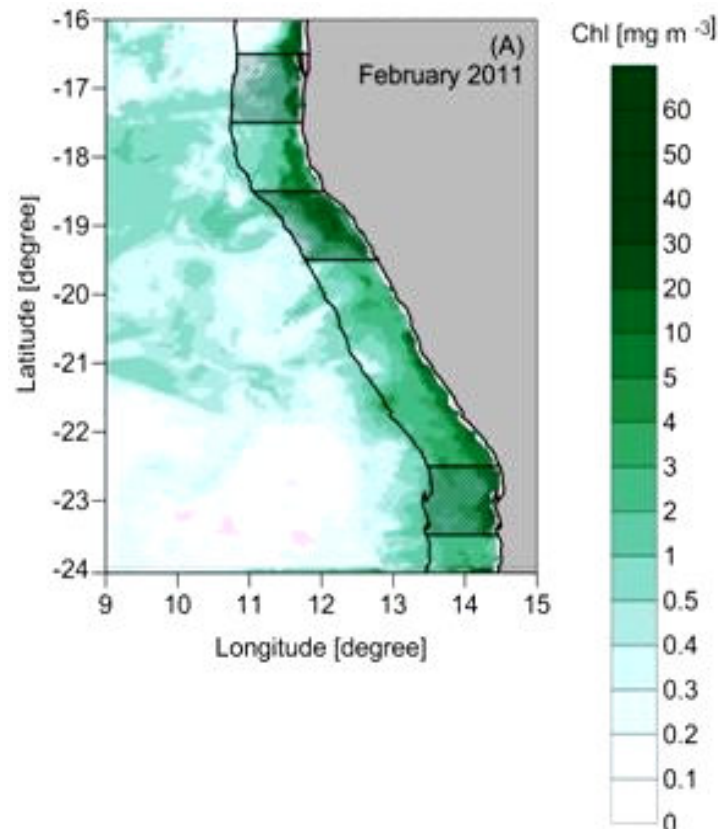


Abbildung 22: Satelliten Aufnahme der Oberflächen-Chlorophyll a Konzentration sechs Wochen vor der Ausfahrt 17/3 der Maria S. Merian im Februar 2011, gemittelt über 14 Tage. Schwarze Linie zeigt 1° Band parallel zur Küste. Auf der Höhe 17°S befindet sich der Kunene Transekt. Modifiziert nach Martin *et al.* (in prep.).

Die Auswertung von über den Transekten ($1^\circ \times 1^\circ$) gemittelten Durchschnitts-Satellitendaten von acht Tagen (Martin *et al.*, in prep.) zeigen, dass etwa acht Wochen vor Probenahme eine durchschnittliche Chlorophyll a Konzentration von etwa 4 mg/m^3 vorherrschte, mit Einzelwerten von höher als 20 mg/m^3 (Abb. 23). Die niedrigsten Durchschnittschlorophyll-Konzentrationen lagen im Zeitraum vier bis sechs Wochen vor Probeentnahme bei etwa 1 mg/m^3 (Abb. 23). Zwei Wochen vor Probenahme lagen die Chlorophyllkonzentrationen bei etwa $1\text{-}2 \text{ mg/m}^3$ mit Einzelwerten zwischen 10- und

20 mg/m³ im Transekt Kunene vor (Abb. 23), ebenso zum eigentlichen Zeitpunkt der Probenahme. Der Vergleich mit den Transekten Rocky Point/ Terrace Bay (19°S/20°S) und Walvis Bay (23°S) (Abb. 23), zeigte für diese Stationen ebenfalls Chlorophyllkonzentrationen von 3-4 mg/m³ im Februar 2011 und somit keine Variation zwischen den Lokationen. Im Verlauf der Jahre 2011, 2010, 2009 und 2008 konnten auf dem Transekt Kunene die höchsten Chlorophyllgehalte im September 2010 (Südwinter) und die niedrigsten Chlorophyllkonzentrationen im März 2008 (Südsommer) nachgewiesen werden.

Painting *et al.* (1993) beschrieb, dass nach einem Auftriebsereignis die ersten Phytoplanktonblüten vom Picophytoplankton (0,2-2 µm; 10-90% des Chlorophyll *a* Gehaltes, Webber, 1989) dominiert werden, gefolgt von Nanophytoplankton (2-20 µm) und erst mit der Zeit Blüten von Phytoplanktern größer als 20 µm gebildet werden. Des Weiteren stellte Painting *et al.* (1993) fest, dass die Reaktionszeit (Produktivität) des Zooplanktons auf eine Phytoplanktonblüte mit der Größe der Organismen variiert. Individuen des Mikrozooplanktons können durch kurze Entwicklungszeiten bereits zeitnah nach einer Phytoplanktonblüte eine Zunahme der Biomasse aufweisen. Größere Zooplankter, wie das Mesozooplankton oder gar Mikronekton benötigen hingegen mehr Zeit um ihre Produktivität zu steigern (Painting, 1993).

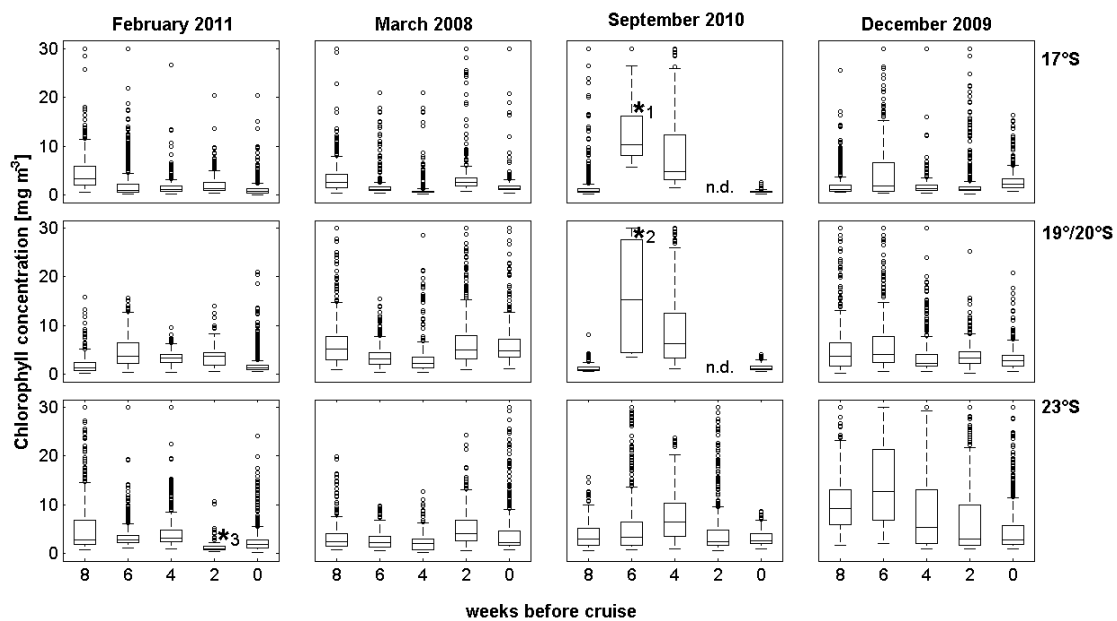


Abbildung 23: Boxplot aus Fernerkundungsdaten von Oberflächen Chlorophyll a Konzentration [mg/m³], abgeleitet aus MODIS-Sensor des NASA-Satelliten Aqua. Level 3 kartierte Daten wurden als 8-Tage-Durchschnitte mit einer Auflösung von 4 km verwendet. Jeder Boxplot erfasst die Chlorophyllkonzentrationen von 1°x1° Gebieten, d.h. innerhalb eines 1° Bandes entlang der namibischen Küste und innerhalb 16,5-17,5°S (Kunene), 18,5-19,5°S/19,5-20,5°S (Rocky Point) und 22,5-23,5°S (Walvis Bay). Jeder Bereich umfasst 600 Gitterpunkte. 14-Tage-Periode (0 Wochen vor Ausfahrt) und 2, 4, 6, 8 Wochen vor Ausfahrt wurden gemittelt. MODIS kann keine Chlorophylldaten durch Wolken hindurch einbeziehen, daher sind die verfügbaren Datenpunkte kleiner als 600, aber größer als 300. Ausnahmen sind durch n.d. = keine Daten gekennzeichnet, * 1: 31 Datenpunkte, *2: 21 Datenpunkte, * 3: 56 Datenpunkte. Nach Martin *et al.*, in prep.

