

**Mikrozooplanktonzusammensetzung und  
– verteilung auf einem Schnitt von der Küste in  
den offenen Ozean vor Walvis Bay, Namibia**

vorgelegt von

Gabriela Mootz

geboren am

06.09.1988

**Universität Hamburg**

**Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft**

Erscheinungsjahr

**2012**

1. Gutachter: Prof. Dr. Christian Möllmann
2. Gutachter: Dr. Rolf Koppelman

Hiermit bestätige ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig verfasst wurde und ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel - insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internetquellen - benutzt habe und die Arbeit von mir vorher nicht einem anderen Prüfungsverfahren eingereicht wurde. Die eingereichte schriftliche Fassung entspricht der auf dem elektronischen Speichermedium. Ich bin damit einverstanden, dass die Bachelorarbeit veröffentlicht wird.

-----

Ort, Datum, Unterschrift

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	I
Abstract.....	II
1. Einleitung .....	- 1 -
1.1 Auftriebsgebiete .....	- 1 -
1.2 Beschreibungen des Untersuchungsgebiets.....	- 4 -
1.3. Definition Mikrozooplankton.....	- 4 -
1.4 Fragestellung.....	- 9 -
2. Material und Methoden .....	- 11 -
2.1 Probennahme .....	- 11 -
2.2 Probenanalyse .....	- 12 -
3. Ergebnisse .....	- 16 -
3.1 Hydrographie.....	- 16 -
3.2 Biomasse .....	- 17 -
3.3 Abundanz und Diversität gefundener Arten .....	- 19 -
4. Diskussion .....	- 27 -
5. Danksagung .....	- 38 -
6. Referenzen.....	- 38 -
Anhang	

## **Zusammenfassung**

Erstmalig wurde eine tiefenabhängige Verteilung des Mikrozooplanktons (55 - < 300 µm) auf einem Transekt von der Küste bis in den offenen Ozean (Stationen: Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch) vor Walvis Bay, Namibia, untersucht. Informationen über die Verteilung sind sehr wichtig, da das Mikrozooplankton in oligotrophen und eutrophen Gewässern eine wichtige trophische Verbindung zwischen dem klassischen und mikrobiellen Nahrungsnetz herstellt. Die Probennahme fand unter abgeschwächten Auftriebsbedingungen statt und die Stationen wurden mit einem 0,25 m<sup>2</sup> Multinetz (Maschenweite 55 µm) beprobt. Fünfzehn verschiedene Mikrozooplanktontaxa wurden erfasst, wobei die Verteilung und Zusammensetzung an allen Stationen und Tiefen sehr unterschiedlich war. In der Schelfregion konnte eine hohe Trockenbiomassekonzentration und Gesamtabundanz des Mikrozooplanktons festgestellt werden. Heterotrophe Dinoflagellaten nahmen auf dem Schelf 77 % der Mikrozooplanktonpopulation ein. Die Biodiversität war am Schelf gering und nahm vom Schelf in den offenen Ozean zu. Die Verteilung der Copepodenarten variierte ebenfalls an den verschiedenen Stationen und Tiefen. Cyclopoide Copepoden wurden hauptsächlich in der Schelfregion gefunden, wohingegen calanoide Copepoden häufiger im offenen Meer vorkamen. In Bereichen mit niedrigem Sauerstoffgehalt war die Abundanz des Mikrozooplanktons sehr gering.

## **Abstract**

This study presents the first depth-dependent distribution of microzooplankton (55 - < 300  $\mu\text{m}$ ) along a transect from the coast into the open ocean (stations: shelf, shelf break, slope and oceanic) off Walvis Bay, Namibia. Information about the distribution of microzooplankton are important since the microzooplankton establishes an important trophic connection in the oligotrophic and eutrophic waters between the classical and the microbial food web. The sampling was conducted under low to moderate upwelling conditions. The samples were collected with a 0,25 m<sup>2</sup> multinet (mesh aperture 55  $\mu\text{m}$ ). Fifteen microzooplankton taxa were detected, whereby the distribution and composition were very variable at all stations and depths. In the shelf region, a high dry biomass concentration and total abundance was observed. Heterotrophic dinoflagellates made up 77 % of the microzooplankton population. The biodiversity was low at the shelf station and increased from the shelf to the open ocean. The distribution of the copepod species also varied between stations and depths. Cyclopoid copepods were mainly found on the shelf, while calanoid copepods were more common in the open ocean. The abundance of microzooplankton was very low in areas with low oxygen content.

# 1. Einleitung

## 1.1 Auftriebsgebiete

Mit dem Begriff „Auftrieb“ (engl. upwelling) wird der Vertikaltransport von Wassermassen aus der Tiefe an die Oberfläche der Ozeane beschrieben (Ekman, 1905). Auftriebsgebiete entstehen hauptsächlich an den Westseiten der Kontinente (Kalifornien/Oregon, Peru/Nordchile, Nord-West- und Süd-West-Afrika) und in allen drei Ozeanen entlang des Äquators an der Nordflanke des Äquatorialen Gegenstroms (Internet – Quelle 1) und machen 1 % der Fläche der Weltmeere aus (Gerlach, 1994). Auftriebsgebiete sind die produktivsten Lebensräume auf der Welt (Sakko 1998). Gleichzeitig sind Auftriebsgebiete sehr variable Ökosysteme, in denen sich physikalische, chemische und biologische Prozesse fortlaufend verändern (Nelson & Hutchings, 1983). Insbesondere in Schelfgebieten kommt es zu unregelmäßigen Anomalien in der Wassertemperatur und dem Salz- und Sauerstoffgehalt. Durch diese Veränderungen sind Auftriebsgebiete meistens von einer niedrigen Biodiversität, aber gleichzeitig von einer hohen Produktivität geprägt, welche eine hohe Abundanz bestimmter Organismen fördert (Sakko, 1998).

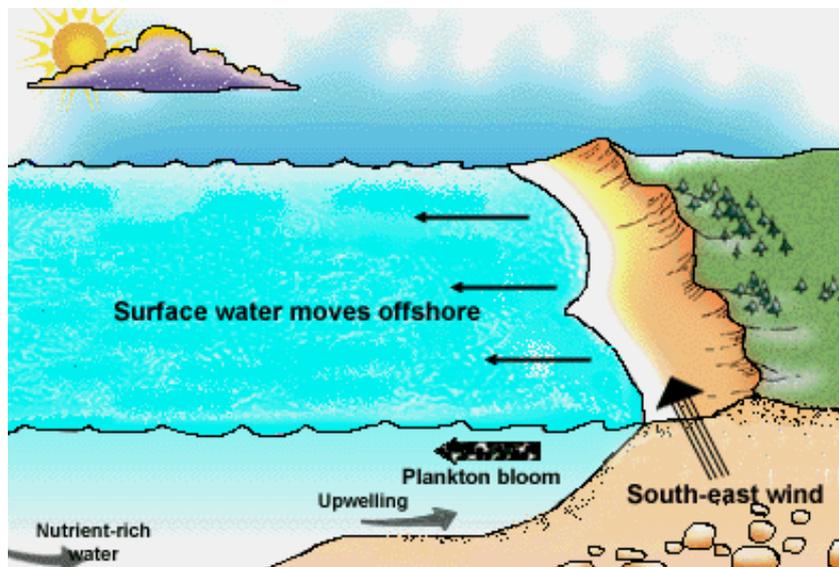


Abb. 1: Im Benguela - Auftriebsgebiet wird das Oberflächenwasser durch den Südost - Passatwind seewärts verdrängt und durch nährstoffreiches Tiefenwasser ersetzt (Internet - Quelle 2)

Das Phänomen des Auftriebs wurde von dem schwedischen Physiker Vagn Walfrid Ekman (Ekman, 1905) entdeckt. Dieser hat eine Erklärung für die Entdeckung des Norwegischen Polarforschers Fridtjof Nansen gesucht, welcher herausgefunden hat, dass Eismassen sich in einem Winkel von  $20 - 40^\circ$  versetzt zur Windrichtung bewegen. Das Phänomen des Auftriebs wurde von Ekman anhand einer Theorie erklärt, die sich gut am Beispiel des Benguelastroms erklären lassen.

Für die Entstehung von Meeresströmungen spielen Winde eine große Bedeutung. Der Südost - Passatwind weht entlang der Küste Namibias und bewegt das küstennahe Oberflächenwasser (Abb. 1). Die darunter liegende Wasserschicht wird durch die Corioliskraft um  $20 - 40^\circ$  auf der Südhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn beziehungsweise auf der Nordhalbkugel mit dem Uhrzeigersinn abgelenkt. Darunter liegende Schichten werden mit zunehmender Tiefe und abnehmender Geschwindigkeit gegen den Uhrzeigersinn verschoben. Die Ekman-Spirale (Abb. 2) beschreibt dieses sich immer fortsetzende Prinzip. Am tiefsten Punkt der Ekman-Schicht ist die Strömungsrichtung theoretisch entgegengesetzt zur ursprünglichen Windrichtung und macht nur noch  $1/23$  des Oberflächenwertes aus. Die resultierende Gesamtströmung in der Ekman-Schicht beträgt  $90^\circ$  zur Windrichtung (Internet - Quelle 1).

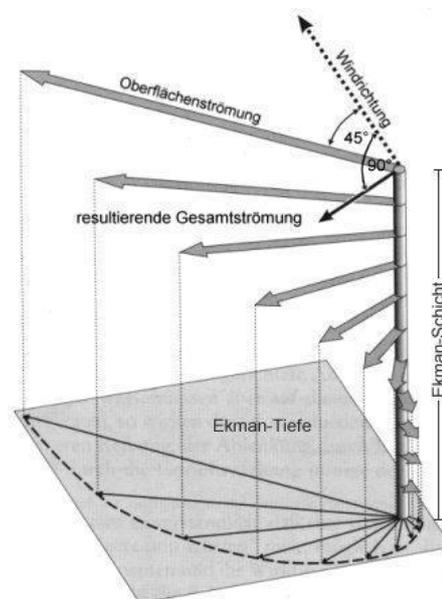


Abb. 2: Die Ekman- Spirale beschreibt, wie der horizontale Wind das Oberflächenwasser in Bewegung setzt. Die Geschwindigkeit und die Richtung der Wasserbewegung ändern sich mit steigender Tiefe (Internet – Quelle 1)

In Auftriebsgebieten wird kaltes, nährstoffreiches Tiefenwasser mit dem verdrängten, nährstoffarmen Oberflächenwasser vermischt (Gerlach, 1994). In der euphotischen Zone kommt es somit durch den hohen Nährstoffgehalt und durch das Einwirken von Sonnenlicht zu einer hohen Primärproduktion von Phytoplankton. Dem folgen alle anderen trophischen Ebenen, wie z.B. Zooplankton und Fische. Durch die hohe Primärproduktion an der Oberfläche wird auch die Masse des organischen Materials größer. Dieses stirbt ab, sinkt zu Boden und wird von Bakterien zersetzt. Dieser Prozess benötigt viel Sauerstoff und somit hat das bodennahe Wasser im Schelfbereich der Auftriebsgebiete einen sehr geringen bis nicht mehr messbaren Sauerstoffgehalt (Sakko, 1998).

In der Regel entwickeln sich im Auftriebswasser große Diatomeen (Gerlach, 1994). Aber auch heterotrophe Dinoflagellaten sind charakteristisch für Auftriebsgebiete (Sakko, 1998). Neueste Erkenntnisse zeigten, dass Nanoplankton (5 - 60  $\mu\text{M}$ ) ebenfalls eine wichtige Komponente bei der Primärproduktion in Auftriebsgebieten bildet (Molloy, 2003). Bei nachlassenden Auftriebsbedingungen dominieren heterotrophe Dinoflagellaten im Oberflächenwasser, da sie gut und effektiv bei schlechten Nährstoffbedingungen wachsen können (Sakko, 1998). Eine weitere wichtige Komponente des Mikrozooplanktons sind Copepoden. Sie sind bedeutsame Organismen in Auftriebsgebieten, da sie meistens sehr häufig vorkommen und eine gute Futterquelle für Sardinen, Sardellen, andere pelagische Fische und für deren Larven und juvenilen Stadien darstellen.

Shannon & O'Toole (2003) haben festgestellt, dass seit 1951 bis 1996 das Vorkommen von Planktonindividuen im Nordbenguela - Auftriebsgebiet stark zugenommen hat und dass es gleichzeitig auch zu Änderungen in der Nährstoffzusammensetzung gekommen ist. Das Vorkommen von Crustaceen - Zooplankton hat sich verzehnfacht und die gesamte Zooplanktonabundanz hat um ein hundertfaches zugenommen. Gleichzeitig konnte man einen Trend zu kleineren Individuen, insbesondere beim Zooplankton, feststellen. Gründe hierfür können der starke Zuwachs, klimatische Begebenheiten oder der reduzierte Fraßdruck von Sardinen und Sardellen sein (Verheye & Richardson, 1998). In Auftriebsgebieten sind die Abundanzen von Organismen und die biologische Diversität schwer vorhersagbar, da die Nährstoffe ungleichmäßig verteilt sind. In manchen Gegenden des Auftriebsgebiets kommt es somit zu einem Überschuss an Nährstoffen, während in anderen Gegenden Ressourcenarmut herrscht. Dieses Phänomen wird als „Patchiness“ bezeichnet (Stuart et al., 2003).

## *1.2 Beschreibungen des Untersuchungsgebiets*

Der Benguelastrom vor Namibia ist einer der vier größten östlichen Kontinentalrandströmungssysteme in den Weltmeeren (Sakko, 1998) und dehnt sich von 37°S bis 14°S aus (Shannon & Nelson, 1996). Das System wird in zwei größere Ökosysteme (Nord- und Süd-Benguela) unterteilt (Heymans & Baird, 2000). Im Süden wird das Gebiet durch den warmen Agulhas Strom begrenzt. Im südlichen Teil sind die Auftriebsereignisse häufiger saisonal bedingt als im nördlichen und zentralen Benguela-Gebiet und am stärksten während der Sommermonate (Hutchings et al., 2006). Im Norden ist die Grenze nicht eindeutig, wobei die Angola - Benguela - Front eine natürliche Grenze bildet, welche besonders in den oberflächennahen Wasserschichten den Benguelastrom abgrenzt. Im Norden und im zentralen Benguela-Gebiet sind die Auftriebsereignisse im Winter und Frühjahr am häufigsten (Shannon & O'Toole, 2003). Die Grenzen (Warm-Wasser-Systeme) im Norden und Süden sind sehr variabel. Das warme Wasser hat unter Anderem einen direkten Einfluss auf das gesamte Ökosystem und auf die Organismen, die in dem Ökosystem der Benguelaströmung leben (Heileman & O'Toole, 2009). Das Benguela Auftriebsgebiet ist geprägt durch die Variabilität des Ökosystems, kühles Oberflächenwasser und eine hohe biologische Produktivität, die positiv die Primärproduktion und in Folge die Biomasse des Zooplanktons beeinflusst. Die Variabilität zeichnet sich durch saisonale, zwischenjährliche und dekadische Variabilität aus, welche schwer vorhersehbar ist, und einen periodischen Ökosystemwechsel der lokalen Fischpopulation aus (Shannon & O'Toole, 2003). Nach Heymans & Baird (2000) wird nur das Nordbenguela Gebiet als dauerhaftes Auftriebsgebiet bezeichnet.

## *1.3. Definition Mikrozooplankton*

Mikrozooplankton repräsentiert eine Gruppe von ein – und vielzelligen, planktonischen Organismen und ist meistens zwischen 20 – 200 µm groß. Es gibt viele verschiedene Definitionen und häufig bestehen Unterschiede in der Größenangabe. Calbet & Alcaraz (k.A.) definieren alle Organismen als Mikrozooplankton, die kleiner als 200 µm sind. Newell & Newell (1977) dagegen sagen, dass alle Organismen zum Mikrozooplankton gezählt werden, die kleiner als 1 mm sind und mit einem Netz mit einer Maschenweite von 75 µm gefangen werden können. Die Organismen können sowohl heterotroph als auch mixotroph sein. In den

einzelnen Mikrozooplanktongruppen kommen sehr vielfältige Beutefangtechniken zum Einsatz. Innerhalb des Mikrozooplanktons hat jede Gruppe ihr individuell-charakteristisches Beuteschema (Calbet & Alcaraz, k.A.). Wichtige Vertreter des Mikrozooplanktons sind heterotrophe und mixotrophe Dinoflagellaten, Ciliophoren, Radiolarien, Foraminiferen, marine Copepoden und meroplanktonische Larven (Calbet & Alcaraz, k.A.), die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Heterotrophe Dinoflagellaten (Abb. 3) sind in der Regel zwischen 2 und 200  $\mu\text{m}$  groß und bilden häufig mehr als 50 % der Mikrozooplanktonpopulation (Sherr & Sherr, 2007). Dinoflagellata besitzen sehr vielfältige Nahrungsaufnahmemechanismen, dazu gehört Phagozytose, Myzozytose und Pallium - Fressen (Abb. 4). Sie sind in der Lage, Beute von einer Größe ab 1  $\mu\text{m}$ , bis hin zu Organismen, die ihre eigene Größe übersteigen zu verdauen (Calbet, 2008). Heterotrophe Dinoflagellaten haben eine hohe Abundanz während Algen - Blüten mit einer hohen Chlorophyll a - Konzentration, da sie ihnen als Nahrung dienen. Dinoflagellaten können aufgrund ihres großen Beutespektrums auch bei niedriger Beutekonzentration überleben. Außerdem können sie zeitweise ohne Nahrung auskommen. Sie selbst sind Nahrungsbestandteil von Copepoden (Sherr & Sherr, 2007).



Abb.3: *Protoperdinium* sp., Foto: Karolina Bohata

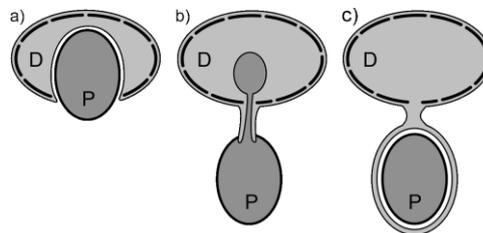


Abb. 4: Drei verschiedene Varianten der Nahrungsaufnahme bei heterotrophen Dinoflagellata:

a) Phagozytose b) Myzozytose c) Pallium-Fressen

(Internet – Quelle 3)

Ciliophoren sind zwischen 20 – 3000  $\mu\text{m}$  groß. Einige Organismen können sogar bis zu 4,5 mm groß werden. Sie sind sehr weit verbreitete heterotrophe Protisten, in bestimmten Gebieten nehmen sie 60 – 75 % des kompletten Zooplanktons ein und sind Konsumenten von Bakterien, kleinem Phytoplankton, Gewebe und anderen Protisten. Bislang wurden 1200 verschiedene Arten beschrieben. Hierzu gehören auch die Tintinniden (Abb. 5), die die größte

Spezies der marinen Ciliophoren repräsentieren (Larink & Westheide, 2011). Tintinniden haben eine kurze Generationszeit, eine hohe Abundanz und eine hohe Vermehrungsrate (Alder, 1999).



Abb. 5: Tinttinida, Foto: Karolina Bohata

Foraminiferen (Abb. 6) sind zwischen 100  $\mu\text{m}$  – 20 cm groß. Sie besitzen eine Schale, die aus  $\text{CaCO}_3$  besteht. Foraminiferen sind entweder karnivor oder omnivor (Larink & Westheide, 2011). Die planktonischen Formen sind meistens omnivor, wobei die stacheligen Formen tierische Beute, wie z.B. Ciliaten, Radiolarien, Copepoden, Amphipoden, Pteropoden und Chaetognathen bevorzugen (Kemle – von Mücke & Hemleben, 1999).

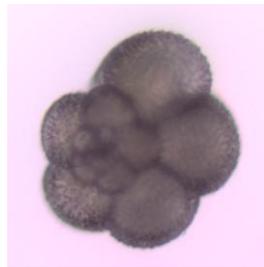


Abb. 6: Foraminifera, Foto: Karolina Bohata

Radiolarien sind 30  $\mu\text{m}$  – 2 mm groß und haben ein Skelett aus Silikat (Larink & Westheide, 2011). Sie werden in Polycystina und Phaeodarians unterteilt. Ein charakteristisches Merkmal bei allen Radiolarien ist die zentrale Kapselmembran, die das Zytoplasma in zwei Bereiche unterteilt. Die Ernährung von Radiolarien ist sehr vielfältig. Sie konsumieren Copepoden, Crustaceen - Larven, Ciliaten, Flagellaten, Phytoplankton, Bakterien, organisches Detritus und viele andere Organismen) (Boltovskoy, 1999).

Marine Copepoden sind kleine Crustaceen und werden meisten zwischen 0,2 – 12 mm groß. Bisher sind mehr als 10.000 Arten von planktonischen Copepoden bekannt (Bradford-Grieve

et al., 1999). Sie nehmen teilweise 90 – 97 % der Biomasse des Zooplanktons ein und besetzen somit eine wichtige Position im marinen Nahrungsnetz. Die Copepoden entwickeln sich als Nauplien innerhalb von sechs Stadien, wobei es zwischen jedem Stadium zu einer Häutung kommt. In den darauffolgenden sechs Copepoditstadien häuten sich die Tiere weiter und es kommt zur Vermehrung der Segmente und Beinpaare (Mauchline, 1998).

Pteropoden (Abb. 7) kommen in allen marinen Lebensräumen von den Polen bis zum Äquator, von der Oberfläche bis in großen Tiefen vor (Van der Spoel & Dadon, 1999). Pteropoden sind meistens kleiner als 1 cm (Larink & Westheide, 2011). Sie gehören zu den Gastropoden, wobei sie in zwei verschiedene Taxa eingeteilt werden: Gymnosomaten und Thecosomaten. Thecosomaten besitzen im Gegensatz zu Gymnosomaten ein Gehäuse. Thecosomaten sind sehr wichtig für ökologische und geologische Zusammenhänge. Sie sind z.B. ein signifikanter Faktor für den Kohlenstoff-Kreislauf im Ozean (Van der Spoel & Dadon, 1999).



Abb. 7: Pteropoda, Foto: Karolina Bohata

Meroplanktische Larven repräsentieren die larvale Form benthonischer und nektonischer Organismen. Hierzu gehören z.B. Pluteus-Larven (Gastropoda), Veliger-Larven (Gastropoda), Bipinnarien-Larven (Echinodermata), Metatrochophoren (Polychaeta), Zoea (Decapoda) sowie Fischeier und -larven. Diese Stadien dienen zum einen der Verbreitung der Arten im Meer, zum anderen der direkten Nutzung der Nahrungsressourcen im Plankton, die z.B. für die am Boden lebenden erwachsenen Organismen nicht möglich ist (Internet – Quelle 4)

Sehr lange wurde dem Mikrozooplankton eine zweitrangige Stellung im Nahrungsnetz zugewiesen, in den letzten Jahrzehnten wurde jedoch entdeckt, dass Mikrozooplankton neben Bakterien und Phytoplankton eine sehr wichtige Stellung in den biogeochemischen Kreisläufen von organischen und anorganischen Komponenten einnimmt, welche nicht durch Sedimentation und Advektion verloren gegangen sind (Calbet & Alcaraz, k.A.). Das Mikrozooplankton besitzt eine Schlüsselposition als Konsument der Primärproduktion im marinen Nahrungsnetz, als Vermittler zwischen Primärproduzenten und Copepoden und als

Schlüsselkomponente der mikrobiellen Schleife, indem das Mikrozooplankton Nährstoffe und organisches Material recycelt und CO<sub>2</sub> produziert (Calbet & Alcaraz, k.A.). Das Mikrozooplankton stellt eine Verbindung zwischen dem klassischen und dem mikrobiellen Nahrungsnetz her (Calbet, 2008). In sehr produktiven Gebieten (z.B. Auftriebsgebiete) ist der Fraßdruck (engl. grazing) von Mikrozooplankton auf Phytoplankton sehr hoch. Bis zu ca. 60 % der Primärproduktion und ungefähr die Hälfte der Phytoplanktonbiomasse kann pro Tag von Mikrozooplankton konsumiert werden (Calbet, 2008). Gerade in Auftriebsgebieten ist es offensichtlich, dass Mikrozooplankton eine wichtige, bisher aber unterschätzte Rolle neben dem Mesozooplankton einnimmt. Große Copepoden und große Vielzeller brauchen im Gegensatz zu Mikrozooplankton mehr Zeit für ihre Entwicklung und können meistens nicht sehr gut mit dem schwankenden Nahrungsangebot umgehen, was ein charakteristisches Zeichen von Auftriebsgebieten ist (Sakko, 1998). Mikrozooplankton ist somit ein wichtiger Kontrollfaktor für die Phytoplanktonpopulation (Landry & Calbet, 2004). Viele Ereignisse müssen gleichzeitig auftreten, um die dichte Phytoplankton Blüte, gerade in Auftriebsgebieten, zu beeinflussen. Der Konsument muss eine hohe Abundanz aufweisen, mit dem Phytoplankton in Zeit und Raum zusammen vorkommen und in der Lage sein, das Phytoplankton effizient zu konsumieren. Phytoplankton ist besonders in Auftriebsgebieten von großen Diatomeenketten geprägt, welche eine sehr gute Nahrungsgrundlage für Dinoflagellaten bilden (Abb. 8) (Stibor, 2004). Sherr & Sherr (2007) fanden heraus, dass Dinoflagellaten einen bedeutenderen Einfluss auf Diatomeen haben als Copepoden. Eine andere bedeutende Gruppe des Mikrozooplanktons sind die Ciliaten, die aber zum Beispiel keine großen Diatomeenketten als Nahrung nutzen können und tendenziell kleinere Algen konsumieren.

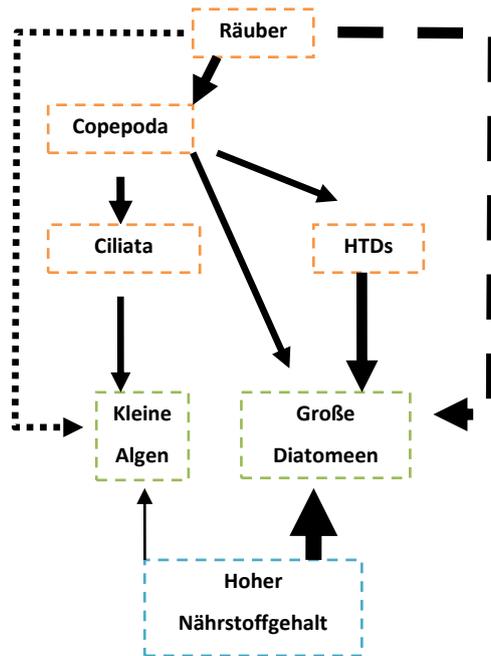


Abb. 8: Direkte und indirekte Einflüsse des Nahrungskreislaufs in Auftriebsgebieten bezogen auf den aktuellsten Forschungsstand, HTDs = heterotrophe Dinoflagellaten, nach unten gerichtete durchgehende Pfeile: direkter negativer Effekt von Konsument auf die Ressourcen, nach oben gerichtete durchgehende Pfeile: direkter positiver Effekt von hohem Nährstoffgehalt auf Algen, gestrichelte Pfeile: indirekter Effekt von Räubern auf Algen, die Dicke der Pfeile ist proportional zur Effektivität (verändert nach Stibor et al., 2004)

#### 1.4 Fragestellung

Die Bedeutung des Mikrozooplanktons in pelagischen Ökosystemen ist schon lange bekannt (Landry & Calbet, 2004). Aber erst in den letzten Jahren wurde herausgefunden, dass Mikrozooplankton auch eine wichtige Rolle im marinen Nahrungsnetz von Auftriebsgebieten spielt (Calbet, 2008). Es wurde z.B. beobachtet, dass Mikrozooplankton ein wichtiger Konsument von Phytoplankton ist. Mikrozooplankton in Auftriebsgebieten wurde in vielen Studien vernachlässigt, da man z.B. bei der Wahl der Planktonnetze eine zu große Maschenweite ( $>200 \mu\text{m}$ ) verwendet und somit nur Probenmaterial für Mesozooplankton, aber nicht für Mikrozooplankton erhalten wurde (Gallienne & Robinson, 2001). Außerdem konzentrieren sich die meisten Studien auf größere Taxa (Paffenhöfer, 1993). Um weitere Zusammensetzungen und Zusammenhänge von Mikrozooplankton und dem mikrobiellen Nährstoffkreislauf im Nordbenguela - Auftriebsgebiet zu analysieren, wurden vier Stationen (Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch) vor Walvis Bay in unterschiedlichen Tiefen im

Rahmen dieser Arbeit beprobt und analysiert. Die tiefenabhängige Zusammensetzung des Mikrozooplanktons soll primär analysiert und folgende Hypothesen sollen geklärt werden:

In Auftriebsgebieten wird kaltes, nährstoffreiches Tiefenwasser mit dem verdrängten, nährstoffarmen Oberflächenwasser vermischt (Gerlach, 1994) und in der euphotischen Zone kommt es durch den hohen Nährstoffgehalt und durch das Einwirken von Sonnenlicht zu einer hohen Primärproduktion von Phytoplankton. Infolge ist die Biomassekonzentration des Mikrozooplanktons an der Oberfläche in der Schelfregion am größten.

Die hohe Primärproduktion in Auftriebsgebieten fördert ein sehr individuenreiches, aber gleichzeitig artenarmes Nahrungsnetz auf dem Schelf (Sakko, 1998), ins offene Meer nimmt die Biodiversität zu.

Die Zusammensetzung von Mikrozooplankton in dem Nordbenguela - Auftriebsgebiet ist vom Schelf bis in den offenen Ozean in den unterschiedlichen Tiefen sehr gemischt, da die Nährstoffzusammensetzung durch die Auftriebsereignisse sehr unterschiedlich und schwer vorhersagbar ist (Stuart et al., 2003) und gleichzeitig Auftriebsgebiete sehr variable Ökosysteme sind, in denen sich physikalische, chemische und biologische Prozesse fortlaufend verändern (Nelson & Hutchings, 1983).

Auftriebsgebiete werden am Schelf von Diatomeen geprägt, welche eine gute Nahrungsquelle für Dinoflagellaten darstellen (Sherr & Sherr, 2007). Daher dominieren heterotrophe Dinoflagellaten an der Oberfläche der Schelfstation.