4.1 Charakterisierung der abiotischen Faktoren

Nach Carter (2011) beträgt die durchschnittliche Oberflächentemperatur des Benguelastroms im Sommer mehr als 20 °C und die 14 °C-Isotherme liegt in Tiefen von etwa 30-40 m. Bei einer intensivierten Verschiebung der Angola-Benguela-Front nach Süden, kann es jedoch auch zu einer Absenkung der 14 °C-Isotherme in Tiefen von 90-100 m kommen. In dieser Arbeit wurden an allen Stationen Oberflächentemperaturen von mehr als 20 °C gemessen. Es konnte vom Schelf (21 °C) bis in den offenen Ozean eine Zunahme um 4 °C an der Oberflächentemperatur (auf 25 °C) festgestellt

werden (Abb. 9). Dies lässt sich durch die abgeschwächten Auftriebsereignisse nahe der Küste erklären. Durch parallel zum Land verlaufende Winde wird das Oberflächenwasser vor Namibia westwärts verdriftet und von der Sonne erwärmt. Daher kann an der Küste kälteres Wasser aufsteigen und die resultierende Temperatur ist dort niedriger als im Ozean. Die 14 °C-Isotherme lag im Februar 2011, in Tiefen von etwa 100 m und entspricht somit nach der Definition von Carter (2011) einem Benguela-Niño. Das Phänomen El Niño ist für die Küsten Ecuadors und Peru bekannt und wird relativ regelmäßig (alle 3-10 Jahre) zur Weihnachtszeit als eine Erwärmung des Küstenwassers nachgewiesen (Shannon *et al.*, 1986). Diese wiederum führt zu klimatischen Anomalien und Störungen der Fischpopulationen (z.B. Änderungen in Migrations- und Laichverhalten), welches sich stark auf die kommerzielle Fischerei auswirkt (Baldenhofer & Marschall, 2012). Shannon (1986) stellte für das Nordbenguelasystem ähnliche abiotische Bedingungen wie vor Peru fest. Durch den Angolastrom dringt in regelmäßigen Abständen (Perioden) warmes Wasser in den Benguelastrom ein. Für die Jahre 1934, 1963 und 1984 wurden sehr starke Erwärmungsereignisse des Benguelas dokumentiert (Shannon *et al.*, 1986). Diese gingen mit starken Regenfällen einher, welche die Flüsse Namibias füllten und den Süßwassereintrag ins Meer erhöhten.

Der durchschnittliche Monatsniederschlag in Swakopmund (22° 39' 59 S; 14° 32' 1' O) an der atlantischen Küste beträgt für den Monat Februar 5,6 mm. Für das Jahr 2009 wurden 5,6 mm mehr und im Jahr 2010 0,5 mm weniger als der Durchschnittswert gemessen (Conarro, 2013). Im Februar 2011 lag der Niederschlag bei 8,6 mm und somit bei 2,9 mm über dem Monatsmittel (Conarro, 2013). Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass eine Abweichung von 3 mm der natürlichen Variabilität des Niederschlages unterliegt. Zudem waren die Datensätze für den Monat Februar 2011 nicht vollständig und lassen somit keine weitere Auswertung zu. Daher konnten die für ein Benguela-Niño typischen starken Regenfälle nicht weiter überprüft werden.

Des Weiteren konnten in dieser Arbeit keine messbaren Einflüsse auf die abiotische Umwelt durch den Süßwassereintrag des Kunene Rivers (174 m³/s pro Jahr) ins Meer nachgewiesen werden, welches jedoch auch auf die Entfernungen von 27 km und mehr der Stationen zur Küste zurückzuführen sein könnte. Es konnte allerdings eine Abnahme der Salinität an allen Stationen mit der Tiefe nachgewiesen werden. Dieses könnte auf die hohe Verdunstungsrate des Oberflächenwassers in diesem ariden Gebiet zurückzuführen sein. Die Oberflächensalinität betrug in allen Station 36 PSU

(Practical Salinity Units) und sank, mit Ausnahme der Schelfstation, an allen übrigen Stationen im Schnitt um 1 PSU in der Tiefe (>250 m) ab (Abb. 9).

Nach Carter (2011) werden Wasserkörper mit einem Sauerstoffgehalt von 223 $\mu\text{mol/L}$ als normoxisch bezeichnet. An allen in dieser Arbeit beprobten Stationen war im Oberflächenwasser mehr als 200 $\mu\text{mol/L}$ gelöster Sauerstoff vorhanden (Abb. 9). Dieser Wert ist auf die, erneute Sauerstoffaufnahme durch Kontakt des Tiefenwassers mit der Atmosphäre und die erhöhte Produktivität des Auftriebsgebietes zurückzuführen (Grelach, 1994).

Tiefenwasser selbst stand nur in hohen Breitengraden (Zirkumpolarstrom) direkt mit der Atmosphäre für eine Sauerstoffaufnahme in Kontakt und sank danach in große Tiefen ab. Da es in der Tiefe keine Möglichkeit der direkten Sauerstoffaufnahme gibt, jedoch durch Respiration immer ein Sauerstoffverbrauch vorliegt, wird dem Tiefenwasser in regelmäßigen Abständen Sauerstoff entzogen (Sommer, 2005, S. 358). Erst nach Auftrieb und erneutem Kontakt mit der Atmosphäre kann Tiefenwasser Sauerstoff aufnehmen. Durch das hohe Nährstoffangebot im Untersuchungsgebiet findet in der euphotischen Zone eine erhöhte Primärproduktion statt und reichert das Wasser zusätzlich mit Sauerstoff an.

Mit einer erhöhten Produktion sinkt auch vermehrt organisches Material in größere Tiefen ab und es folgt ein erhöhter mikrobieller Abbauprozess mit der Ausbildung von Sauerstoffminimumzonen (SMZ; Levin, 2003). Mit abnehmenden Sauerstoffkonzentrationen wird dieser mikrobielle Abbau jedoch eingestellt und abgestorbenes Material kann bis auf den Grund absinken (Levin, 2003). Auf dem namibischen Schelf breitete sich die SMZ, mit Sauerstoffgehalten unter 45 $\mu\text{mol/L}$, ab 70 m Tiefe bis zum Schelfboden aus. Diese Ausdehnung der SMZ und der damit verbundene Verlust der aeroben mikrobiellen Abbauprozesse könnte die Zusammensetzung des Schelfsediments aus Diatomeenschlamm erklären (Sakko, 1998). Die Diatomeenschlamm beinhalten neben hohen Konzentrationen an organischem Material, auch hohe Gehalte an Schwefel (Sakko 1998).

Die Sauerstoffkonzentration eines Gewässers ist ein wichtiger Stressor und bestimmt maßgeblich die biotische Gemeinschaft (Levin, 2003). Große Regionen des Benguela-Auftriebsgebietes sind hypoxisch, d.h. besitzen Sauerstoffkonzentrationen unter

133 $\mu\text{mol/L}$ (Carter, 2011). Diese geringe Sauerstoffkonzentration beeinflusst die Fischbestände der Region direkt und indirekt durch den nachteiligen Einfluss auf wichtige Beutetiere, wie das Zooplankton (Auel & Verheye, 2007). Vor Beginn der SMZ auf dem Schelf von Kunene waren bereits 22 m hypoxisch, dementsprechend waren nur die oberen 46 m des Wassers über dem Schelf für aerobe Organismen ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Mit der Entfernung zur Küste wuchs die Tiefe, in der, den aeroben Organismen ausreichend Sauerstoff zur Verfügung stand. An den Stationen Hang bis Ozeanisch (küstenfern) konnte ein Abklingen der hypoxischen Zone nach 850-900 m Tiefe nachgewiesen werden. Lass *et al.* (2000) beschrieb für das Benguela Auftriebsgebiet in einer Tiefe von 800 m eine Lage von antarktischem Zwischenwasser (Antartic Intermediate Water; AAIW), dieses Wasser zeichnet sich durch ein Salinitätsminimum und einem lokalen Sauerstoffmaximum aus (Jochum & Malanotte-Rizzoli, 2003). Dementsprechend scheint es sich auch in dieser Arbeit ab einer Tiefe von 800 m um AAIW zu handeln.

4.2 Autotrophe Organismen

Die höchsten Abundanzen der Ochrophyta (Diatomeen) wurden in dieser Arbeit an der Station Hang vorgefunden (Abb. 10), desweiteren konnte für diese Station die höchste Diversität der Ochrophyta berechnet werden (Tab. 4). Jedoch variierte die Diversität mit den Stationen und der zweit-höchste Diversitätsindex wurde für die Schelfstation berechnet. An dieser Station (Schelf) wurden aufgrund eines hohen Silikatbedarfs der Diatomeen die höchsten Abundanzen dieser Gruppe erwartet. Da die Strömung des Auftriebsfilaments jedoch äquatorwärts gerichtet ist (Carter, 2011) könnten die Phytoplanktonorganismen von dieser Strömung aufs Meer hinaus transportiert worden sein. Diese Theorie wird durch die hohen Chlorophyll *a* Konzentrationen ($\sim 5 \text{ mg/m}^3$) acht Wochen vor Probenahme (Abb. 23), welche eine Phytoplanktonblüte kennzeichnen, gestützt.

Die Wachstumsrate von Phytoplankton Organismen hängt stark von der Nährstoffzufuhr und Lichtverfügbarkeit, sowie der Toleranz einzelner Organismengruppen gegenüber diesen Faktoren ab (Estrada *et al.*, 1987). Da keine gleichmäßige Zu- oder Abnahme der Diversität mit Entfernung zur Küste erkennbar war könnte die Flexibilität gegenüber den abiotischen Faktoren eine Erklärung für die Unterschiede in der Diver-

sität der Ochrophyta liefern. Zudem konnten in dieser Arbeit aufgrund der Wahl des Netzes mit einer Maschenweite von 55 µm nur große Diatomeen erfasst werden, was ebenfalls die Variabilität in der Diversität und Abundanzen erklären können.