Zusammensetzung von Copepoden im Auftriebsgebiet:

Die Zusammensetzung der Copepoden – Taxa variiert vom Schelf bis in den offenen Ozean stark, wobei der Sauerstoffgehalt ein wichtiger abiotischer Faktor ist. Calanoide Copepoden dominieren im offenen Meer, wobei Cyclopoide Copepoden in der Schelfregion dominant sind.

## 2. Material und Methoden

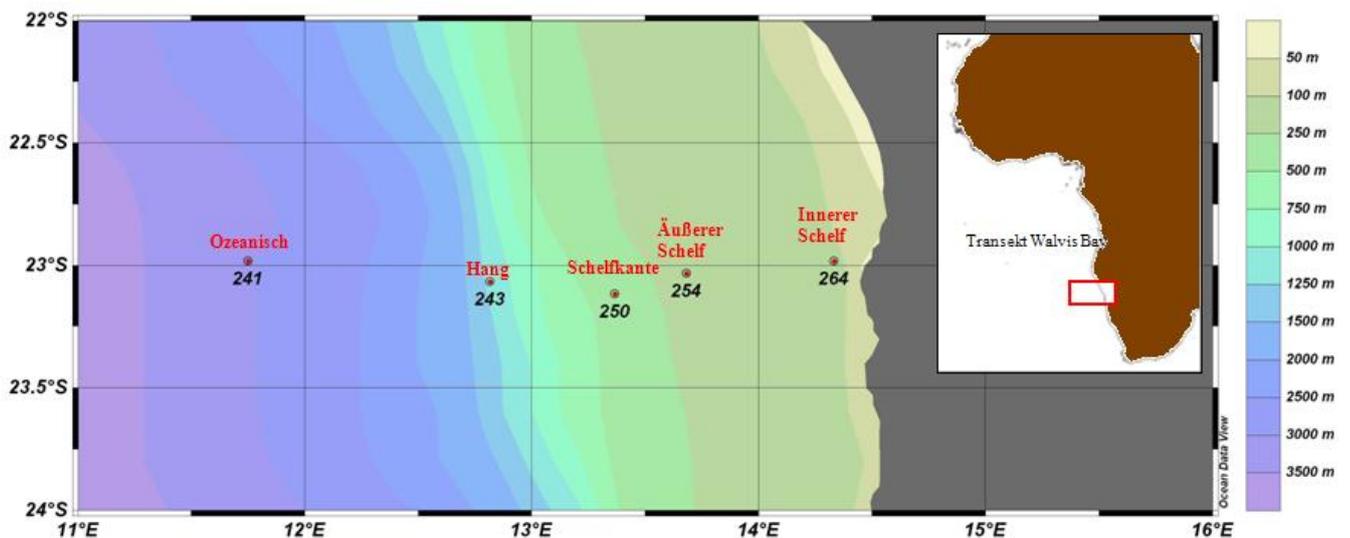


Abb. 9: Untersuchte Stationen auf dem Walvis Bay Transekt, in rot eingezeichnet sind die Stationsbezeichnungen; in schwarz die Stationsnummern

### 2.1 Probennahme

Die untersuchten Mikrozooplanktonproben wurden während der Reise 17/3 des Forschungsschiffs MARIA S. MERIAN im Rahmen des BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) Verbundprojekts GENUS (Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System) während des Südsommers im Februar 2011 vor Walvis Bay im Nordbenguela - Auftriebsgebiet unter abgeschwächten Auftriebsbedingungen (Lahajnar et al., 2011) genommen. Für die Probennahme vor der Küste bis in den offenen Ozean (Abb. 9) wurde ein Multinetz (Hydrobias, Typ Midi) mit einer Öffnung von 0,25 m<sup>2</sup> eingesetzt. Das Multinetz hat fünf Netze mit jeweils einer Maschenweite von 55 µm, welche in bestimmten Wassertiefen geöffnet und geschlossen werden können und somit unterschiedliche Tiefen beprobt werden können. Auf der gesamten Forschungsfahrt wurde das Multinetz auf 29 Stationen eingesetzt. Die Netze wurden stets vom tiefsten Punkt aufsteigend ausgelöst. Die Hievgeschwindigkeit betrug 0,5 ms<sup>-1</sup>. Im Rahmen dieser Arbeit wurden fünf Stationen auf dem Walvis Bay Transekt untersucht, vier Stationen wurden für die Individuenzählung und fünf Stationen für die Biomassekonzentration analysiert. (Tabelle 1). Alle genommenen Proben wurden auf dem Schiff mit Sieben konzentriert und mit einer 4%-igen, mit Natriumtetraborat gepuffert Formaldehyd - Seewasser Lösung, für die weiteren Analysen fixiert.

Tabelle 1: Fangdaten der Multinetz Stationen vor Walvis Bay. Lokale Zeit = UTC + 2h, TB = Trockenbiomasseanalyse, I = Individuenanalyse

Lokation	Stations- bezeichnung	Datum	Start- Zeit (UTC)	Koordinaten	Tiefe [m]	Proben- intervalle (Anzahl der Proben)	Analysen
Ozeanisch	241	06.02.2011	04:35	22°45'S, 11°45'E	2963	1000-600-400- 200-0 (4)	TB, I
Ozeanisch	241	06.02.2011	06:04	22°45'S, 11°45'E	2963	100-50-25-0 (3)	TB, I
Hang	243	07.02.2011	07:46	23°04'S, 12°49'E	919	850-600-400- 200-0 (4)	TB, I
Hang	243	07.02.2011	08:46	23°04'S, 12°49'E	919	200-100-50-25-0 (4)	TB, I
Schelfkante	250	08.02.2011	13:08	23°07'S, 13°22'E	336	300-200-100-50- 25-0 (5)	TB, I
Äußerer Schelf	254	09.02.2011	22:45	23°02'S, 13°41'E	158	100-50-25-0 (3)	TB
Innerer Schelf	264	09.02.2011	15:12	22°59'S, 14°20'E	66	50-25-0 (2)	TB, I

## 2.2 Probenanalyse

Die Proben wurden zunächst durch Siebkettenfraktionierung in zwei Größenklassen eingeteilt: > 300 µm und 55 - 300 µm. Die 55 – 300 µm Proben wurden für die weitere Mikrozooplanktonanalyse benutzt. Nach der Siebkettenfraktionierung wurden die Proben für die Individuenzählung in eine formolfreie Sortierlösung überführt, die aus 0,5% Propylenphenoxetol, 5% Propylenglykol und 94,5% entionisiertem Wasser besteht (Steedmann 1976).

Für die Biomassebestimmung wurden die Proben mit einem Teiler geteilt. Eine Hälfte wurde für die Biomassebestimmung verwendet, der zweite Teil für die Klassifizierung der Organismen benutzt. Auf Grund der sehr geringen Volumen konnte die Biomasse nur bei einigen Unterproben bestimmt werden. Für die Trockenbiomassebestimmung wurden zunächst Glasfieberfilter (GF/F) vorbereitet. Diese wurden für sechs Stunden bei 500°C geglüht, um sicher zu gewährleisten, dass kein organisches Material mehr am Filter verbleibt. Die geglühten Filter wurden anschließend zusammen mit einer Aluminiumschale auf einer Mikro-Balance Waage (Genauigkeit 0,01 mg) gewogen. Anschließend wurde der Filter auf eine Filtrationsanlage gelegt. Die Probe wurde mit destilliertem Wasser auf den Filter gespült und durch Unterdruck filtriert. Die Filter mit dem Filtrat wurden bei 60°C für 24 h getrocknet. Nach dem Trocknen wurde der Filter zusammen mit der Aluminiumschale ein zweites Mal gewogen (Harris et al., 2000). Um anschließend die Konzentration für die Trockenbiomasse zu berechnen, wurde folgende Formel nach Harris et al. (2000) angewendet:

$$\text{Trockenmasse (mg m}^{-3}\text{)} = \frac{\text{getrocknetes Filtrat mit Filter in Alu-Schale (mg)} - [\text{Filter (mg)} + \text{Aluminiumschale (mg)}]}{\text{Menge an beprobten Wasser (m}^{-3}\text{)}}$$

Der zweite Teil der Planktonprobe wurde je nach Planktonkonzentration mit einer Hensenpipette in einer 250 ml Schüttelflasche so lange geteilt, bis eine geeignete Aliquotgröße für das Auszählen in einer Bogorov-Schale erhalten wurde (Tabelle 2). Die quantitative Bearbeitung der Planktonproben wurde per Hand mit Hilfe eines Binokulars durchgeführt. Es wurde versucht, das Mikrozooplankton bis zur Familie oder Gattung zu bestimmen. Die Individuen wurden für jede Station (Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch) und für die verschiedenen Tiefen ausgezählt und anschließend wurde die Anzahl pro m<sup>3</sup> berechnet. Die Verteilung wurde in einer Grafik dargestellt. Die häufig gefundenen Gruppen (Copepoden, Nauplien, Tintinniden, Radiolarien, Foraminiferen, Dinoflagellaten und seltene Taxa) wurden in einer Grafik zusammen dargestellt. Die Zusammensetzung der seltenen Taxa wurde in einer eigenen Grafik dargestellt. Hierzu zählen folgende Gruppen: Pteropoden, Appendicularien, Chaetognathen, Polychaeten-Larven, Ostracoden, unbestimmte Ciliaten, Salpen, Bivalvieren und unbestimmte Arten. Da die Abundanz von den häufigen Gruppen und den seltenen Taxa sehr voneinander abweicht, war es nicht möglich, beide Gruppen in einer Grafik darzustellen. Die gefundenen Gruppen der Copepoden wurden ebenfalls in einer eigenen Grafik dargestellt. Die Gruppen im Benguelastrom waren calanoide Copepoden, cyclopoide Copepoden (*Oithona* spp.), poecilostomatoide Copepoden

(*Oncaea* spp.) und harpacticoide Copepoden (*Microsetella* spp.). Exuvien wurden gesondert behandelt und nicht mit in die Gesamtabundanz der vier Stationen in den unterschiedlichen Tiefen einbezogen. Es wurde eine eigene Grafik für die Exuvien erstellt.

Zur der Klassifizierung der Organismen wurden Boltovskoy (1999) und Larink & Westheide (2011) verwendet.

Tabelle 2: Teilungsfaktoren der verschiedenen Tiefen der vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch vor Walvis Bay

Schelf		Schelfkante		Hang		Ozeanisch	
Tiefe	Teilungsfaktor	Tiefe	Teilungsfaktor	Tiefe	Teilungsfaktor	Tiefe	Teilungsfaktor
0 - 25m	1/1000	0 - 25m	1/125	0 - 25m	1/250	0 - 25m	1/100
25 - 50m	1/50	25 - 50m	1/250	25 - 50m	2/250	25 - 50m	1/100
		50 - 100m	1/250	50 - 100m	4/250	50-100m	1/100
		100 - 200m	1/250	100 - 200m	1/250	0-200m	1/100
		200 - 300m	1/125	0 - 200m	1/500	200-400m	1/100
				200 - 400m	1/250	400-600m	1/50
				400 - 600m	3/250	600-1000m	1/50
				600-850m	4/250		

Die Ergebnisse wurden mit dem Windows-Programm „SigmaPlot 11.0“ als Graphiken dargestellt.

Für die qualitative Auswertung der Planktonproben wurden drei verschiedene Indices verwendet, um die Verteilung der Mikroplanktonorganismen an den verschiedenen Stationen zu analysieren.

Diversitäts-Index (nach Shannon und Weaver 1949):  $H = -\sum (n/N) \ln(n/N)$

wobei n die Individuenanzahl einer Art und N die Gesamtindividuenanzahl aller Arten sind. Der Diversitäts-Index kann normalerweise Werte zwischen 0 und 5 annehmen, wobei bei 0 nur eine Spezies vorkommt und bei 5 eine sehr hohe Diversität vorliegt.

Gleichverteilungsindex (nach Pielou, 1966):  $J = H/\ln N$

wobei H der Shannon-Weaver Wert ist und N die Gesamtindividuenanzahl. Der Pielou-Index kann Werte zwischen 0 und 1 einnehmen, wobei bei niedrigen Werten eine Spezies die meisten Individuen darstellt, während bei hohen Werten die Population gleichmäßiger verteilt ist.

Dominanz-Index (nach Simpson 1949):  $D = \sum (n/N)^2$

wobei n die Individuenanzahl einer Art und N die Gesamtindividuenanzahl aller Arten sind. Der Dominanz-Index kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei 1 die absolute Dominanz darstellt (nur eine Spezies präsent).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Hydrographie

Im Februar 2011 wurde am inneren Schelf (IS) vor Walvis Bay eine Oberflächentemperatur von 19°C gemessen, wohingegen im offenen Ozean (Oz) die Temperatur bei 22°C lag (Abb. 10). Die Temperatur sank an allen Stationen mit zunehmender Tiefe ab. An der Schelfkante betrug die niedrigste Temperatur 9°C in 600 m Tiefe, im offenen Ozean wurde in 900 m eine Temperatur von 4°C gemessen.

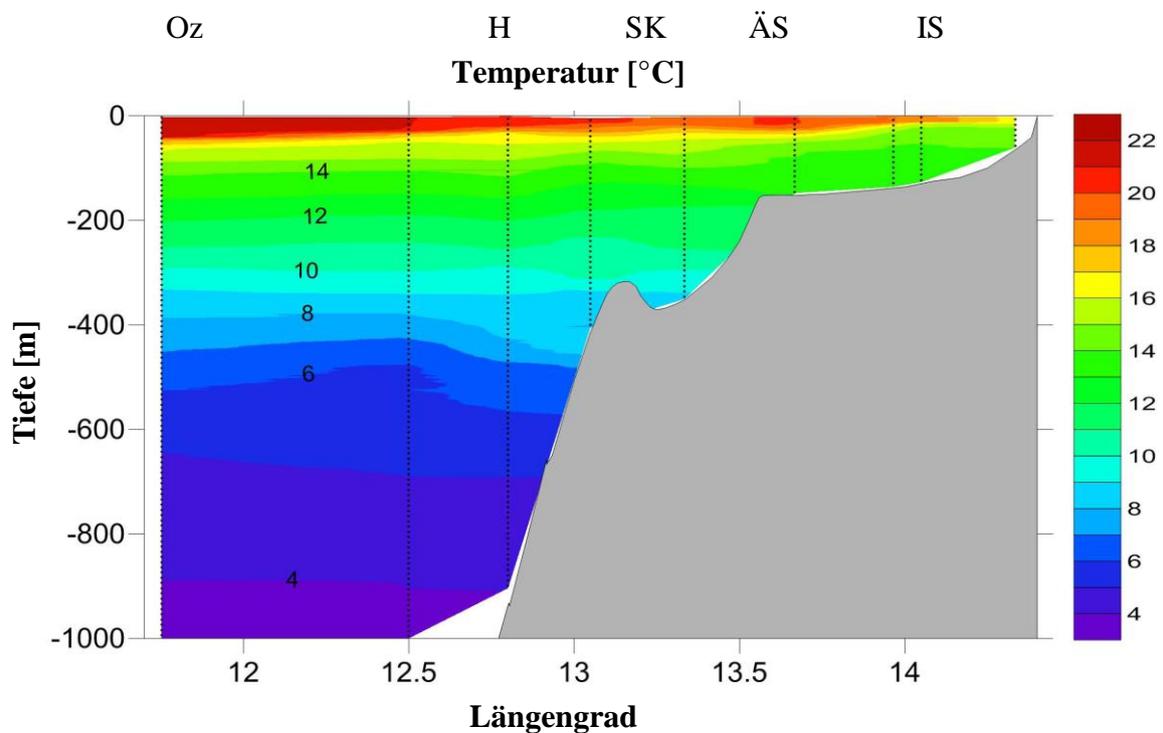


Abb. 10: Wassertemperatur am inneren Schelf (IS), äußeren Schelf (ÄS), Schelfkante (SK), Hang (H), Ozeanisch (Oz) vor Walvis Bay in unterschiedlichen Tiefen (zur Verfügung gestellt von Dr. V. Mohrholz, IOW)

Der Sauerstoffgehalt lag an allen Stationen an der Oberfläche zwischen 5 und 6 ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> (Abb. 11). Auf dem Schelf sank der Sauerstoffgehalt mit zunehmender Tiefe ab, an manchen Lokationen bis auf fast 0 ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>. Im offenen Ozean konnte mit zunehmender Tiefe ebenfalls eine Abnahme des Sauerstoffgehalts bis auf 3,5 ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup> zwischen 600 und 800 m Tiefe

festgestellt werden. An den Stationen Hang (H), Schelfkante (SK), äußerer Schelf (ÄS) und innerer Schelf (IS) lag der Sauerstoffgehalt im bodennahen Wasser zwischen 0 und  $1,5 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$ . An der ozeanischen Station betrug der Sauerstoffgehalt in 400 - 600 m  $2,5 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$ , unterhalb dieser Tiefe stieg der Sauerstoffgehalt auf  $3 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$  in 700 m und auf  $4 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$  in 900 m an.

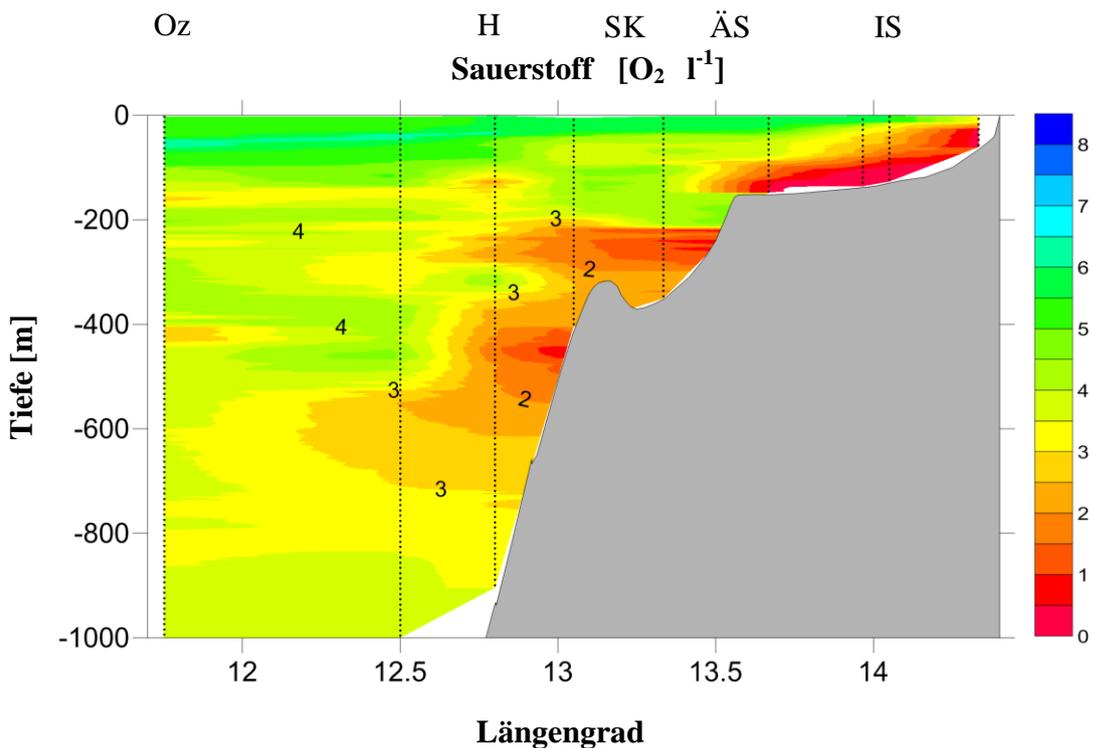


Abb. 11: Sauerstoffgehalt [ $\text{O}_2 \text{ l}^{-1}$ ] am inneren Schelf (IS), äußeren Schelf (ÄS), Schelfkante (SK), Hang (H) und Ozeanisch (Oz) vor Walvis Bay in unterschiedlichen Tiefen (zur Verfügung gestellt von Dr. V. Mohrholz)

### 3.2 Biomasse

Am inneren Schelf wurde zwischen 0 - 25 m eine Biomassekonzentration von  $5,10 \text{ mg/m}^3$  (Tabelle 3) gemessen. Dies entspricht der höchsten Konzentration an allen beprobten Stationen. Am äußeren Schelf und an der Schelfkante kam die höchste Biomassekonzentration von  $2,33$  und  $1,43 \text{ mg/m}^3$  in 25 bis 50 m vor. An beiden Stationen nahm die Biomassekonzentration zwischen 25 – 50 m zu, darunter nahm sie ab. Am Hang wurde zwischen 0 – 200 m eine Biomassekonzentration von  $0,34 \text{ mg/m}^3$  gemessen und an der ozeanischen Station wurde zwischen 0 – 200 m eine Biomassekonzentration von  $0,18 \text{ mg/m}^3$

ermittelt. Der niedrigste Wert konnte an der Schelfkante zwischen 100 – 200 m festgestellt werden und betrug 0,13 mg/m<sup>3</sup>. Generell nahm die Biomassekonzentration vom Schelf in den offenen Ozean und mit der Tiefe ab.

Tabelle 3: Biomassekonzentration in den verschiedenen Tiefen (Probenintervallen) an den fünf Stationen innerer Schelf, äußerer Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch

<b>Lokation</b>	<b>Schiffstation</b> <b>[m]</b>	<b>Probenintervall</b> <b>[m]</b>	<b>Trockengewicht</b> <b>[mg/m<sup>3</sup>]</b>
Ozeanisch	241	0 - 200	0,18
Hang	243	0 - 200	0,34
Schelfkante	250	0 - 25	0,82
		25 - 50	1,43
		50 - 100	0,22
		100 – 200	0,13
		200 - 300	0,14
Äußerer Schelf	254	0 – 25	2,10
		25 – 50	2,33
		50 – 100	0,18
Innerer Schelf	264	0 – 25	5,10
		25 - 50	0

### 3.3 Abundanz und Diversität gefundener Arten

#### Häufige Taxa

An der Oberfläche der Schelfstation konnte zwischen 0 – 25 m mit 98216 Ind. / m<sup>3</sup> die höchste Gesamtabundanz aller Stationen und Tiefen festgestellt werden (Abb. 12). Zwischen 25 und 50 m betrug die Abundanz an der Schelfstation mit 2368 Ind. / m<sup>3</sup> nur noch 1/40 des darüber liegenden Probenintervalls. An der Schelfkante lag die Abundanz an der Oberfläche bei 13400 Ind. / m<sup>3</sup> und nahm zwischen 25 – 50 m auf 15800 Ind. / m<sup>3</sup> zu. Darunter nahm die Konzentration stetig ab und lag bei 2545 Ind. / m<sup>3</sup> zwischen 200 – 300 m. Auch am Hang nahm die Abundanz mit der Tiefe ab: an der Oberfläche konnten 22383 Ind. / m<sup>3</sup> festgestellt werden, in 600 – 1000 m nur noch 494 Ind. / m<sup>3</sup>. Zwischen 50 und 400 m trat eine leichte Erhöhung der Individuenkonzentration auf. Im offenen Meer (Ozeanisch) stieg die Abundanz des Mikrozooplanktons in den oberen 100 m kontinuierlich an, während an der Oberfläche 2256 Ind. / m<sup>3</sup> gezählt wurden, kamen in 50 – 100 m 3672 Ind. / m<sup>3</sup> vor. Darunter nahm die Abundanz ab und lag zwischen 600 – 1000 m bei 201 Ind. / m<sup>3</sup>. Zwischen 100 - 200 m wurden keine Daten erhoben. In der Grafik wurde stattdessen die Abundanz der Individuen / m<sup>3</sup> für die Tiefe 0 – 200 m eingetragen. Im Allgemeinen nahm die Abundanz vom Schelf bis in den offenen Ozean und mit der Tiefe ab.

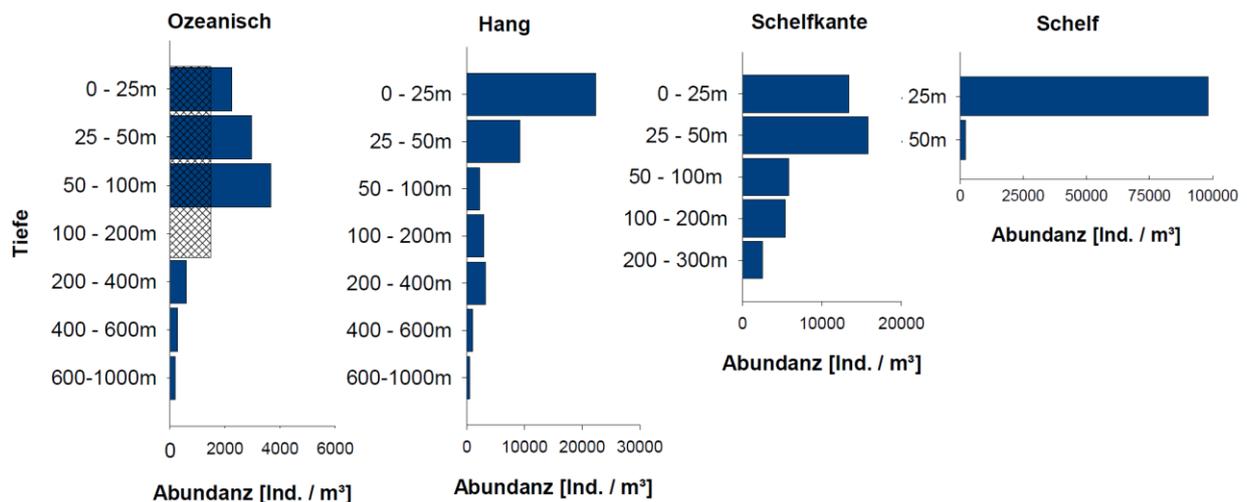


Abb. 12: Vergleich der Gesamtabundanz [Ind. / m<sup>3</sup>] an den vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch bei unterschiedlichen Tiefen (Probenintervallen)

Insgesamt konnten 16 verschiedene Taxa in den Proben bestimmt werden. An der Oberfläche der Schelfstation dominierten Dinoflagellaten mit 81440 Ind. / m<sup>3</sup> (Abb. 13). Nauplien (4960 Ind. / m<sup>3</sup>), Copepoden (8800 Ind. / m<sup>3</sup>) und die Sammelgruppe seltene Taxa (Pteropoda, Appendicularia, Chaetognatha, Polychaeten-Larvae, Ostracoda, unbestimmte Ciliata, Salpen, Bivalvia, unbestimmte Arten) mit 1584 Ind. / m<sup>3</sup> bildeten die restlichen Teile des Mikrozooplanktons. Zwischen 25 – 50 m war die Individuenkonzentration sehr reduziert und die seltenen Taxa bildeten mit 21024 Ind. / m<sup>3</sup> den Bestand.

An der Schelfkante war die Biodiversität größer. In allen Tiefen waren dieselben Gruppen abundant: Copepoden, Nauplien, Tintinniden, Radiolarien, Foraminiferen und Dinoflagellaten. Zwischen 50 und 300 m traten seltene Taxa nicht auf und zwischen 200 und 300 m kamen keine Tintinniden und Foraminiferen vor. Nauplien und Radiolarien nahmen von 0 – 50 m den größten Anteil ein, wobei die Radiolarien in allen Tiefen reichlich vorhanden waren.

Am Hang war die Verteilung der Gruppen in den unterschiedlichen Tiefen sehr gleichmäßig und keine Gruppe dominierte. Copepoden, Nauplien, Tintinniden und Radiolarien waren zwischen 0 – 200 m abundant. Ab 200 m Tiefe konnte eine Abnahme der Gesamtabundanz beobachtet werden. Insbesondere die Abundanz der Nauplien und Tintinniden nahm kontinuierlich ab und es kamen überwiegend noch Copepoden (353 Ind. / m<sup>3</sup>) und Radiolarien (113 Ind. / m<sup>3</sup>) vor. In 600 – 850 m Tiefe dominierten Copepoden (129 Ind. / m<sup>3</sup>) und Nauplien (101 Ind. / m<sup>3</sup>).

Im offenen Meer (Ozeanisch) kamen an der Oberfläche alle häufigen Arten vor, wobei Copepoden und Nauplien dominierten. Zwischen 0 – 100 m nahm die Dinoflagellaten - Population von 96 auf 200 Ind. / m<sup>3</sup> zu, war aber zwischen 200 – 1000 m mit 12 Ind. / m<sup>3</sup> wieder sehr gering. Nauplien dominierten in der Tiefe von 50 - 100 m mit 1664 Ind. / m<sup>3</sup>. Tintinniden kamen in allen Tiefen eher selten vor. Zwischen 50 – 100 m hatten sie eine Abundanz von 56 Ind. / m<sup>3</sup>. Foraminifera konnten dagegen fast nur an der Oberfläche mit 80 Ind. / m<sup>3</sup> beobachtet werden. Es wurden keine Daten für die Tiefe 100 - 200 m erhoben.