4.3 Abundanz, Zusammensetzung und Verteilung des Zooplanktons und Nektons

Die höchste Abundanz des Mikrozooplanktons wurde zwar wie erwartet im Oberflächenwasser, jedoch fern der Auftriebsquelle im küstenfernen Ozean festgestellt (Abb. 9 & Abb 24). Satellitendaten zeigten eine erhöhte Phytoplanktonproduktivität acht Wochen vor Probenahme. Durch kurze Entwicklungszeiten reagiert Mikrozooplankton zeitnah auf eine solche Phytoplanktonblüte (Painting *et al.*, 1993). Durch die von Carter (2011), beschriebene, äquatorwärts-gerichtete Oberflächenströmung (bis 100 m Tiefe) des Benguelastroms wäre es denkbar, dass zusätzlich zur Verdriftung des Phytoplanktons auch eine Verdriftung von Mikrozooplankton Organismen stattgefunden hat. Dies würde die höchste Abundanz des Mikrozooplanktons im Oberflächenwasser des küstenfernen Ozeans erklären.

Die höchste Abundanz des Mesozooplanktons hingegen konnte wie erwartet auf dem Schelf, in den oberen Tiefenintervallen, festgestellt werden (Abb. 9 & Abb. 24). Aufgrund der Größe dieser Organismen benötigen sie mehr Zeit für ihre Entwicklung und treten somit zeitversetzt zur ersten Phytoplanktonblüte auf (Painting *et al.*, 1993). Das Mikronekton besaß seine höchste Abundanz in der Station Hang in einer Tiefe von 400-600 m (Abb. 9 & Abb. 24). Da die Crustacea mit 90% das Mikronekton in diesem Tiefenintervall dominierten, ist dieses Ergebnis wahrscheinlich auf eine vertikale Migration am Tag in größere Tiefen dieser Organismen zurück zuführen. Zudem könnte vermutet werden, dass die höchste Abundanz der Ochrophyta am Hang (s. Autotrophe Organismen) einen Einfluss auf die Verteilung des Nektons besaß. Im Gegensatz zum Zooplankton können sich Mikronekton-Organismen gegen leichtere Strömungen fortbewegen (Sommer, 1998, S. 134) und somit könnte vermutet werden, dass diese Organismen dem Phytoplankton gefolgt sind. Mauchline (1998) beschrieb, dass die Gruppe Copepoda sich bei hohen Diatomeen-Vorkommen zwar zum Teil bevorzugt von diesen ernährt, gleichzeitig aber auch viele andere Organismen zu sich nimmt. Auf Grund dieser Ernährungsweise der Copepoda kann die höchste Abundanz des Mikro-

nektons am Hang wahrscheinlich nicht alleine auf die hohe Abundanz an Ochrophyta zurückgeführt werden. Abrupte Änderungen der Bodentopographie zeigen eine Veränderung des vertikalen Migrationsverhaltens vieler Copepoda (Mauchline, 1998; S. 440 ff). Da auch die Wassertiefe das Migrationsverhalten beeinflussen kann, wäre es denkbar, dass erst an der Station Hang eine ausreichende Wassertiefe für die vertikale Migration der Crustacea vorhanden war, wodurch die hohen Abundanzen an dieser Station erklärt werden könnten. Da sich die Hauptnahrungsquelle des Mesozooplanktons und des Mikronektons nicht nur aus Organismen des Phytoplanktons zusammensetzt, sondern auch aus heterotrophen und mixotrophen Organismen besteht, könnte hierdurch eine weitere Reduzierung der Mikrozooplanktonbestände küstennah angenommen werden (Calbet, 2008).

Die Abundanzen des Mikrozooplanktons waren jedoch wie erwartet an allen Stationen höher als die des Mesozooplanktons und Mikronektons (Abb. 9 & Abb. 24). Dieses Phänomen wurde bereits von Sakko (1998) beobachtet und ist auf die abgeschwächten Auftriebsbedingungen zurückzuführen. Zudem bedingt der Benguela Niño einen Rückgang der Planktonbestände (Sakko, 1998).

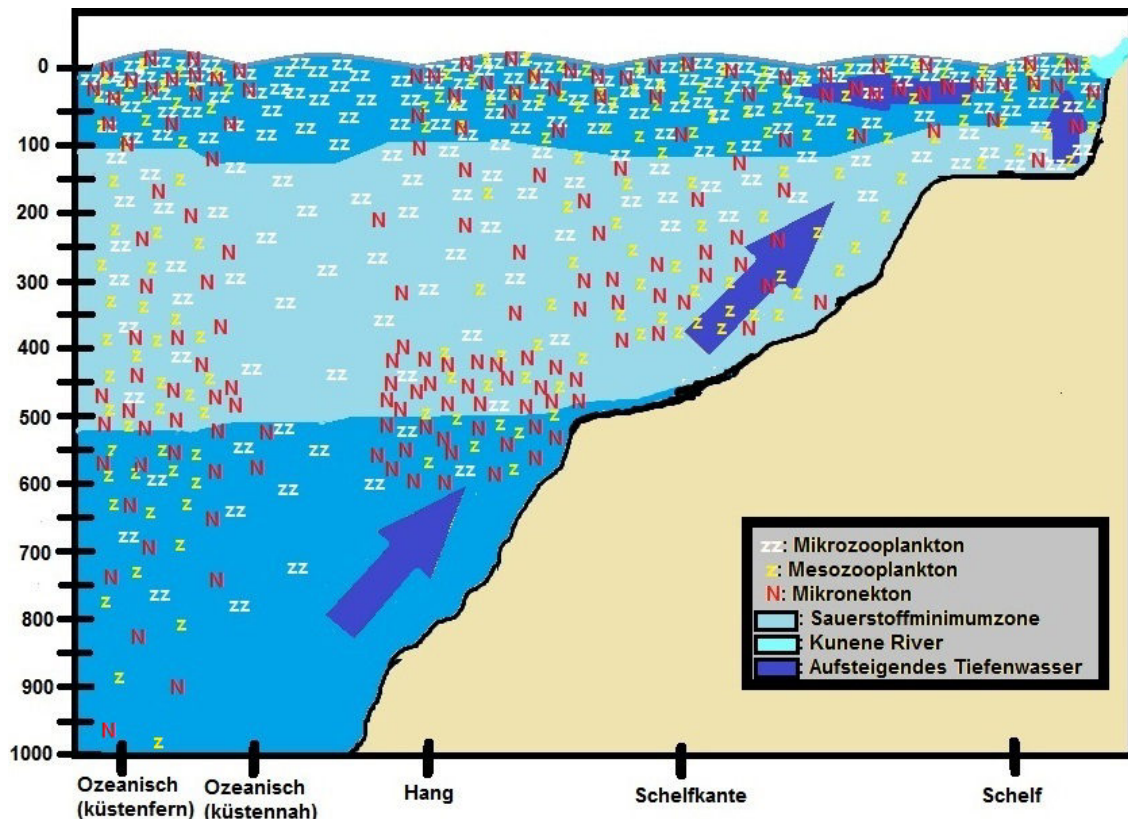


Abbildung 24: Verteilung des Mikro-/Mesozooplanktons und Mikronektons. Höchste Abundanzen des Mikro-/Mesozooplanktons wurden im Oberflächenwasser vorgefunden (0-50 m). An der Station Ozeanisch (küstenfern) erreichte das Mikrozooplankton seine absolut höchste Abundanz, es konnte eine Abnahme der Abundanzen mit zunehmender Tiefe festgestellt werden, mit Ausnahme auf dem Schelf und an der Schelfkante. Das Mesozooplankton zeigt seine absolut höchsten Abundanzen auf dem Schelf in 0-25 m Tiefe, in der Tiefe (>250 m) konnte ein erneuter Anstieg der Abundanzen beobachtet werden. Das Mikronekton besaß seine absolut höchste Abundanz im Tiefenintervall 400-600 m am Hang. In allen übrigen Stationen wurden die höchsten Abundanzen des Mikronektons im Tiefenintervall 25-50 m gefunden. Auch hier wurde eine erneute Zunahme der Abundanzen in der Tiefe festgestellt, mit Ausnahme auf dem Schelf.

Die Regionen des Nordbenguelas sind durch instabile Konditionen des Auftriebs relativ artenarm (Sakko, 1998). In dieser Arbeit konnten von 158 beschriebenen Dinoflagellata-Arten des Benguelastroms (Sakko, 1998), nur 10 Arten und diverse Individuen der Gattungen *Noctiluca* und *Dinophysis* identifiziert werden. Die Abundanzen der Dinoflagellata war im Oberflächenwasser (0-25 m) aller Stationen hoch (>1 000 Ind./m³), jedoch konnte im Gegensatz zu den Beobachtungen von Pitcher *et al.* (1998) keine Abnahme der Abundanzen mit der Entfernung zur Küste festgestellt werden. Dinoflagellata besit-

zen ein breites Nahrungsspektrum und können sogar zeitweise ohne Nahrung auskommen (Calbet, 2008; Hansen, 1991). Durch die vermutete Verdriftung des Mikrozooplanktons können die hohen Abundanzen an Dinoflagellata mit Entfernung zur Küste erklärt werden, wobei die Lebensweise als Generalist zusätzlich die Produktivität dieser Gruppe unterstützen könnte.

Vom Schelf in den Ozean konnte jedoch ein Wechsel in der Zusammensetzung der Dinoflagellata beobachtet werden, welches gegen eine Verdriftung der Organismen sprechen könnte. Im Falle einer Verdriftung durch das Auftriebsfilament könnte davon ausgegangen werden, dass die Organismen gleichmäßig verdriftet wurden. Jedoch wurden auf dem Schelf vor allem Arten der Gattungen *Noctiluca*, *Dinophysis* und *Protoperidinium* vorgefunden und im offenen Ozean nahmen die Arten der Gattung *Ceratium* zu (Abb. 12). Autotrophe und mixotrophe Dinoflagellata reagieren sensitiv auf Turbulenzen im Wasser (Bustamante-Gil *et al.*, 2012). Die stärksten Turbulenzen liegen überwiegend entlang der Küste der Auftriebsregion vor und könnten somit die steigenden Abundanzen der mixotrophen Gattung *Ceratium* mit Entfernung zur Küste erklären (Duró & Gili, 1996). Auf dem Schelf war der Einfluss des Auftriebs am höchsten, welches durch hohe Chlorophyll *a* Gehalte nachgewiesen werden konnte. Dieser verstärkte Einfluss könnte in der Zusammensetzung des Phytoplanktons einen hohen Anteil an Diatomeen vermuten lassen (Calbet, 2008). Diatomeen stellen die Hauptnahrungsquelle für *Noctiluca* spp. und *Protoperidinium* spp. dar und würden somit die hohen Abundanzen dieser Gattungen küstennah erklären (Sherr und Sherr, 2007). Die Untersuchungen der Ochrophyta (Diatomeen) in dieser Arbeit zeigten jedoch die höchsten Abundanzen am Hang. Da es sich allerdings nur um Diatomeen >55 µm handelt, lässt sich keine allgemeine Aussage über das Nahrungsangebot treffen.

Ceratium spp. und *Protoperidinium* spp. besitzen eine harte Theka, die sie vor vielen Fraßfeinden wie z.B. Copepoda schützen und somit ihre Überlebenschancen auch küstenfern erhöhen (Hansen, 1991). Die Diversitätsindices der Dinoflagellata waren mit durchschnittlich 1,83 relativ niedrig (Werte zwischen 0-5 möglich), nahmen jedoch vom Schelf in den Ozean (2,02) zu (Tabelle 7). Hierdurch wird die Hypothese, dass die Diversität mit der Entfernung zur Küste wächst für die Gruppe Dinoflagellata bestätigt. Jedoch wurden die Gattungen *Noctiluca* und *Dinophysis* nicht bis aufs Artniveau bestimmt und könnten somit die Ergebnisse verfälschen.

Die Gruppen Radiolaria, Ciliophora und Larvenstadien bildeten ebenfalls einen bedeutenden Anteil der Zusammensetzung des Mikrozooplanktons. Für die Gruppen Radiolaria und Ciliophora konnte die Hypothese der größten Diversität im Ozean ebenfalls bestätigt werden. Der höchste Diversitätsindex betrug 1,54 für die Gruppe Radiolaria im küstennahen Ozean (Tabelle 9), für die Gruppe Ciliophora 1,88 Ozeanisch (küstenfern; Tabelle 8). Die Ciliophora sind bedeutende Konsumenten des Picoplanktons und stellen eine wichtige Verbindung in der Verknüpfung des klassischen Nahrungsnetzes und der mikrobiellen Schleife dar. In den untersuchten Proben wurden die Ciliophora vorwiegend durch die Gattungen *Codonellopsis* und *Cymatocyclis* repräsentiert (Abb. 13). Während die Dinoflagellata, Ciliophora und "Larvenstadien" das Mikrozooplankton an der Oberfläche dominierten, gewannen die Arten der Gruppe Radiolaria mit zunehmender Tiefe an Bedeutung (Abb.11). Jedoch besaß auch diese Gruppe ihre höchste Abundanz im oberen Tiefenintervall der ozeanisch, küstenfernen Station.

Die polyphyletische Gruppe der Larvenstadien des Mikrozooplanktons bestand überwiegend aus Nauplien der Gruppe Crustacea, die an jeder Station mit über 50% dominierten (Abb. 15). Im Mikrozooplankton waren die Abundanzen der Nauplien meistens gleich oder sogar höher als die Abundanzen der Crustacea, was wiederum auf das Größenspektrum des Mikrozooplanktons (55 µm bis <300 µm) in dieser Arbeit zurückzuführen sein könnte. Nauplien variieren in ihrer Größe je nach Stadium (N I, N II, etc.) und Art/Gattung (Mauchline, 1998; S. 24). Somit sind die Nauplien der zur Gruppe Calanoida (Copepoda) gehörenden Art *Clausocalanus furcatus* im N I Stadium etwa 100 µm lang und Nauplien von *Paracalanus aculeatus* etwa 150 µm im N V-Stadium (Mauchline, 1998; S. 24). Nauplien von *Rhincalanus cornutus* (Calanoida; Copepoda) hingegen besitzen eine längliche Form und weisen im N IV-Stadium eine Größe von etwa 600 µm auf (Mauchline, 1998; S. 24). Die zur Gruppe Cyclopoida (Copepoda) gehörende Art *Oncea mediterranea* besitzt Nauplien im N IV-V-Stadium mit etwa einer Länge von 140-170 µm (Paffenhöfer *et al.*, 1996). Nicht zur Gruppe Copepoda gehört die Crustacea-Gruppe Euphausiacea, die Nauplien von *Euphausia superba* besitzen bereits im N I-Stadium eine Größe von über 600 µm (Marschall & Hirche, 1984). Durch die große Variabilität der Nauplien war es nicht möglich eine genauere Einordnung (Stadium oder Art/Gattung) vorzunehmen. Auf Grund der Zuordnung zum Mikrozooplankton (55-<300 µm) können jedoch Nauplien mit Größen über 300 µm ausgeschlossen werden, daher wird angenommen, dass die Nauplien des Mikrozooplanktons vor allem der Gruppe Copepoda zugeordnet werden können.

Die Diversität der Crustacea nahm mit der Entfernung zur Küste ab. So lag der Diversitätsindex auf dem Schelf bei 1,34 und im küstenfernen Ozean bei 0,86 für das Mikrozooplankton (Tab. 10). Der Diversitätsindex des Mesozooplanktons betrug an der Schelfkannte 0,54 und Ozeanisch (küstenfern) 0,36, im Mikronekton 0,84 und 0,43 (Tab. 11). Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Crustacea im Zooplankton und Nekton mit der Entfernung zur Küste immer stärker von Arten der Untergruppe Calanoida dominiert wurde. So ging die Abnahme des Diversitätsindex mit einem Anstieg des Dominanzindex einher. Da keine artspezifische Untersuchung der Calanoida stattgefunden hat, kann keine Aussage darüber getroffen werden, wie sich die Artenzusammensetzung innerhalb dieser Untergruppe verändert hat. Wie Teuber (2009) festgestellt hat, waren auch in der vorliegenden Arbeit, die höchsten Abundanzen an Nicht-Calanoida-Arten auf dem Schelf vorzufinden. Vor allem die Gattungen *Oncea* und *Oithona* waren hier prominent. Im Mikronekton traten zusätzliche zu den Organismen der Copepoda, Individuen der Gruppe Euphausiacea auf. Jedoch waren die Calanoida im Mesozooplankton und Mikronekton an jeder Station dominant (Abb. 19). Rakesh *et al.* (2006) vermutete das die Salinität einen starken Einfluss auf die Zusammensetzung der Crustacea besitzt, dies konnte jedoch in dieser Arbeit nicht bestätigt werden, da die Gehalte der Salinität über die Stationen ähnlich verteilt waren und nur wenig innerhalb der Stationen variierten.

Eine weitere wichtige Gruppe des Mesozooplanktons und Mikronektors stellten die Chaetognatha dar, welche mit zunehmender Entfernung zur Küste an Bedeutung gewannen. Chaetognatha sind wichtige Prädatoren der Gruppe Copepoda und können aufgrund unterschiedlicher Größen der Entwicklungsstadien als Verbindung zwischen Zooplankton und Nekton gesehen werden (Bohata & Koppelman, 2013).