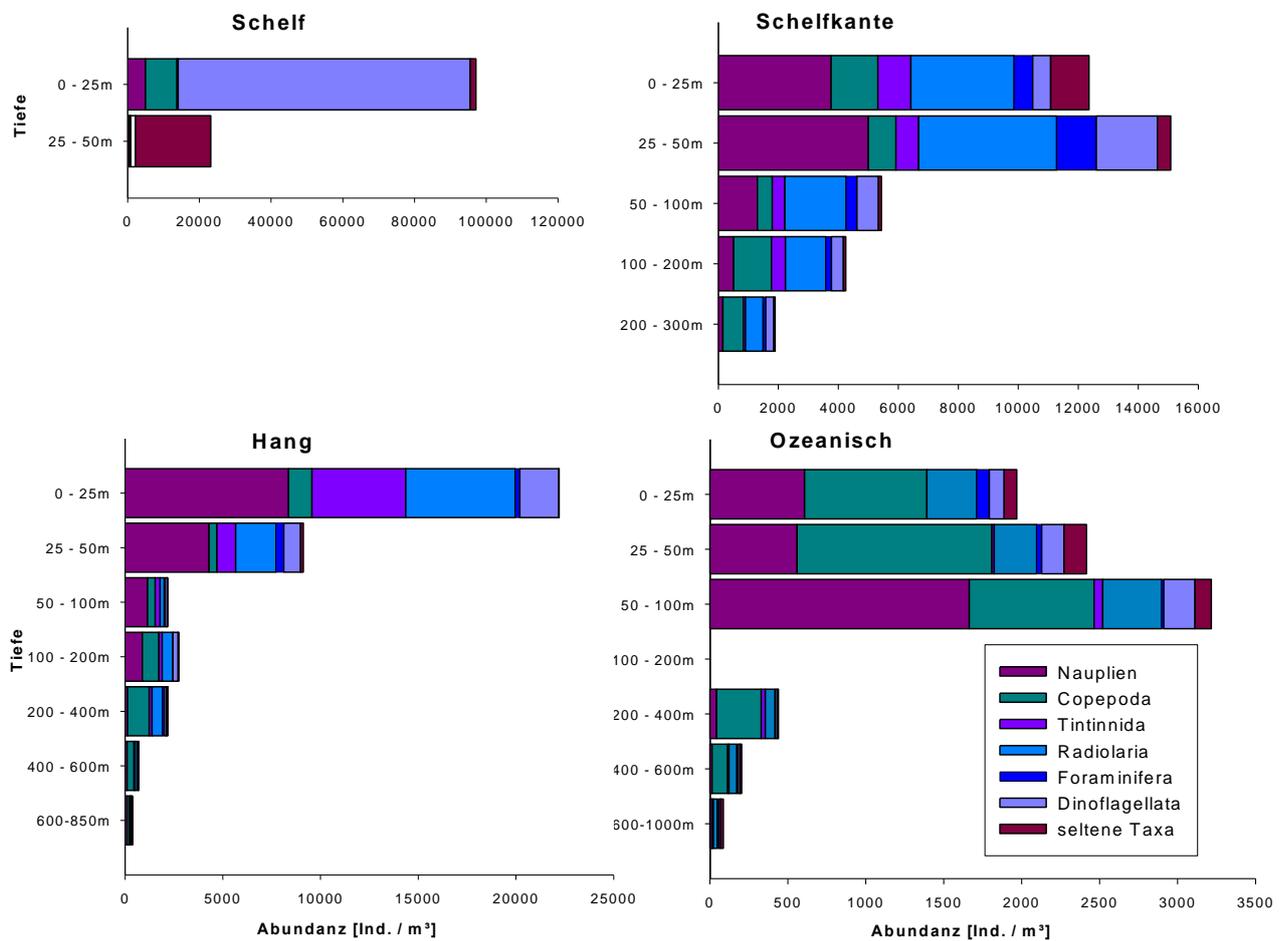


Abb. 13: Vergleich der Zusammensetzung und Abundanz der häufigen Arten (Copepoda, Nauplien, Tintinnida, Radiolaria, Foraminifera, Dinoflagellata, seltene Taxa) der vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch

### *Seltene Taxa*

Bei den seltenen Taxa kamen an der Oberfläche auf dem Schelf unbestimmte Arten (800 Ind. / m<sup>3</sup>), unbestimmte Ciliaten (480 Ind. / m<sup>3</sup>), Polychaeten-Larven (160 Ind. / m<sup>3</sup>) und Salpen (160 Ind. / m<sup>3</sup>) vor (Abb. 14). In 25 – 50 m lag die Abundanz unbestimmter Arten, Salpen, Bivalvien und Pteropoden jeweils bei unter 50 Ind. / m<sup>3</sup>.

An der Schelfkante änderte sich die Verteilung der Gruppen. Appendicularien (920 Ind. / m<sup>3</sup>) dominierten an der Oberfläche und Pteropoden, Chaetognathen, Polychaeten-Larven und unbestimmte Arten bildeten den restlichen Teil. Zwischen 25 – 50 m kamen mit 440 Ind. / m<sup>3</sup> nur Pteropoden vor. Zwischen 50 – 300 m nahm die Abundanz der seltenen Taxa mit der Tiefe stark ab und unbestimmte Arten, Polychaeten-Larven und Pteropoden (außer zwischen 50 – 100 m) bildeten den Bestand.

Am Hang wurde die insgesamt geringe Abundanz der seltenen Taxa an der Oberfläche von Appendicularien (2 Ind. / m<sup>3</sup>) und einem geringen Anteil Pteropoden, Chaetognathen und

unbestimmten Arten gebildet. Pteropoden kamen zwischen 25 – 50 m häufig vor, deren Population nahm aber zwischen 200 – 850 m wieder ab. Ostracoden (25 Ind. / m<sup>3</sup>) kamen nur zwischen 200 – 400 m und Chaetognathen (10 Ind. / m<sup>3</sup>) kamen nur zwischen 100 – 200 m vor. An der ozeanischen Station kamen in fast alle Tiefen Pteropoden am häufigsten vor. An der Oberfläche konnten innerhalb der “seltenen Taxa“ mit 80 Ind. / m<sup>3</sup> nur Pteropoden gefangen werden. Zwischen 25 – 50 m kam neben den Pteropoden (128 Ind. / m<sup>3</sup>) auch ein kleiner Anteil unbestimmter Arten (16 Ind. / m<sup>3</sup>) vor. Zwischen 200 – 1000 m stieg die Anzahl der Pteropoden und die Abundanz der seltenen Taxa leicht an. Ostracoden (5 Ind. / m<sup>3</sup>) kamen nur zwischen 400 – 600 m vor. Zwischen 100 – 200 m wurden keine Daten erhoben.

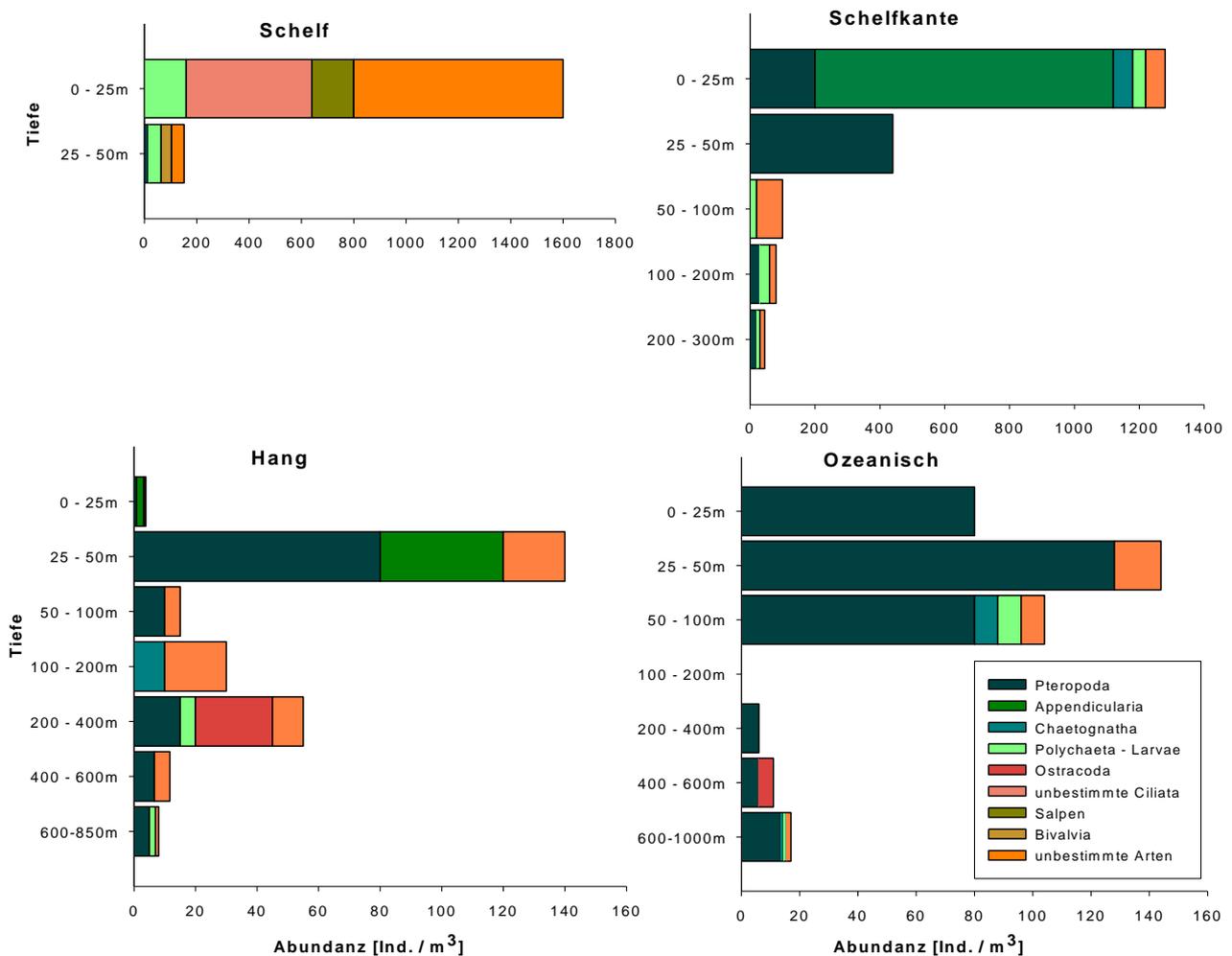


Abb. 14: Vergleich der Zusammensetzung und Abundanz der seltenen Arten (Pteropoda, Appendicularia, Chaetognatha, Polychaeta - Larvae, Ostracoda, unbestimmte Ciliata, Salpen, Bivalvia und unbestimmte Arten) an den vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch

### ***Verteilung und Zusammensetzung der Copepoden***

Die Copepodenzusammensetzung war an allen vier Stationen sehr variabel (Abb. 15). Am Schelf an der Oberfläche dominierten cyclopoide Copepoden (*Oithona* spp.) mit 4960 Ind. / m<sup>3</sup>, welche an keiner anderen Station einen großen Einfluss hatten. Calanoide Copepoden (1600 Ind. / m<sup>3</sup>), poecilostomatoide Copepoden (*Oncaea* spp., 1400 Ind. / m<sup>3</sup>) und harpacticoide Copepoden (*Microsetella* spp., 800 Ind. / m<sup>3</sup>) kamen relativ gleich häufig vor. Poecilostomatoide Copepoden (*Oncaea* spp.) kamen mit 272 Ind. / m<sup>3</sup> am häufigsten zwischen 25 – 50 m vor.

An der Schelfkante hatten harpacticoide Copepoden (*Microsetella* spp.) in den oberen 50 m eine hohe Abundanz mit bis zu 700 Ind. / m<sup>3</sup>. Zwischen 50 – 300 m nahm die Abundanz von poecilostomatoide Copepoden (*Oncaea* spp.) stark zu. Zwischen 100 – 200 m kamen *Oncaea* spp. mit 930 Ind. / m<sup>3</sup> vor. Die Anzahl der calanoiden Copepoden nahm mit der Tiefe ab.

Am Hang war die Verteilung an der Oberfläche sehr ausgeglichen zwischen calanoiden Copepoden (480 Ind. / m<sup>3</sup>), *Oncaea* spp. (400 Ind. / m<sup>3</sup>) und *Microsetella* spp. (320 Ind. / m<sup>3</sup>). Im Bereich von 25 – 400 m stieg die Anzahl von *Oncaea* spp., die tieferen Probenintervalle wurden von dieser Gattung dominiert. Die Anzahl der Calanoiden nahm mit der Tiefe kontinuierlich ab. Zwischen 600 – 850 m waren sie mit 5 Ind. / m<sup>3</sup> nur sehr selten zu finden.

Im offenen Meer war die Anzahl von *Microsetella* spp. im Vergleich zur Hangstation deutlich geringer. Zwischen 25 – 50 m kam *Microsetella* spp. nicht mehr vor und wurde in den tieferen Probenintervallen nur noch selten gefangen. Calanoide Copepoden kamen zwischen 0 – 100 m häufig vor und hatten an der Oberfläche eine Abundanz von 344 Ind. / m<sup>3</sup>.

### ***Verteilung der Exuvien***

Die Exuvienabundanz war an allen Stationen sehr unterschiedlich (Abb. 16). An der Schelfstation und im offenen Meer kamen am häufigsten Exuvien an der Oberfläche zwischen 0 – 25 m vor. An der Schelfkante und am Hang dagegen lag die höchste Abundanz zwischen 25 und 50 m. Die Abundanz war an der Schelfkante an der Oberfläche sehr gering und an allen Stationen nahm die Abundanz mit der Tiefe ab. Am Hang stieg die Anzahl der Exuvien zwischen 50 und 400 m leicht an.

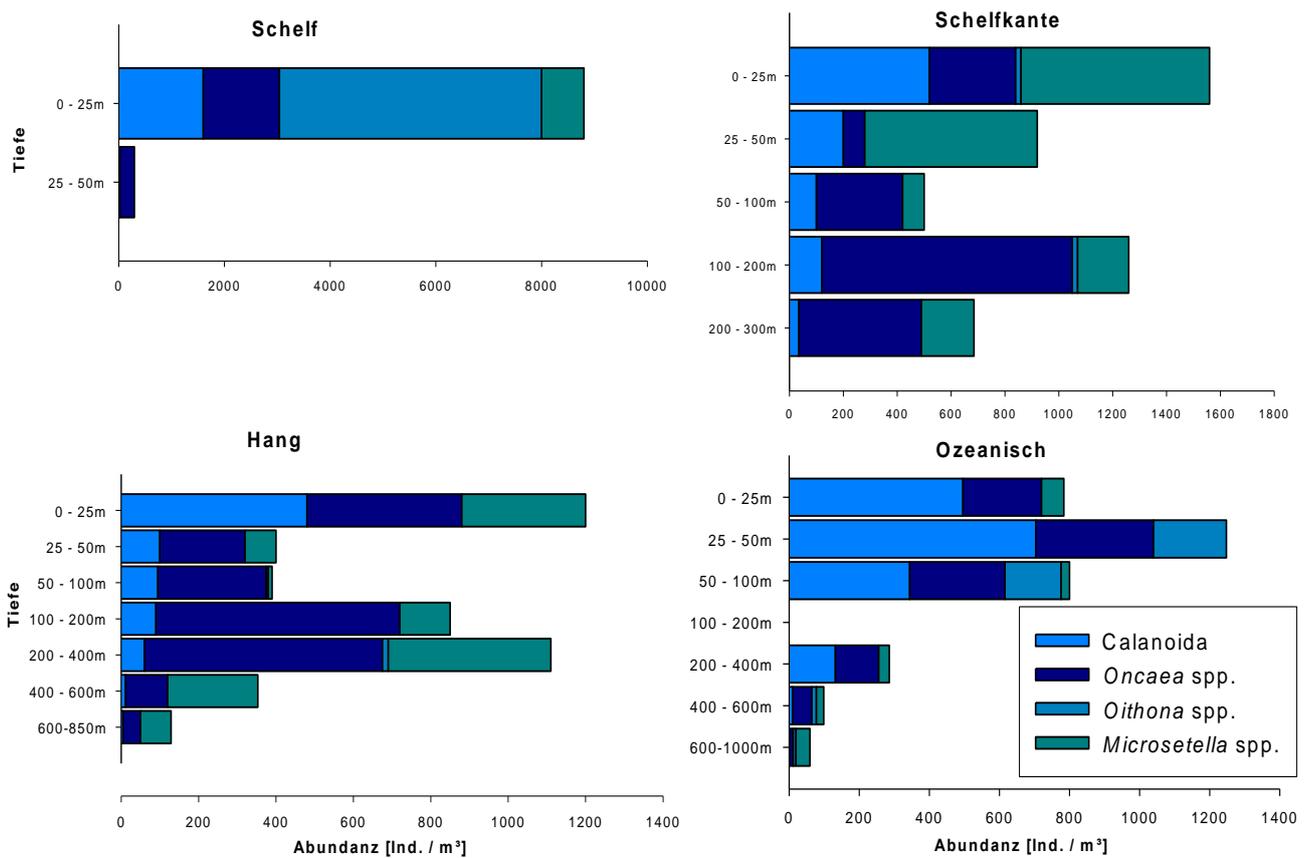


Abb. 15: Vergleich der Zusammensetzung und Abundanz [Ind. / m³] der gefundenen Gruppen der Copepoden an den vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch

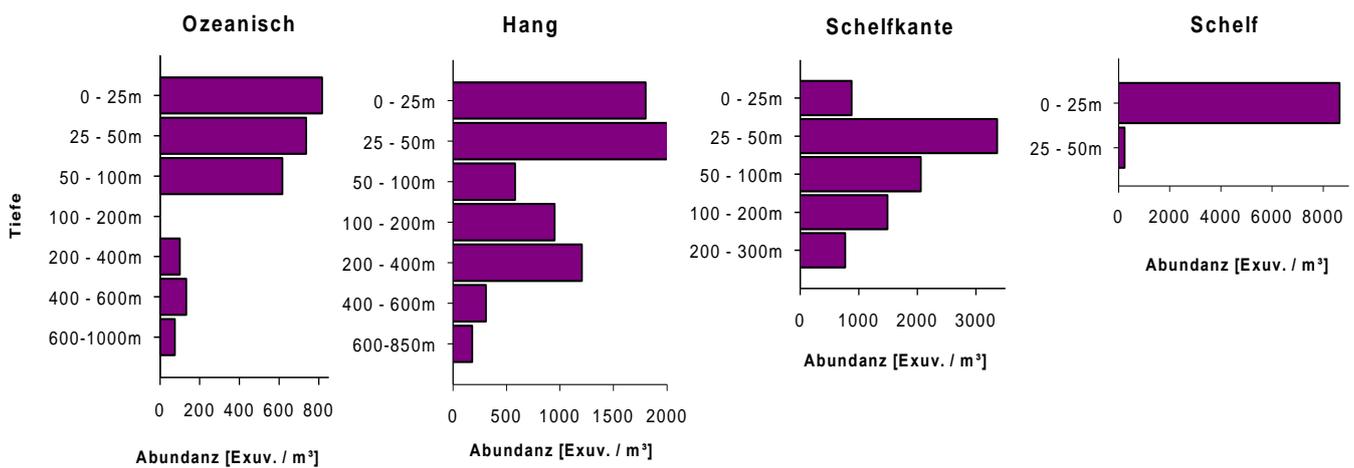


Abb. 16: Abundanz der Exuvien an den vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch

### ***Relative Abundanz und Diversität***

Die Biodiversität und Verteilung der Mikrozooplanktonorganismen wurde mit Hilfe von Indices berechnet (Tab. 4). Folgende Mikroorganismengruppen wurden für die Indices - Berechnung berücksichtigt: Copepoden, Radiolarien, Foraminiferen, Dinoflagellaten, Pteropoden, Appendicularien, Chaetognathen, Polychaeten-Larven, Ostracoden, Ciliaten, Salpen und Bivalvii. Die Abundanzen der einzelnen Gruppen und die Biodiversität an den vier Stationen waren sehr unterschiedlich (Abb. 17).

Die höchste Diversität wurde an der Schelfkante beobachtet. An dieser Station waren die Gruppen relativ gleichmäßig vertreten und es konnte keine große Dominanz einzelner Gruppen festgestellt werden. 14 verschiedene Gruppen (Salpen, Ciliaten, Ostracoden, Polychaeten-Larven, Chaetognathen, Appendicularien, Pteropoden, Dinoflagellaten, Radiolarien, Tintinniden, Nauplien, Copepoden und unbestimmte Arten) kamen vor. Chaetognathen und Pteropoden nahmen jeweils 20 % der Gesamtabundanz ein.

Ähnlich sah es an der ozeanischen Station aus. Allerdings beträgt der Shannon - Weaver - Index nur noch 1,27 gegenüber 2,07 an der Schelfkante. Die Diversität an den Stationen Hang und Ozeanisch ähnelte sich sehr.

Am Hang kamen 11 verschiedene Gruppen (Dinoflagellaten, Foraminiferen, Radiolarien, Tintinniden, Nauplien und Copepoden, Pteropoden, Appendicularia, Polychaeten - Larven, Ostracoden und unbestimmte Arten) vor. Im offenen Meer (Ozeanisch) waren es die gleichen Gruppen und zusätzlich Pteropoden.

Auf dem Schelf konnte eine sehr niedrige Diversität beobachtet werden. Der Shannon - Weaver – Index beträgt hier nur noch 0,42. Die Dinoflagellaten nahmen an dieser Station 77 % der Mikrozooplanktonpopulation ein und Nauplien und Copepoden bildeten den restlichen Anteil.

Der Evenness – Index (Gleichverteilungindex) kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. Am Schelf wurde ein Wert von 0,04 berechnet. Im offenen Meer (Ozeanisch) wurde ein Wert von 0,25 berechnet..

Der Simpson – Index (Dominanzindex) kann Werte zwischen 0 und 1 (absolute Dominanz) annehmen. Am Schelf wurde ein Wert von 0,78 berechnet und an der Schelfkante ein Wert von 0,14.

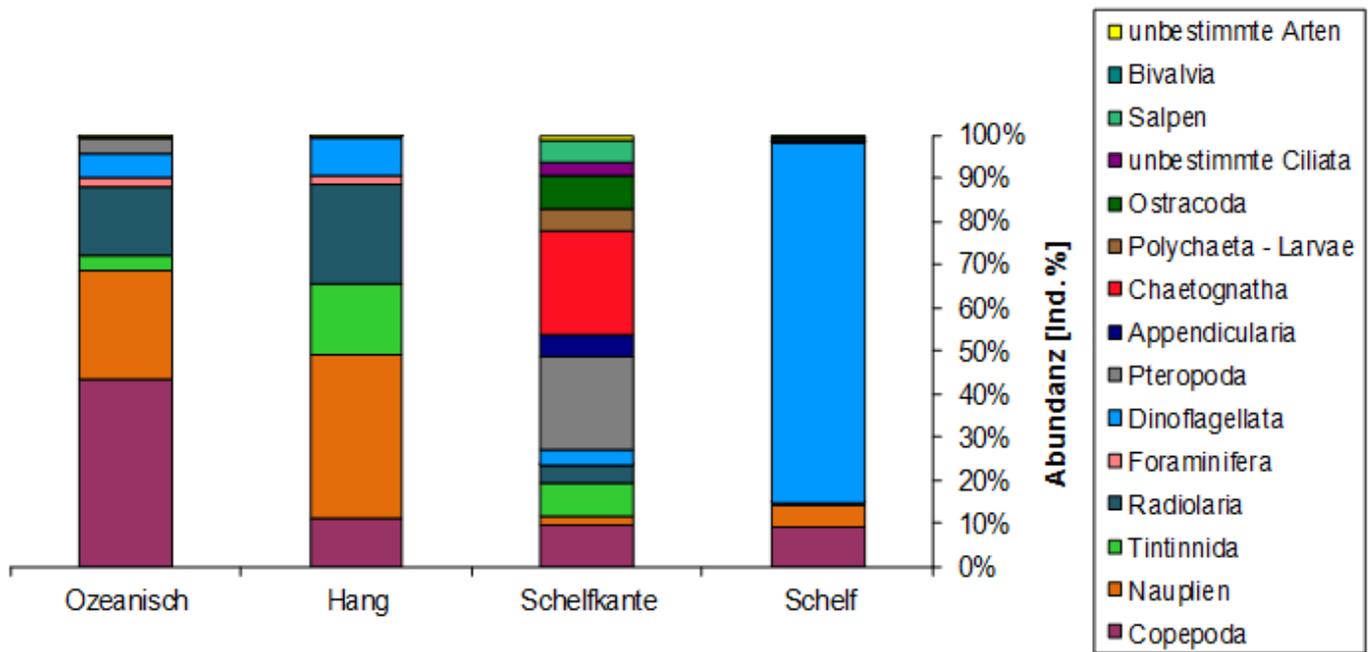


Abb.17: Relative Anteile der 15 Gruppen an den vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch

Tabelle 4: Ergebnisse der Indices Shannon-Weaver [H], Evenness [J] und Simpson [D] an den vier Stationen Ozeanisch, Hang, Schelfkante und Schelf, Gruppenanzahl= Gruppen, die auf der jeweiligen Station abundant waren.

	Ozeanisch	Hang	Schelfkante	Schelf
Gruppenanzahl	9	10	11	9
Shannon-Weaver-Index [H]	1,27	0,50	2,07	0,42
Evenness [J]	0,25	0,07	0,23	0,04
Simpson Index [D]	0,39	0,26	0,14	0,78

## 4. Diskussion

In dieser Arbeit wurde erstmalig die tiefenabhängige Verteilung von Mikrozooplankton auf einem Schnitt von der Küste in den offenen Ozean dargestellt. Im Nordbenguela - Auftriebsgebiet vor Walvis Bay kommt es zu ganzjährigen Auftrieb, wobei maximaler Auftrieb zwischen April und Dezember mit kaltem Oberflächenwasser in der Hauptsaison von Juli und September (Hagen et al., 2001) vorherrscht. Abgeschwächte Auftriebsbedingungen wurden im Spätsommer festgestellt (Heymans et al., 2004). Vor Lüderitz, der zentralen Auftriebszelle, die eine biologische Grenze zwischen dem nördlichen und südlichen Benguelagebiet herstellt, herrscht ganzjähriger, maximaler Auftrieb (26 – 27°S) (Hutchings et al., 2006). Während der Probennahme im Rahmen dieser Arbeit im Februar 2011 herrschten abgeschwächte Auftriebsbedingungen vor Walvis Bay. Anhand des Satellitenbildes ist der durchschnittliche Chlorophyll a – Gehalt vor Walvis Bay im Februar 2011 zu erkennen (Abb. 18). Am Schelf ist der Chlorophyll a – Gehalt am höchsten. An der Schelfkante und am Hang nimmt der Chlorophyll a – Gehalt ab und im offenen Meer ist der Gehalt sehr niedrig. Der Chlorophyll a - Gehalt nimmt somit vom Schelf in den offenen Ozean ab.

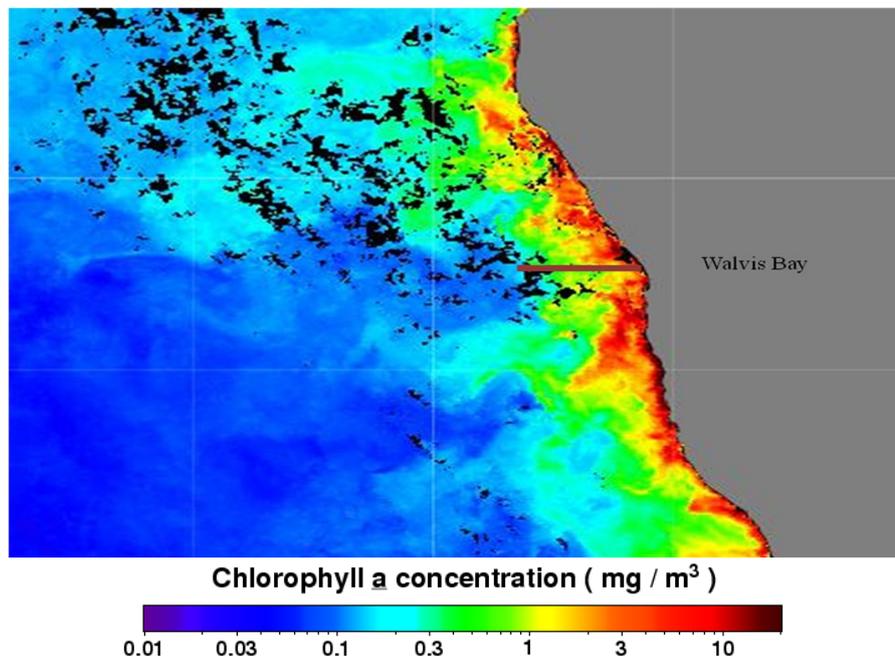


Abb. 18: Monatsmittelwert der Chlorophyll a - Konzentration (mg / m<sup>3</sup>) im Februar 2011 an der Küste vor Walvis Bay, Namibia, Roter Strich: Transekt vor Walvis Bay vom Schelf ins offene Meer (Internet - Quelle 5)

Bisher gibt es sehr wenige Studien, die sich mit der Zusammensetzung von Mikrozooplankton in Auftriebsgebieten beschäftigt haben. Sherr & Sherr (2007) haben herausgefunden, dass Mikrozooplankton in eutrophen und oligotrophen Gewässern einen größeren Fraßdruck auf die Biomasse von Phytoplankton (60 – 75 % der Primärproduktion (Landry & Calbet, 2004)) hat als Mesozooplankton (Organismen mit einer Größe von 200 - 2000 µm), insbesondere die Größenfraktionen < 10 µm werden vom Mikrozooplankton konsumiert (Montagnes et al., 2010). Jeong et al. (2004) haben festgestellt, dass Dinoflagellaten 0,1 – 3,4 % h<sup>-1</sup> der Diatomeenbiomasse konsumierten, Copepoden dagegen < 0,2 % h<sup>-1</sup>. Sakko (1998) hat im Benguela – Auftriebsgebiet herausgefunden, dass das Phytoplankton von Diatomeen dominiert wird und dass sich das Nahrungsnetz nach Auftriebsereignissen und während abgeschwächter Auftriebsereignissen ändert. In diesem Fall wird das Nahrungsnetz bei abgeschwächten Auftriebsbedingungen von kleineren Individuen geprägt (Sakko, 1998) und es dominiert kleines Phytoplankton vom Schelf bis in den offenen Ozean (Probyn et al., 1990). Kruger (1980) hat im namibischen Gewässer 158 verschiedene Arten von Dinoflagellaten und 95 verschiedene Tintinniden beschrieben. Häufig wurden in Studien nur die dominanten Gruppen, wie Ciliaten, wozu auch die Tintinniden gehören, und heterotrophe Dinoflagellaten (Montagnes et al., 2010) untersucht und deren Bedeutung in Auftriebsgebieten analysiert.

### ***Abiotische Charakterisierung des Untersuchungsgebiets:***

In Auftriebsgebieten sind die Temperatur und der Sauerstoffgehalt von großer Bedeutung und wichtig für die Verteilung und Abundanz von Individuen (Sakko, 1998).

Am Schelf war die Oberflächentemperatur mit 19°C geringer als die Temperatur im offenen Ozean. Hier wurde eine Temperatur von 22°C gemessen. Die etwas kältere Oberflächentemperatur am Schelf lässt sich durch die vorherrschenden, aber abgeschwächten Auftriebsereignisse erklären. Durch den Ekman – Transport wird das Wasser vom Schelf in den offenen Ozean nach Westen abgedrängt. Das Wasser wird an der Oberfläche verteilt und durch die Sonne langsam erwärmt (Postel, 1990). Walker & Peterson (1991) haben ebenfalls herausgefunden, dass das Oberflächenwasser seewärts wärmer und salziger wird. Die Temperaturunterschiede an der Oberfläche zwischen dem Schelf und im Ozean sind hauptsächlich von der Stärke des Auftriebs und dem ablandigen Drift abhängig.