Es wurde ein Einfluss auf die Zusammensetzungen des Planktons und Nektons durch die Süßwassereinspeisung des Kunene River erwartet, konnte jedoch nicht eindeutig belegt werden. Es konnten zwar einige Organismen der Gruppe Caldocera identifiziert werden, welche als typischen Ästuarbewohner gelten (Silva *et al.*, 2009), jedoch war kein Einfluss auf die abiotischen Parameter der Stationen erkennbar. Daher wäre eine mögliche Erklärung der vereinzelt Cladocera Funde, dass diese mit Abfluss des Kunene Rivers in den Ozean ausgespült und mit den Strömungsfilamenten des Benguela-Stroms verdriftet wurden.

4.3.1 Tiefenverteilung und die Sauerstoffminimumzone

Es wurden in dieser Arbeit nicht nur die horizontalen Abundanzen der Organismen des Mikro- und Mesozooplanktons und Mikronektons untersucht, sondern auch die vertikale Verteilung. Die abiotischen Faktoren spielen hierbei eine wichtige Rolle, vor allem die Konzentrationen des Sauerstoffs (Bohata & Koppelman, 2013). In der Regel wurden in dieser Arbeit die niedrigsten Sauerstoffkonzentrationen zwischen 100 und 400 m Tiefe festgestellt. Die Abundanzen des Mikrozooplanktons nahmen an allen Stationen mit der Tiefe ab. Es war somit kein eindeutiger Einfluss durch einen Sauerstoffentzug auf die verschiedenen Organismengruppen des Mikrozooplanktons zu erkennen. Auch die prozentual ermittelten Häufigkeiten der Hauptgruppen innerhalb des Mikrozooplanktons zeigten keine eindeutige Veränderung mit Variation der Sauerstoffkonzentration, sondern lediglich eine relative Zunahme der Gruppe Radiolaria (nach 50 m Tiefe). Bottazzi (1978) beschrieb eine starke Temperatursensibilität der Radiolaria, welches sich in einer Abnahme der Anzahl an Organismen Richtung Norden im Pazifik (kälteres Wasser) zeigte. Zudem beschrieb Bottazzi (1978), dass sich vor allem größere Formen (ca. 100-110 μm) der jeweiligen Radiolaria-Arten in kälteren Wasserschichten aufhalten. Daher wäre es denkbar, dass auch hier die Fangmethode (Maschenweite 55 μm) die Ergebnisse beeinflusst hat. Innerhalb der Radiolaria wurde vor allem die Untergruppe Challengeridae in tieferen Wasserschichten gefunden. Haeker (1906) beschrieb die Challengeridae als typische Form der Radiolaria im Tiefwasser. Ling (1996) untersuchte das Vorkommen der Challengeridae im Pazifik und fand diese ebenfalls vor allen in tieferen Wasserschichten. Er definierte die Challengeridae als typische Kaltwasserorganismen, da sie in höheren Breitengraden auch in geringeren Tiefen gefunden wurden.

Die höchste Abundanz der Radiolaria im oberen Tiefenintervall der ozeanisch, küstenfernen Station könnte auf den Wechsel der Zusammensetzung hin zu Individuen der Gruppe Acantharia zurückzuführen sein. Diese Organismen bevorzugen das Oberflächenwasser und reagieren sensitiv auf Wellenbewegungen und Wind (Bottazzi, 1978). Da die höchste Windintensität im Benguela-Gebiet küstenparallel verläuft, könnte diese die Zunahme der Gruppe Acantharia küstenfern erklären. Zudem können Individuen der Acantharia Symbiosen mit Algen eingehen und sich auf diese Weise mixotroph ernähren (Michaels, 1988), was wiederum einen Vorteil bei begrenzten Nahrungsressourcen im küstenfernen Ozean darstellen könnte.

Die wichtigste Hauptgruppe des Mikro- und Mesozooplanktons, so wie des Mikronektons stellten die Crustacea dar. Im Mikrozooplankton wurde die Gruppe zwar zum Großteil durch Nauplien repräsentiert, jedoch waren diese in hohen Abundanzen vorhanden. Viele Zooplankter, wie Copepoda und Euphausiacea führen vertikale Migration durch. Crustacea lassen sich tagsüber zur Raubvermeidung in große Tiefen absinken und steigen nachts für die eigene Nahrungsaufnahme an die Oberfläche auf. Dieses Migrationsverhalten führt dazu, dass sich die Organismen in sauerstoffarme Zonen begeben müssen (Auel & Verheye, 2007). Einige Copepoda können zudem bei schlechter Nahrungsversorgung oder allgemein schlechten Lebensumständen durch Lipideinlagerungen im Copepodit-Stadium verweilen (Mauchline, 1998; S. 385ff) und sich über einen längeren Zeitraum in sauerstoffarmen Regionen aufhalten ohne Schaden zu nehmen (Auel & Verheye, 2007).

In dieser Arbeit wurde für die Gruppe Crustacea des Zooplanktons, wie des Nektons an allen Stationen innerhalb der SMZ mit die geringsten Abundanzen festgestellt. Die stetige Abnahme der Abundanzen der Crustacea des Mesozooplanktons und Mikronektons an den Stationen bei Eintritt in die SMZ lässt einen starken Einfluss des Sauerstoffentzugs auf größere Organismen vermuten. Jedoch stiegen die Abundanzen des Mesozooplanktons und Mikronektons zum Teil noch innerhalb der SMZ erneut an und könnten somit auf die Migrationstiefe der Organismen zurückzuführen sein (Mauchline, 1998; S. 440ff). An der Schelfkante wurden als einzige Station die Proben nachts gewonnen, was sich in den Crustacea-Funden des Mikrozooplankton deutlich zeigte. Während an allen übrigen Stationen durch das Migrationsverhalten, mit Ausnahme Ozeanisch (küstenfern), die Abundanzen der Crustacea mit zunehmender Tiefe stiegen, fielen sie an der Schelfkante ab. Die stärkste Ausdehnung der Sauerstoffminimumzone konnte wie erwartet in der Station mit der höchsten Abundanzen festgestellt werden (Ozeanisch, küstenfern, >2 Mio. Ind./m²).

Die hohen Abundanzen der Crustacea an der Oberfläche der ozeanischen, küstenfernen Station im Mikrozooplanktons könnten auf das hohe Nahrungsangebot in dieser Schicht, durch hohe Abundanzen an anderen Mikrozooplanktonorganismen, zurückzuführen sein. Eine wichtige Nahrungskomponente der Calanoida sind z.B. Dinoflagellata (Mauchline, 1998). Zudem mussten die Copepoda, durch diese hohe Nahrungsabundanz, keine Dauerstadien annehmen und da die genaue Zusammensetzung der Calanoida in dieser Arbeit nicht ermittelt wurde, lässt sie keinen Aufschluss über die

Sauerstoffpräferenz und die vertikale Migration einzelner Arten zu. Innerhalb der SMZ wurden häufig Individuen der Gattung *Oncea* und der Gruppe Ostracoda im Rahmen dieser Arbeit gefunden.

Die zweit-wichtigste Gruppe des Mesozooplanktons und vor allem des Mikronektons stellten die Chaetognatha dar. Bohata und Koppelman (2013) stellten für diese Gruppe fest, dass sie in ihrer vertikalen Verteilung stärker an die Nahrungsabundanzen gebunden sind, als an die Sauerstoffkonzentrationen. Dieses Ergebnis konnte in dieser Arbeit bestätigt werden. Hohe Abundanzen der Chaetognatha waren hier vor allem in Regionen mit hohem Crustacea-Vorkommen vorzufinden.

Fische reagieren empfindlicher auf niedrige Sauerstoffkonzentrationen (Auel & Verheye, 2007) und wurden in dieser Arbeit lediglich auf dem Schelf und an der Schelfkante in den oberen Tiefenintervallen bis 50 m mit höheren Abundanzen als 1 Ind/m³ festgestellt. Fischlarven und juvenile Fische ernähren sich vorwiegend von anderen Mesozooplanktern bzw. Mikronekton (Bednarski & Morales-Ramírez, 2004), da deren Abundanzen auf dem Schelf am höchsten waren, liefert dies eine mögliche Erklärung des Vorkommens von Fischen auf dem Schelf. Sakko (1998) stellte eine erhöhte Mortalität der Fische, schlechtes Migrationsverhalten und eine Reduzierung des Laichverhaltens während eines Benguela Niños fest. Dies würde die insgesamt sehr niedrigen Abundanzen an Fischlarven und juvenilen Fischen im Mesozooplankton und Mikronekton erklären.