Der Sauerstoffgehalt lag am Schelf bis in den offenen Ozean an der Oberfläche bei 5 - 6 ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>. Durch den Auftrieb gelangt nährstoffreiches Tiefenwasser an die Oberfläche und es kommt zu einer hohen Primärproduktion von Phytoplankton. Durch die große Menge an Photosynthese betreibenden Algen wird das Wasser mit Sauerstoff angereichert (Gerlach, 1994). Am Schelf sank der Sauerstoffgehalt im bodennahen Wasser auf bis zu 0 ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>. Ein Grund ist die hohe Primärproduktion von Phytoplankton, die während der Auftriebsereignisse nicht vollständig verbraucht werden kann und somit sehr viel organisches Material auf den Meeresboden sinkt. Es entsteht eine hohe Konzentration an organischer Substanz, welche sich im Sediment unter der Auftriebszelle konzentriert. Die organische Substanz wird durch Bakterien mineralisiert, wodurch sehr viel Sauerstoff verbraucht wird. Aus diesem Grund ist die Sauerstoffkonzentration im bodennahen Wasser in Auftriebsgebieten sehr gering bis nicht messbar (Gerlach, 1994). Im offenen Ozean wurde keine Sauerstoffabnahme mit der Tiefe beobachtet. Der Sauerstoffgehalt im offenen Ozean beträgt in allen Tiefen konstant 3 - 5 ml O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>. Dieses charakteristische Merkmal des Sauerstoffgehalts im Auftriebsgebiet hat Einfluss auf die Verteilung des Mikrozooplanktons, was im Laufe der Studie noch diskutiert wird.

### ***Biomasse:***

Auftriebsgebiete gehören zu den produktivsten Gebieten in den Ozeanen mit einer hohen Primärproduktion (Sakko, 1998). Durch die Analyse der Trockenbiomassekonzentration erhält man Aufschluss über Auftriebsereignisse und kann Rückschlüsse auf die Chlorophyll a - Konzentration ziehen.

Die höchste Biomassekonzentration wurde in dieser Arbeit am inneren Schelf mit 5,10 mg/m<sup>3</sup> gemessen. Postel (1990) hat herausgefunden, dass das Biomassemaximum in Auftriebsgebieten meistens ca. 30 km vor der Küste liegt und von der Stärke des ablandigen Transports abhängig ist. Die Auftriebsereignisse, die während der Probennahme in dieser Arbeit vorherrschten, waren abgeschwächt und die küstennahe Station war ca. 15 km von der Küste Namibias entfernt. Die Ergebnisse von Postel (1990) konnten somit nicht bestätigt werden. Die Hypothese am Schelf käme die höchste Biomasse vor, wurde bestätigt. Die Biomassekonzentration in dieser Arbeit nahm vom Schelf bis ins offene Meer und mit der Tiefe ab. Die Biomassekonzentration von Zooplankton ist in den letzten drei Jahrzehnten 1970, 1980 und 1990 stark gestiegen. Heymans et al. (2004) haben im

Nordbenguela - Auftriebsgebiet einen Anstieg der Biomasse von Zooplankton von 15 t Trockengewicht km<sup>-2</sup> in den 1970er Jahren auf 147 t Trockengewicht km<sup>-2</sup> in den 1990er Jahren berechnen können. Anhand der Veränderungen der Biomasse des Planktons wird vermutet, dass sich auch das Nahrungsnetz in den letzten Jahren verändert hat.

### ***Individuen - Abundanz und Verteilung:***

In dieser Arbeit konnten 15 verschiedene Gruppen (Copepoden, Nauplien, Tintinniden, Radiolarien, Foraminiferen, Dinoflagellaten, Pteropoden, Appendicularien, Chaetognathen, Polychaeten-Larven, Ostracoden, unbestimmte Ciliaten, Salpen, Bivalvieren und unbestimmte Arten) an den vier Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch in unterschiedlichen Tiefen gefunden und quantifiziert werden. Keine Studie hat zuvor die tiefenabhängige Verteilung von Mikrozooplankton auf einem Schnitt vom Schelf bis ins offene Meer vor Walvis Bay analysiert. Im Vorhinein wurde die Hypothese aufgestellt, dass die tiefenabhängige Verteilung des Mikrozooplanktons vom Schelf in den offenen Ozean sehr stark variiert. Im Folgenden werden Aspekte diskutiert, die diese Hypothese bestätigen sollen.

In den Schelfgebieten kommt es häufig zu unregelmäßigen Anomalien in der Wassertemperatur, dem Salz- und Sauerstoffgehalt. Durch diese Veränderungen sind Auftriebsgebiete meistens von einer niedrigen Biodiversität, insbesondere in der Schelfregion, geprägt. Sakko (1998) hat herausgefunden, dass die hohe Primärproduktion in der Schelfregion in Auftriebsgebieten ein sehr individuenreiches, aber gleichzeitig artenarmes Nahrungsnetz fördert. „Artenarm“ steht in Relation zu der Diversität am Schelf, welche gering ist und zu der Diversität im offenen Ozean, wo die Diversität hoch ist. Es wurde die Hypothese formuliert die Diversität vom Schelf in den offenen Ozean nähme zu. Barnes & Hughes (1988) haben ebenfalls herausgefunden, dass die Diversität der Arten am Schelf vergleichsweise gering ist, während gleichzeitig die Nährstoffschübe aus der Tiefe durch die Auftriebsereignisse immer wieder zur Entwicklung hoher Biomassen führen.

Diese Aussage konnte an der Schelfstation in dieser Arbeit auch für das Mikrozooplankton vor Walvis Bay bestätigt werden. Dinoflagellaten dominierten an der Schelfstation mit 81440 Ind. / m<sup>3</sup>, die Biodiversität war sehr gering und es konnte die höchste Gesamtabundanz des Mikrozooplanktons an der Oberfläche am Schelf analysiert werden. In dieser Arbeit nimmt die Biodiversität vom Schelf bis in den offenen Ozean zu, wobei die höchste

Biodiversität an der Schelfkante gemessen wurde (siehe Shannon – Weaver – Index, Tab. 4). Bei Fischen stellt die Schelfkante eine Verbreitungsgrenze für ozeanische Arten dar und es wurde eine Zonierung mesopelagischer Fischgemeinschaften festgestellt (Pusch, 2004). Der Tiefenbereich zwischen 200 – 500 m ist ein Übergangsbereich zwischen dem ozeanischen und neritischen Lebensraum und in Bereichen mit Tiefen von > 1000 m kommen hauptsächlich ozeanische Fischgemeinschaften vor (Pusch, 2004). An der Schelfkante kommt es somit zum Übergang von neritisch zu ozeanisch, wodurch die hohe Biodiversität erklärt werden kann. Neben den häufigen Arten kamen auch einige seltene Taxa an der Schelfkante vor, wie z.B. Pteropoden, die an der Schelfkante zwischen 25 – 50 m eine sehr hohe Abundanz hatten.

Durch die im Folgenden beschriebenen Auftriebsereignisse, lässt sich die hohe Gesamtabundanz in der Schelfregion erklären. Das kalte, nährstoffreiche Tiefenwasser wird mit dem verdrängten, nährstoffarmen Oberflächenwasser vermischt. Durch den hohen Nährstoffgehalt und durch das Sonnenlicht kommt es in der euphotischen Zone somit zu einer hohen Primärproduktion von Phytoplankton (Gerlach, 1994). Am Schelf werden Auftriebsgebiete meistens von Diatomeen geprägt, welche eine gute Nahrungsquelle für Dinoflagellaten darstellen (Sherr & Sherr, 2007). In dieser Arbeit wurden drei verschiedene Arten von Dinoflagellaten gefunden: *Ceratium* spp., *Noctiluca* spp. und *Protoperdinium* spp. Hauptsächlich wurden die Diatomeen – fressenden Dinoflagellaten *Noctiluca* spp. und *Protoperdinium* spp. (Sherr & Sherr, 2007) in dieser Arbeit gefunden. *Ceratium* spp. nahm einen sehr kleinen Anteil ein. Die Dinoflagellaten – Population hat vom Schelf bis in den offenen Ozean abgenommen. Pitcher et al. (1998) haben im südlichen Benguela – Auftriebsgebiet ebenfalls analysieren können, dass Dinoflagellaten in der Schelfregion eine hohe Abundanz aufweisen und diese seewärts abnimmt. Während der Probennahme in dieser Arbeit kam es zu abgeschwächten Auftriebsereignissen und somit wahrscheinlich zu einer geringeren Menge an Phytoplankton. Die hohe Abundanz von Dinoflagellaten ist dadurch zu erklären, dass Dinoflagellaten aufgrund Ihres großen Beutespektrums (Nanoplankton bis hin zu großen Diatomeen (Internet – Quelle 6)) auch bei niedriger Beutekonzentration überleben und zeitweise sogar ohne Nahrung auskommen. Sie können so trotzdem bei abgeschwächten Auftriebsbedingungen eine hohe Abundanz aufweisen (Sherr & Sherr, 2007). Im Februar 2011 dominierten Dinoflagellaten an der Oberfläche der Schelfstation und die vorher formulierte Hypothese wird bestätigt. Pitcher et al. (1998) haben ebenfalls bestätigen können,

dass in der Schelfregion eine große Menge an Dinoflagellaten vorkommen und die Anzahl an der Oberfläche ins offenen Meer abnimmt. Neben den Dinoflagellaten kommen auch kleine Copepoden und Nauplien vor. Schwinghammer (2011) hat in ihrer Studie an der küstennahen Station vor Walvis Bay neben einer geringen Anzahl an Dinoflagellaten eine große Anzahl an Nauplien gefunden.

An den Stationen Schelfkante, Hang und Ozeanisch war die Zusammensetzung des Mikrozooplanktons unterschiedlich. Es wurden hauptsächlich Nauplien und kleine Copepoden gefunden. Tintinniden und Radiolarien nahmen an den Stationen Schelfkante und Hang ebenfalls einen bedeutenden Anteil ein. Montagnes et al. (2010) haben herausgefunden, dass neben den Dinoflagellaten auch die Ciliaten eine wichtige Position im Mikrozooplankton einnehmen und meistens die Biomassen dominieren. Tintinniden wurden in dieser Arbeit insbesondere an der Oberfläche an der Hangstation gefunden und unbestimmte Ciliaten an der Oberfläche am Schelf. Montagnes et al. (2010) haben Ciliaten an der Oberfläche (~ 5 m Tiefe) in der Irminger See analysiert. Sie entdeckten, dass die Ciliatenproduktion im östlichen Teil dieses Seegebiets am höchsten und die Taxa sehr gut an die lokale, kalte Region angepasst ist. Damit widerlegen Montagnes et al. (2010) die Aussage von Müller & Geller (1993), dass die Wachstumsrate von Ciliaten hauptsächlich temperaturabhängig ist. Die Nährstoffverfügbarkeit ist an der Oberfläche der Stationen um einiges größer als in größeren Tiefen. Sherr & Sherr (2007) konnten zeigen, dass heterotrophe Dinoflagellaten und Ciliaten neben ihrem Fraßdruck auf Phytoplankton sowohl quantitativ als auch qualitativ eine gute Nahrungsquelle für Mesozooplankton darstellen.

Foraminiferen wurden in dieser Arbeit vor allem an der Oberfläche zwischen 0 – 50 m an den Stationen Schelfkante, Hang und Ozeanisch gefunden. Man geht davon aus, dass die Wassertemperatur und der Sauerstoffgehalt wichtige Faktoren in der Verbreitung der Foraminiferen darstellen. Langer & Hottinger (2000) haben festgestellt, dass die Verbreitung vieler Foraminiferenarten durch bestimmte Temperaturminima und – maxima reguliert wird. In dieser Arbeit haben die Foraminiferen warme Temperaturen an der Oberfläche bevorzugt.

Bei den seltenen Taxa, die im Rahmen dieser Arbeit gefunden wurden, hat die tiefenabhängige Verteilung vom Schelf in den offenen Ozean ebenfalls stark variiert. Innerhalb dieser Gruppe sind insbesondere die Pteropoden zu erwähnen. Pteropoden wurden

hauptsächlich an der Schelfkante zwischen 25 – 50 m mit 440 Ind. / m<sup>3</sup> gefunden. An den Stationen Schelfkante, Hang und Ozeanisch wurde die höchste Abundanz der Pteropoden auf den Probenintervallen zwischen 0 – 100 m gefunden. Auf dem Schelf blieb die Abundanz sehr gering. Die geringe Abundanz der Pteropoden an der Schelfstation kann durch die generelle ozeanische Verteilung innerhalb dieser Gruppe oder durch das Eindringen von Wasser mit geringem Sauerstoffgehalt, verursacht sein (Koppelman et al., in revision). Van der Spoel (1999) hat herausgefunden, dass die höchste Abundanz von Pteropoden in den ozeanischen Proben des Epipelagials zu beobachten ist. Es gibt anscheinend keine echten Schelfarten und Pteropoden sind sehr selten in größeren Tiefen zu finden. In dieser Arbeit konnte bestätigt werden, dass die größte Abundanz im Epipelagial zu beobachten ist. Die höchste Abundanz wurde aber, anstatt in den ozeanischen Proben, in den Proben der Schelfkante gefunden. Koppelman et al. (in revision) haben in ihrer Studie festgestellt, dass die höchste Abundanz der Pteropoden im stratifizierten Wasser am Hang und die geringste Abundanz an der Schelfkante und am Schelf zu beobachten ist, da hier die Auftriebsereignisse am größten waren. Pteropoden bevorzugen wahrscheinlich die Hangstation für Reproduktion und Nahrungsaufnahme, da hier der Übergang zwischen neritischem und ozeanischem Wasser stattfindet (Koppelman et al., in revision). Diese Ergebnisse stimmen nicht mit den Ergebnissen in dieser Arbeit überein. In dieser Arbeit wurde die kleine Fraktion der Pteropoden eher an der Schelfkante als am Hang gefunden.

### ***Copepodenzusammensetzung und Abundanz im Zusammenhang mit der Hydrographie:***

Die Copepodenzusammensetzung hat ebenfalls tiefenabhängig vom Schelf in den offenen Ozean variiert. Es wurden bestimmte Auffälligkeiten beobachtet, welche im Folgenden diskutiert werden.

In dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass die Copepoden – Abundanz mit der Tiefe, abnimmt und die größte Abundanz an der Oberfläche und im Epipelagial vorkommt. Die Wassertemperatur und die Nährstoffverfügbarkeit haben hier wahrscheinlich einen bedeutenden Einfluss. Bei den Nauplien lässt sich dieser Trend an allen Stationen bestätigen. Ikeda et al. (2001) haben festgestellt, dass sich Stoffwechselprozesse bei marinen Copepoden temperaturabhängig erhöhen. Je höher die Wassertemperatur, desto höher ist die Respirations-, Exkretions- und Wachstumsrate. Sie konnten jedoch keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Verdauung und der Wassertemperatur finden.