4.4 Klimatischer Ausblick

Auftriebsgebiete liefern etwa 20% des kommerziell gefangenen Fisches und sind somit von besonderer Bedeutung für den Menschen (Pauly & Christensen, 1995). Die Veränderungen des Klimas machen sich jedoch auch hier bemerkbar. Durch Temperaturzunahme (Klimawandel) wird die nächtliche Abkühlung des Landes verringert und die Erwärmung am Tag gefördert (Bakun, 1990). Dies sorgt in Gebieten mit Auftriebsereignissen zu einer Intensivierung des Tiefdruckgebiets, welches wiederum zum Anstieg des onshore-offshore Atmosphärendrucks führt und so eine Intensivierung der küstenparallelen Winde bewirkt (Bakun, 1990). Daraus resultiert eine Beschleunigung

des Küstenauftriebs und bewirkt eine natürliche Eutrophierung. Durch die zunehmende natürliche und anthropogene Eutrophierung der Meere kommt es zu einer verstärkten Ausbildung von Biomasse und damit zu einer stärkeren Sauerstoffzehrung und Ausdehnung der Sauerstoffminimumzonen (Abb. 25; Stramma *et al.*, 2010). Dies führt wiederum zu einer Erhöhung des Stress auf mobile Makroorganismen, die diese Gebiete verlassen oder unter hypoxischen Bedingungen sterben (Abb. 25; Stramma *et al.*, 2010). Zudem kommt es in vielen Schelfregionen zur Ausbildung von Sauerstoffminimumzonen-Sedimenten, welche vorwiegend von großen Schwefelbakterien besiedelt werden (Abb. 25; Levin, 2003). Im Santa Barbara Basin bieten filamentöse Schwefelbakterienmatten einen Lebensraum für eine reiche Protozoa und Metazoa-Meiofauna (Levin, 2003). Da bisher jedoch die Anpassungen für Metazoa an einen solchen Lebensraum noch nicht ausreichend untersucht wurden, ist das genaue Ausmaß eines Wechsels der Rekruten für die Schelfregion nicht bekannt (Levin, 2003).

Durch den Eingriff des Menschen und der Überfischung der Meere kommt es zu einer starken Zunahme an Individuen der Cnidaria (Abb. 25). Diese stehen in direkter Konkurrenz mit Zooplankton konsumierenden Fischen, sind diesen jedoch durch eine bessere Anpassung an reduzierte Sauerstoffkonzentrationen überlegen (Richardson *et al.*, 2009). Zusätzlich gelten Cnidaria als natürliche Feinde juveniler Fische, Fischeiern und Fischlarven und führen dadurch zu einer weiteren Reduzierung der Fischbestände. In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass die Cnidaria sehr ungleichmäßig und ohne ein bestimmtes Muster verteilt waren. Einige Organismen wurden an der Oberfläche gefunden, andere innerhalb der SMZ und wieder andere in großen Tiefen. Es konnte keine Zu- oder Abnahme mit zunehmender Tiefe noch mit Entfernung zur Küste festgestellt werden. Zudem wurden viele Einzeltiere der Gruppe Siphonophora in den untersuchten Proben gefunden, die jedoch keiner weiteren Auswertung unterzogen wurden. Somit ist kein direkter Vergleich zwischen Fischen und gelatinösen Organismen möglich. Richardson *et al.* (2009) beschreiben für die Zukunft einen Wechsel von hochentwickelten Lebewesen zurück zu rudimentären Flagellata und Cnidaria, welche die Position als Topprädatoren einnehmen werden. Um diese Zukunft zu verhindern schlug Richardson *et al.* (2009) vor, mehr Quallen für den menschlichen Verzehr zu fischen.

Mit steigenden Wassertemperaturen konnte ein vermehrtes Auftreten sogenannter "Rote Tiden" festgestellt werden (Abb. 25; Kudela *et al.*, 2005). Diese bestehen vorwiegend aus toxischen Dinoflagellata Arten und führen zu starken Sauerstoffzehrungen. Die in dieser Arbeit identifizierte Gattung *Dinophysis* sorgt in vielen Bereichen der Weltmeere für die Vergiftung von Schalentieren. *Noctiluca scintillans* und Arten der Gattung *Ceratium* hingegen sorgen lediglich für eine Verfärbung des Wasser und nehmen somit Einfluss auf die Lichtabsorption in den oberen Wassertiefen (Kudela *et al.*, 2005). Andere Arten der Dinoflagellata hingegen besitzen so starke Toxine, dass sie durch ihren Konsum auch größere Fische damit töten. Gefährlich ist auch die direkte Abgabe von Toxinen ins Wasser, da diese in filtrierenden Organismen angereicherter werden und somit großen Einfluss auf die Nahrungsnetze besitzen. Durch die Anreicherung der Toxine in diesen Organismen werden die Dinoflagellata auch für den Menschen lebensgefährlich (Kudela *et al.*, 2005). Der globale Klimawandel wird in der Zukunft noch viele weitere Veränderungen an Land wie im Meer mit sich bringen. In welchem Ausmaß oder wie stark dies in bestimmten Regionen der Fall sein wird, ist heutzutage jedoch noch nicht abschätzbar.

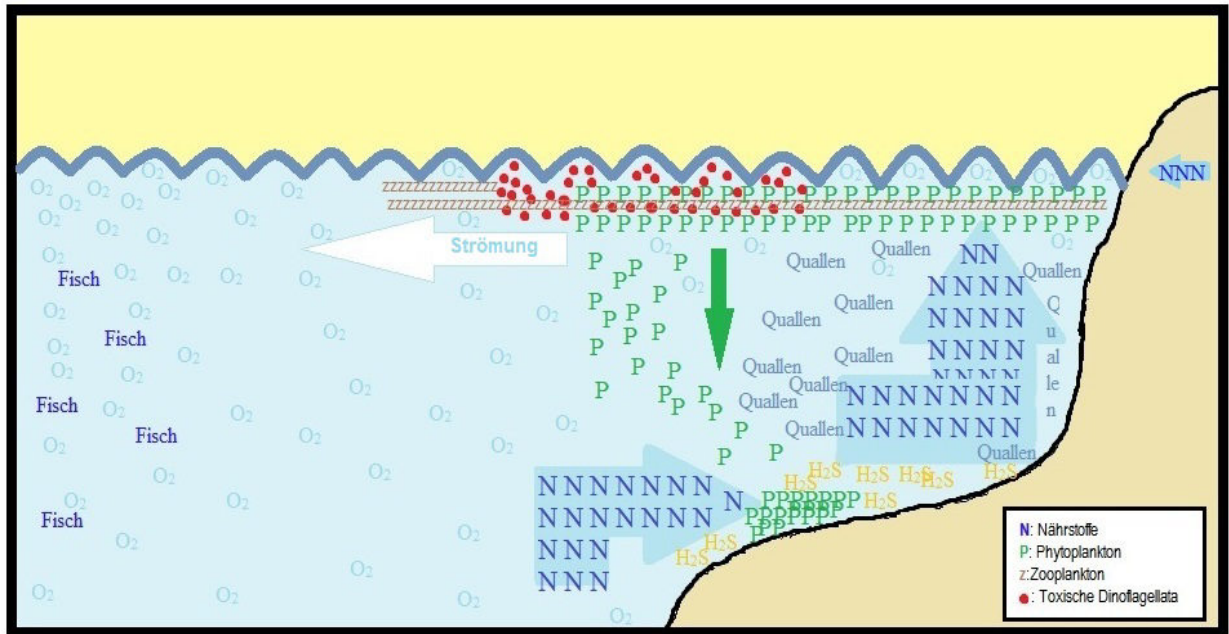


Abbildung 25: Veränderung der Lebensgemeinschaft durch den Klimawandel und den Eingriff des Menschen. Durch Zunahme des Windstresses werden Auftriebsereignisse verstärkt, mehr Nährstoffe (N) gelangen an die Oberfläche. Zusätzlich zur natürlichen Eutrophierung, werden auch vom Menschen Nährstoffe eingetragen. Es kommt zu starken Phytoplanktonblüten (P) die wiederum aerobe Abbauprozesse indizieren. Dadurch wird die Sauerstoffzehrung in der Schelfregion verstärkt, Sauerstoffminimumzonen dehnen sich aus. Es gelangt verstärkt organisches Material auf den Grund der Schelfregion und wird vermehrt von Schwefelbakterien (H_2S) besiedelt. Durch die Überfischung fehlen auf dem Schelf planktivore Fische, es kommt zu einer Zunahme des gelatinösen Planktons/Nektons. Den intensivierten Auftrieb sorgt zudem für einen schnellen Export von Zooplankton-Organismen (Z) und ihre Populationen können somit nicht schnell genug wachsen um die Phytoplanktonbestände zu reduzieren. Außerdem kommt es durch die Erwärmung der Meere vermehrt zu roten Tiden (toxische Dinoflagellata). Fische ziehen sich aus diesen Regionen aufgrund des Mangels an Sauerstoff und anderen Faktoren weiter ins offene Meer zurück.

4.5 Methodenkritik

Ein Nachteil in dieser Arbeit könnte in der Behandlung der Proben liegen. Diese wurden durch Siebe aufkonzentriert und anschließend durch verschiedene Verfahren fraktioniert. Jeder dieser Behandlungsschritte könnte somit jeweils mit einem Verlust des

Untersuchungsmaterials einhergehen. Zudem können Zählfehler nicht vollständig ausgeschlossen werden.

4.6 Fazit

In dieser Arbeit sollte der Zusammenhang zwischen Zooplankton Abundanzen und Verteilung mit den abiotischen Parametern heraus kristallisiert werden. Es könnte die zuvor getroffene Annahme, dass das Mikrozooplankton höhere numerische Abundanzen als das Mesozooplankton und Mikronekton aufweist, durch die erlangten Ergebnisse als bestätigt angesehen werden. Dies wird durch den direkten Einfluss abiotischer Faktoren bedingt. Durch eine Schwächung des Auftriebsereignisses kommt es zu einem Wechsel der Phytoplanktongemeinschaft (Calbet, 2008). Anstelle großer Diatomeen, wird die Blüte vorwiegend von kleinerem Phytoplankton gebildet. Diese wiederum entspricht nicht dem Nahrungsgrößenspektrum des Mesozooplanktons oder Mikronektons (Sakko, 1998). Des Weiteren konnte die Hypothese, dass die höchste Abundanz nahe der Auftriebsquelle vorzufinden ist, in dieser Arbeit für das Mikrozooplankton und Mikronekton durch die erlangten Ergebnisse als nicht bestätigt betrachtet werden. Durch einen erhöhten Windstress, bedingt durch den Benguela Niño, wird davon ausgegangen, dass eine erhöhte äquatorwärts-gerichtete Strömung des Auftriebsfilaments vorlag und die Organismen aufs Meer verdriftet wurden (Shannon *et al.*, 1986). Dort konnten im Oberflächenwasser für das Mikrozooplankton Abundanzen über 50 000 Ind./m³ festgestellt werden. Die Hypothese, dass die Ausdehnung der Sauerstoffminimumzone (SMZ) im Gebiet der höchsten Abundanz auftritt, könnte dadurch als bestätigt betrachtet werden. Denn in der Station Ozeanisch (küstenfern) besaß die SMZ eine Mächtigkeit von 409 m.

Ein Einfluss des Süßwassereintrags durch den Kunene River auf die abiotischen Parameter konnte in dieser Arbeit nicht festgestellt werden, jedoch wurden einige Organismen der Gruppe Cladocera in den Proben identifiziert. Diese sind typische Ästuarbewohner und bevorzugen Regionen geringer Salinität (<30 PSU) (Silva *et al.*, 2009), da jedoch keine Veränderung der Salinität an den Stationen Schelf oder Schelfkante festgestellt werden konnte, ist es fraglich ob diese Organismen die untersuchten Stationen besiedelten oder dorthin verdriftet wurden. Zudem konnte eine Veränderung der Zusammensetzungen innerhalb der Organismengruppen beobachtet werden, welches

gegen eine Verdriftung von Organismen sprechen könnte, jedoch könnte die Hypothese der zunehmenden Diversität mit Entfernung zur Küste, durch die berechneten Diversitätsindices in den meisten Fällen als bestätigt angesehen werden, auch wenn nicht immer eine gleichmäßige Zunahme vorlag.

Mit dieser Arbeit konnte der Einfluss abiotischer Faktoren auf die Zusammensetzung und Verteilung marine Organismen verdeutlicht, so wie viele zuvor erlangten Ergebnisse anderer Studien bestätigt werden. Daher bildet diese Arbeit ein gutes Fundament für künftige Arbeiten in der Region des Kunene Transektes vor Namibia und wird durch nachfolgende Untersuchungen des Nahrungsnetzes (Abundanzen, Zusammensetzung, etc.) in Verbindung mit der abiotischen Umwelt, wichtige Erkenntnisse im Bereich Klimawandel, marine Nahrungsnetze und Stabilität der Lebensgemeinschaften liefern.

5 Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Herrn Dr. Koppelman und Herrn Prof. Dr. Hillebrand für die Betreuung und die Ermöglichung dieser Masterarbeit universitätsübergreifend bedanken.

Ein besonderer Dank an Herrn Dr. Rolf Koppelman für die viele Geduld und guten Ratschläge, sowie an Karolina Bohata und Dr. Bettina Martin für die zur Verfügung gestellten Proben, die gute Einarbeitung und die geduldige Hilfestellung.

Auch einen Dank an meine Mama Renate Müller und meine Freundinnen Mareen Zaruba und Lisa Möller für die vielen Stunden der Unterstützung und Beseitigung der Selbstzweifel. So wie einen besonderen Dank an meinen Freund Christopher Titz, der mich die ganze Zeit stillschweigend ertragen und trotz absolutem Unwissen meinen Texten gelauscht hat.

6 Referenzen

Auel H & Verheye HM (2007) Hypoxia tolerance in the copepod *Calanoides carinatus* and the effect of an intermediate oxygen minimum layer on copepod vertical distribution in the northern Benguela Current upwelling system and the Angola–Benguela Front. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 352: 234-243

Baldenhofer K & Marschall N (2012) Das Enso-Phänomen. Informationen zu ozeanisch-atmosphärischen Phänomenen, El Nino/ Southern Oscillation. Enso-Lexikon.

URL <http://www.enso.info/enso-lexikon/lexikon.html> (Angesehen 13.02. 2013)

Bakun A (1990) Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling. *Science* 247: 198-201

Barton AD, Finkel ZV, Ward BA, Johns DG & Follows MJ (2013) On the roles of cell size and trophic strategy in North Atlantic diatom and dinoflagellate communities. *Limnol. Oceanogr.* 58(1): 254-266

Bednarski M & Morales-Ramírez A (2004) Composition, abundance and distribution of macrozooplankton in Culebra Bay, Gulf of Papagayo, Pacific coast of Costa Rica and its value as bioindicators of pollution. *Suplemento Especial Contaminación Costera. Rev. Biol. Trop.* 53 (Suppl. 2): 105-118

Bohata K & Koppelman R (2013) Chaetognatha of the Namibian Upwelling Region: Taxonomy, Distribution and Trophic Position. *PLoS ONE* 8(1): e53839. doi:10.1371/journal.pone.0053839

Boltovskoy D (1999) South Atlantik Zooplankton, Volume 1 & 2. Backhuys Publishers

Bottazzi EM (1978) Systematic-ecological aspects of Radiolaria with special references to Acantharia. *Bolletino di zoologia* 45(2): 133-144

Bustamante-Gil C, Ramírez-Restrepo JJ, Boltovskoy A & Vallejo A (2012) Spatial and temporal change characterization of *Ceratium furcoides* (Dinophyta) in the equatorial reservoir Riogrande II, Colombia. *Acta Limnologica Brasiliensia* 24(2): 207-219

Calbet A & Alcaraz M (k.A.) Microzooplankton Key Organisms in the pelagic foodweb. *Fisheries and Aquaculture* 5

Calbet, A (2008) The trophic roles of microzooplankton in marine systems. *ICES Journal of Marine Science* 65: 325-331

Calbet A & Landry MR (1999) Mesozooplankton Influence on the Microbial Food Web: Direct and Indirect Trophic Interactions in the Oligotrophic Open Ocean. *Limnol.Oceanogr.* 44(6): 1370-1380

Campel NA, Reece JB & Markl J (2002) *Biologie*. Pearson Studium, Aufl.6

Carter R (2011). Appendix 1B: Water Column. Draft Report, Namibian Marine Phosphate (Pty) Ltd

Conarroe M (2013) Swakopmund yearly rainfall summary.

URL <http://other.weather.namsearch.com/swakop/swkrainsummary.php> (Angesehen 13.04.2013)

Cotonnec G, Brunet C, Sautour B & Thoumelin G (2001) Nutritive value and selection of food particles by copepods during a spring bloom of *Phaeocystis* sp. in the English Channel, as determined by pigment and fatty acid analyses. *Journal of plankton research* 23 (7): 693-703

Duró A & Gili JM (1996) Mesoscale spatial heterogeneity in chaetognath populations during upwelling abatement in the north Benguela region. *Mar. Eco. Prog. Ser.* 140: 41-58

Fiedler P, Philbrick V & Chávez F (1991) Oceanic upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific. *Limnol. Oceanog.* 36: 1834-1850

Flynn KJ, Stoecker DK, Mitra A, Raven JA, Glibert PM, Hansen PJ, Granéli E & Burkholder JM (2012) Misuse of the phytoplankton-zooplankton dichotomy: the need to assign organisms as mixotrophs within plankton functional types. *Journal of Plankton Research* 0(0), 1-9

Ekman, VW (1905) On the influence of the earth's rotation on ocean currents. *Arkiv Mat Astr Fysik* 2: 1-52

Emeis KC (k.A.) GENUS-Overview

URL <http://genus.zmaw.de/> (Angesehen 13.02.2013)

Estrada M, Alcaraza M & Marrasé C (1987) Effects of turbulence on the composition of phytoplankton assemblages in marine microcosms. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 38: 267-281

Gerlach, SA (1994) *Spezielle Ökologie – Marine Systeme*. Springer-Verlag 40-46

Gibbons MJ (1997) *An Introduction to the Zooplankton of the Benguela Current Region*

Godhantaraman N & Uye S (2001) Geographical variations in abundance, biomass and trophodynamic role of microzooplankton across an inshore-offshore gradient in the Inland Sea of Japan and adjacent Pacific Ocean. *Plankton Biol. Ecol.* 48(1): 19-27

Haeker V (1906) Zur Kenntnis der Challengeriden. Vierte Mitteilung über die Tripyleen Ausbeute der deutschen Tiefsee-Expedition. *Archiv Protistenk.* 7(2): 259-305

Hagen E, Feistel R, Agenbag JJ & Ohde T (2001) Seasonal and interannual changes in intense Benguela Upwelling (1982–1999). *Oceanologica Acta* 24: 557-568

Hansen PJ (1991) Quantitative importance and trophic role of heterotrophic dinoflagellates in a coastal pelagial food web. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 73: 253-261

Hutchings L, Verheye HM, Huggett JA, Demarcq H, Cloete R, Barlow RG, Louw D & da Silva A (2006) Variability of plankton with reference to fish variability in the Benguela Current Large Marine Ecosystem – An overview. *Large Marine Ecosystem* 14: 91-124

litembu JA, Miller TW, Ohmor K, Kanime A. & Wells S. (2012) Comparison of ontogenetic trophic shift in two hake species, *Merluccius capensis* and *Merluccius paradoxus*, from the Northern Benguela Current ecosystem (Namibia) using stable isotope analysis. *Fish. Oceanogr.* 21:2-3, 215–225

Jochum M & Malanotte-Rizzoli (2003) The flow of AAIW along the equator. *Interhemispheric Water Exchange in the Atlantic Ocean. Elsevier Series* 193-212

Klimacampus (2009). Kick-Off für Forschungsprojekt GENUS, Klimawandel beeinflusst Auftriebsgebiet vor Namibia.

URL <http://www.klimacampus.de/631+M560a9903802.html> (Angesehen 13.02.2013)

Kudela R, Pitcher G, Probyn T, Figueiras F, Moita T & Trainer V (2005) Harmful Algal Blooms in Coastal Upwelling Systems. *Oceanography*, 18(2)

Lahajnar N, Ankele M, Annighöfer M, Bode M, Bohata K, Buchholz F, Eckhardt A., Ekau W, Flohr A, Geist S, Gumbo A, Hansen A, Heene T, Hünerlage LK, Jung S, Kandjii I, Koppelman R, Kullmann B, Kutter J, Langenberg F, Martin B, Mohrholz V, Müller A, Neumann A, Schukat A, Steigüber C, Teuber L, Verheye H, v. Waldthausen C, Wencke P, Werner T (2011) Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System. *Maria S. Merian-Berichte Cruise No. 17 Leg 3, Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe Institut für Meereskunde der Universität Hamburg*

Lalli CM. & Parsons TR (1997) An Introduction, S. 314 ff. Biological Oceanography. Pergamon Press, Oxford

Landry MR & Calbet A (2004) Microzooplankton production in the oceans. ICES Journal of Marine Science 61: 50-507

Lass HU, Schmidt M, Morholz V & Nausch G (2000) Hydrographic and Current Measurements in the Area of the Angola-Benguela Front. Journal of Physical Oceanography 30: 2589-2609

Levin, A (2003) Oxygen minimum zone benthos: adaptation and community response to hypoxia. Oceanography and Marine Biology: An annual Review 2003 41: 1-45

Ling HY (1966) The Radiolarian *Protocystis thomsomi* (Murray) in the northeast Pacific Ocean. Micropaleontology 12(2): 203-214

Loick N, Ekau W & Verheye HM (2005) Water-body preferences of dominant calanoid copepod species in Angola-Benguela frontal zone. African Journal of Marine Science 27(3): 597-608

Martin B, Eggert A, Morholz V, Schmidt M, Diekman R & Koppelman R (in prep.) Investigation of the spatio-temporal variability of zooplankton biomass in the Northern Benguela Upwelling using field investigations and model simulation

Marschall HP & Hirche HJ (1984) Development of Eggs and Nauplii of *Euphausia superba*. Polar Biol. 2: 245-250

Michaels AF (1988) Vertical distribution and abundance of Acantharia and their symbionts. Marine Biology 97: 559-569

Morales-Ramírez A & Brugnoli-Olivera E (2001) El Niño 1997-1998 impact on the plankton dynamics in the Gulf of Nicoya, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49 (Suppl.2): 103-114

Nelson G & Hutchings L (1983). The Benguela upwelling area. *Prog Oceanog* 12: 333-356

Nicoll K (2009) Geomorphic development and Middle Stone Age archaeology of the Lower Cunene River, Namibia-Angola Border. *Quaternary Science Reviews* doi: 10.1016/j.quacirev.2009.02.026

Paffenhöfer GA, Strickler JR, Lewis KD & Richman S (1996) Motion behavior of nauplii and early copepodid stages of marine planktonic copepods. *Journal of Plankton Research* 18(9): 1699-1715

Painting SJ, Moloney CL. & Lucas, MI (1993) Simulation and field measurements of phytoplankton-bacteria-zooplankton interactions in the southern Benguela upwelling region. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 100: 55-69

Pauly D & Christensen V (1995) Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374: 255-257

Pielou EC (1966) Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *J Theor Biol* 10:370-383

Pitcher GC, Boyd AJ, Horstman DA & Mitchell-Innes BA (1998) Subsurface dinoflagellate populations, frontal blooms and the formation of red tide in the southern Benguela upwelling system. *Marine Ecology Progress Series* 172: 253-264

Rakhesh M, Raman AV & Sudarsan D (2006) Discriminating zooplankton assemblages in neritic and oceanic waters: A case for the northeast coast of India, Bay of Bengal. *Marine Environmental Research* 61: 93-109

Sakko AL (1998) The influence of the Benguela upwelling system on Namibia's marine biodiversity. *Biodiversity and Conservation* 7: 419-433

Schukat A (2009) Common Copepods in the Benguela Current. Identification guide

Shannon LV, Boyd AJ, Brundit GB & Taunton-Clark J (1986) On the existence of an El Niño-type phenomenon in the Benguela System. *Journal of Marine Research*, 44: 495-520

Shannon LV. & O'Toole MJ (2003) Sustainability of the Benguela: ex Africa semper aliquid novi. *The Benguela Current LME Kapitel 10*

Shannon CE & Weaver W (1949) *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press

Sherr EB & Sherr BF (2007) Heterotrophic dinoflagellates: a significant component of microzooplankton biomass and major grazer of diatoms in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 352: 187-197

Sieburth JMcN, Smetacek V & Lenz J (1978) Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol.Oceanogr.*, 23(6): 1256-1263

Silva AMA, Barbosa JEL, Medeiros PR, Rocha RM, Lucena-Filho MA & Silva DF (2009) Zooplankton (Cladocera and Rotifera) variations along a horizontal salinity gradient and during two seasons (dry and rainy) in a tropical inverse estuary (Northeast Brazil). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 4(2): 226-238

Simpson EH (1949) Measurement of diversity. *Nature* 163:688

Sommer U (2005) *Biologische Meereskunde*, Springer Verlag

Steedman HF (1976) General and applied data on formaldehyde fixation and preservation of marine zooplankton. In: *Zooplankton Fixation and Preservation* (Ed. HF Steedman) 103-154

Stramma L, Schmidtko S, Levin LA, Johnson C (2010). Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep-Sea Research I*, doi: 10.1016/j.dsr.2010.01.005

Teuber L (2009) Size-dependent Community Structure and Ecology of Zooplankton in the Benguela Coastal Upwelling System off Namibia. Institut für Zoologie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Stoecker DK (1999) Mixotrophy among Dinoflagellates. *J.Eukaryot Microbiol.* 46(4): 397-401

Veloza AJ, Chu FLE & Tang KW (2005) Trophic modification of essential fatty acids by heterotrophic protists and its effect on the fatty acid composition of the copepod *Acartia tonsa*. *Marine Biologie* doi: 10.1007/s00227-005-0123-1

Wehner R & Gehring W (2007) *Zoologie*. Thieme Georg Verlag, Aufl.24

Wheeler EH (1967) Copepod detritus in the deep sea. *Limnol.Oceanogr.* 12: 697-701

Wiebe PH, Morton AW, Bradley AM, Backus RH, Craddock JE, Barber V, Cowles TJ & Flierl GR (1985) New development in the MOCNESS, an apparatus for sampling zooplankton and micronekton. *Mar Biol* 87: 313-323

6.1 Bilder

Internetquelle 1: Department of Oceanography, Texas A&M University (k.A)

URL <http://oceanworld.tamu.edu/resources/oceanography-book/microbialweb.htm> (Angesehen 14.02)

Internetquelle 2: Wright A (2011) Solspot Ocean science 101: Upwelling, Downwelling, and other randomacts of Shrinkage.

URL <http://solspot.com/content/surf-articles/adam-wright/ocean-science-101-upwelling-downwelling-and-other-random-acts-of-shrinkage> (Angesehen 13.02.2013)

Internetquelle 3: Multimedia Kontor Hamburg GmbH, 2013. Fotogalerie.

URL <http://genus.mmkh.de/genus/> (Angesehen 13.02.2013)

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Außerdem versichere ich, dass ich die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichung, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Arbeit Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

Unterschrift _____