Cyclopoide Copepoden (*Oithona* spp.) und poecilostomatoide Copepoden (*Oncaea* spp.) hatten auf der Schelfstation die höchste Abundanz, wohingegen die calanoiden Copepoden im offenen Meer (Ozeanisch) an der Oberfläche die höchste Abundanz zeigten. Diese Ergebnisse können von Teuber (2009) bestätigt werden. Es gibt bis heute keine Erklärung dafür, warum die cyclopoiden Copepoden eine so geringe Abundanz im offenen Meer zeigen. Die vorherig formulierte Hypothese, dass calanoide Copepoden im offenen Meer dominant sind, kann somit bestätigt werden. Auel & Verheye (2007) haben herausgefunden, dass im Nordbenguela – Auftriebsgebiet die calanoiden Copepoden an der Oberfläche zwischen 0 - 60 m am häufigsten vorkommen. Pulsierende Auftriebsereignisse und der küstennahe Ekman – Transport können zu sehr unregelmäßigen Populationen des Zooplanktons am Schelf führen. Koppelman et al. (2009) haben im östlichen Mittelmeer, welches sehr oligotroph ist, die Mesozooplanktonabundanz untersucht und herausgefunden, dass die calanoiden Copepoden auf allen Stationen abundant waren, die Abundanz mit der Tiefe abnahm und die nicht-calanoiden Copepoden am häufigsten in Tiefen zwischen 0 - 500 m vorkamen. In dieser Arbeit wurde festgestellt, dass die calanoiden Copepoden an der Oberfläche zwischen 0 – 50 m die höchste Abundanz hatten, auf jeder Station abundant waren und die Abundanz mit der Tiefe ebenfalls abnahm.

In dieser Arbeit wurden cyclopoide Copepoden (*Oithona* spp.) nur an der Oberfläche auf dem Schelf gefunden. Ähnliche Ergebnisse haben Verheye & Ekau (2005) herausfinden können. Sie haben festgestellt, dass *Oithona* spp. meistens an dem Schelf in Tiefen von < 130 m vorkommt. In dem oligotrophen östlichen Mittelmeer haben Koppelman et al. (2009) analysiert, dass die Anzahl der cyclopoiden Copepoden (*Oithona* spp.) ebenfalls mit der Tiefe abnimmt. In dieser Arbeit im Nordbenguela – Auftriebsgebiet wurden zwischen 100 - 1000 m sehr wenige bis keine Individuen der cyclopoiden Copepoden (*Oithona* spp.) gefunden.

Die harpacticoiden Copepoden (*Microsetella* spp.) hatten eine sehr hohe Abundanz in allen Tiefen an der Schelfkante und am Hang. In der Schelfregion und im offenen Meer (Ozeanisch) waren sie sehr selten zu finden. Schwinghammer (2011) hat diese Untersuchungen bestätigt. Es wurden 2 % harpacticoiden Copepoden von der Gesamtabundanz des Zooplanktons an der küstennahen Station (7,4 km Entfernung zur Küste) und 32 %

harpacticoide Copepoden an der küstenfernen Station (120 km Entfernung zur Küste) vor Walvis Bay in ihrer Arbeit gefunden.

In dieser Arbeit kann die vorherige formulierte Hypothese bestätigt werden, dass die tiefenabhängige Zusammensetzung der gefundenen Copepodenarten vom Schelf in den offenen Ozean stark variiert.

An der Schelfstation, der Schelfkante und dem Hang wurden nur sehr geringe Sauerstoffkonzentrationen im bodennahen Wasser gemessen. Diese Analyse ist sehr charakteristisch für das Benguelagebiet. Ein einmaliges Merkmal des Nordbenguela - Auftriebsgebiets ist die Sauerstoff-Minimum-Zone (OMZ = Oxygen minimumzone) in einer Tiefe zwischen 60 – 500 m mit einer Sauerstoffkonzentration unter  $\leq 1.4 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ . Sauerstoffarmut entsteht lokal durch Stratifikation der Wasserschichten und hängt damit eng mit saisonal auftretendem Auftrieb zusammen. Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffgehalt und der Abundanz des Mikrozooplanktons. Im offenen Meer (Ozeanisch) betrug der Sauerstoffgehalt in allen Tiefen zwischen 3 – 5  $\text{O}_2 \text{ l}^{-1}$ . Die höchste Abundanz des Mikrozooplanktons konnte zwischen 50 – 100 m bei einem Sauerstoffgehalt von ca. 5  $\text{O}_2 \text{ l}^{-1}$  festgestellt werden. Am Hang nahm die Abundanz ebenfalls mit sinkendem Sauerstoffgehalt ab. Zwischen 200 – 400 m war der Sauerstoffgehalt relativ gering (ca. 2,5  $\text{O}_2 \text{ l}^{-1}$ ). *Oncaea* spp. und Ostracoden dominierten dieses sauerstoffarme Probenintervall. Am Schelf und an der Schelfkante war die Abundanz des Mikrozooplanktons in sauerstoffreichen Tiefen am höchsten. An allen Stationen wurde die höchste Abundanz in Tiefen mit hohem Sauerstoffgehalt analysiert. Es wurde herausgefunden, dass keine Gruppe des Mikrozooplanktons bevorzugt in Bereichen mit niedrigem Sauerstoffgehalt vorkommt. Auel & Verheye (2007) haben in ihrer Studie herausgefunden, dass in dem OMZ Bereich das Vorkommen von calanoiden Copepoden und der Biomasse von Mesozooplankton sehr reduziert ist. In dieser Arbeit lässt sich bestätigen, dass die Gesamtabundanz des Mikrozooplanktons in dem IOML Bereich an allen vier Stationen sehr gering ist, insbesondere im Vergleich mit Bereichen mit höherer Sauerstoffkonzentration.

In dieser Arbeit wurden sehr wenige Nauplien auf der Schelfstation gefunden. Während der Probennahme herrschten abgeschwächte Auftriebsbedingungen und Böttjer et al. (2009) haben festgestellt, dass Nauplien auf kleineres Plankton, Nanoplankton, spezialisiert sind, welches bei abgeschwächten Auftriebsbedingungen dominiert (Böttjer et al., 2009). Man hätte

somit eine hohe Abundanz von Nauplien an der Schelfstation erwartet. Nauplien hatten auf fast allen Stationen und Tiefen eine höhere Abundanz als Copepoden. Dies kann an den abgeschwächten Auftriebsereignissen während der Probennahme liegen, da bei abgeschwächten Auftriebsbedingungen sehr viel kleines Plankton vorhanden ist. Verheye & Ekau (2005) haben nachgewiesen, dass bestimmte Copepodenarten in Zeiten von Nahrungsmangel Lipide einlagern und sich während abgeschwächter oder nicht vorhandener Auftriebsereignisse nicht weiterentwickeln und über einen längeren Zeitraum im Nauplien Stadium bleiben. Dies kann in dieser Arbeit bestätigt werden. Nauplien stellen eine trophische Verbindung zwischen dem klassischen und dem mikrobiellen Nahrungsnetz in Auftriebsgebieten her (Böttjer et al., 2009).

### ***Methodenkritik:***

Die Proben wurden quantitativ mit Hilfe eines Binokulars ausgewertet. Es gab leider keine Vergleichswerte, wie z.B. Daten eines ZooScans. Der ZooScan analysiert automatisch oder semi – automatisch die Zooplanktonzusammensetzung und kann die Abundanz, die Biomasse und die Größe des Planktons erfassen (Gorsky et al., 2009). Mikrozooplankton ist zu klein, um gut mit dem ZooScan erfasst werden zu können. In Zukunft sollte versucht werden, den ZooScan so zu perfektionieren, dass er nicht nur Mesozooplankton, sondern auch Mikrozooplankton scannen kann und somit seine Ergebnisse, die mit dem Binokular ausgezählt wurden, mit den Ergebnissen des ZooScans vergleichen kann. Eine große Fehlerquelle ist sehr wahrscheinlich auch die Behandlung des Mikrozooplanktons. Die Proben wurden häufig gesiebt und mit der Hensenpipette geteilt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass währenddessen viel Material verloren gegangen ist.

### ***Fazit:***

Mit Hilfe dieser Arbeit sollten neue Erkenntnisse im Bereich des Mikrozooplanktons erlangt werden und es sollte erstmalig die tiefenabhängige Verteilung von Mikrozooplankton auf einem Schnitt vom Schelf in den offenen Ozean dargestellt werden. Es sollte bestätigt werden, dass das Mikrozooplankton eine wichtige Verbindung zwischen dem klassischen und dem mikrobiellen Nahrungsnetz in Auftriebsgebieten herstellt. Nicht nur in Auftriebsgebieten, sondern auch in Gewässern, in denen die Primärproduktion gering ist (z.B. im östlichen Mittelmeer (Koppelman et al., 2009)), wird durch das Mikrozooplankton eine

wichtige trophische Verbindung zwischen dem klassischen und dem mikrobiellen Nahrungsnetz hergestellt. Mikrozooplankton übt einen großen Fraßdruck auf die Primärproduktion von Phytoplankton aus und dient gleichzeitig als Beutespektrum für Holo- und Mero-Mesozooplankton (Montagnes et al., 2010). Strom et al. (2007) haben herausgefunden, dass die komplette Primärproduktion von Organismen, die kleiner als 20 µm sind, von dem trophischen Level von Mikrozooplankton abhängig ist, bevor es größere Konsumenten erreicht.

Mit dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Zusammensetzung von Mikrozooplankton im Nordbenguela – Auftriebsgebiet an den Stationen Schelf, Schelfkante, Hang und Ozeanisch vor Walvis Bay in den unterschiedlichen Tiefen sehr gemischt ist. Die im Vorhinein formulierte Hypothese kann somit bestätigt werden. Sehr viele Ergebnisse haben mit den Ergebnissen älterer Studien übereingestimmt. Es konnten aber beispielsweise auch Unterschiede in der Verteilung von Mikrozooplankton in unterschiedlichen Tiefen im Nordbenguela – Auftriebsgebiet (eutroph) und dem östlichen Mittelmeer (sehr oligotroph) dargestellt werden. Um weitere elementare Zusammenhänge zwischen der Hydrographie von Auftriebsgebieten und der Abundanz von Mikrozooplankton zu erhalten, sollten sich Studien nicht nur auf Mesozooplankton, sondern auch auf Mikrozooplankton konzentrieren. Außerdem sollten Zusammenhänge und trophische Verbindungen zwischen diesen Ebenen analysiert werden. Dafür müssen mehr Auftriebsgebiete beprobt und Mikrozooplankton analysiert werden. Würden in Zukunft mehrere Studien auch Mikrozooplankton beachten, gäbe es bessere Vergleichsdaten und die Ergebnisse könnten besser interpretieren werden.

Mikrozooplankton ist somit ein sehr wichtiger Faktor im Ozean. Weitere Erforschungen im Bereich des Mikrozooplanktons insbesondere in Auftriebsgebieten in Hinblick auf unterschiedliche Parameter werden in Zukunft viele offene Fragen klären können.

## **5. Danksagung**

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Christian Möllmann und Dr. Rolf Koppelman für die Betreuung meiner Bachelor-Arbeit.

Großen Dank an Dr. Rolf Koppelman für seine guten Tipps, Ideen und seine große Geduld, die er hatte.

Besonderen Dank an Karolina Bohata, die mich super betreut hat und mir ihre Wasserproben und Fotos zur Verfügung gestellt hat. Sie hat mich sehr gut eingearbeitet und mich bei der Auswertung und Berechnung der Daten unterstützt. Sie hatte immer ein offenes Ohr für meine Fragen.

## **6. Referenzen**

Alder, VA (1999) Tintinnoinea. In: South Atlantic Zooplankton (Ed. D. Boltovskoy). Backhuys Publishers 321–384.

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

Barnes RSK & Hughes RN (1988) *An introduction to marine biology*. Blackwell Scientific Publications

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

Böttjer D, Morales CE, Bathmann U (2009) Trophic role of small cyclopoid copepod nauplii in the microbial food web: a case study in the coastal upwelling system of central Chile. *Mar Biol* 157: 689-705

Bradford-Grieve JM, Markhaseva EL, Rocha CEF, et al. (1999) Copepoda. In: South Atlantic Zooplankton (Ed. D. Boltovskoy). Backhuys Publishers 869–1098

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

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

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

Gallienne CP & Robinson DB (2001) Is Oithona the most important copepod in the world's ocean?. Journal of Plankton Research 23: 1421-1432

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

Gorsky G., Mark D. Ohman M., Picheral S., Gasparini L., Stemmann JB, Romagnan A., Cawood S., Pesant C., A-Comas G., Prejger F. (2010) Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. Journal of Plankton Research 32: 285–303

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

Harris RP, Wiebe PH, Lenz J, Skjoldal HR, Huntley M (2000) Zooplankton Methodology Manual. ICES Journal of Marine Science

Heileman S & O'Toole MJ (2009) Benguela Current: LME 29. Large Marine Ecosystems of the World. NOAA. Accessed: <http://www.lme.noaa.gov/>.

Heymans JJ, Hannon LJ, Jarre A (2004) Changes in the northern Benguela ecosystem over three decades: 1970s, 1980s, and 1990s. Ecological Modeling 172: 175-195

Heymans JJ & Baird D (2000) A carbon flow model and network analysis of the northern Benguela upwelling system, Namibia. *Ecological Modeling* 126: 9-32

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

Ikeda T, Kanno Y, Ozaki K, Shinada A (2001) Metabolic rates of epipelagic marine copepods as a function of body mass and temperature. *Mar Biol* 139: 587–596

Jeong HJ, Yoo JD, Kim T, Kang NS (2004) Feeding and grazing impact by the heterotrophic dinoflagellate *Protoperdinium bipes* on the diatom *Skeletonema costatum*. *Aquat Microb Ecol* 36: 171-179

Kemle-von Mücke S. & Hemleben C (1999) Foraminifera. In: *South Atlantic Zooplankton* (Ed. D. Boltovskoy) Backhuys Publishers 43–73

Koppelman R, Böttger-Schnack R, Möbius J, Weikert H (2009) Trophic relationships of zooplankton in the eastern Mediterranean based on stable isotope measurements. *Journal of Plankton Research* 6: 669-686

Koppelman R, Kullmann B, Lahajnar N, Martin B, Mohrholz V (in revision) Onshore-Offshore distribution of Thecosomata (Gastropoda) in the Benguela Current Upwelling Region off Namibia: species diversity and trophic position. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*

Kruger, I (1980) A checklist of South West African marine phytoplankton, with some phytogeographical relations. *Fisheries Bull* 13: 31-53

Kuhlmann, B (2011) Untersuchung zur Verteilung, ökologischen Rolle und trophischen Stellung der Thecosomata (Gastropoda: Opisthobranchia) auf einem Schnitt von der Küste in die offene See im Auftriebsgebiet vor Namibia. Universität Hamburg. Institut für Fischerwissenschaften

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 Crusie No. 17 Leg 3, Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe Institut für Meereskunde der Universität Hamburg

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

Langer MR & Hottinger L (2000) Biogeography of selected larger foraminifera. In: *Biology of Foraminifera*. (Ed. JJ Lee) *Micropaleontology Press* 46: 105-126

Larink O. & Westheide W (2011) *Coastal Plankton – Photo Guide for European Seas*. Dr. Friedrich Pfeil

Mauchline, J (1998) *Advances in Marine Biology - The Biology of Calanoid Copepods*. Academic Press 319-320

Molloy, F. (2003) Biological Environment. In: *Namibia's Marine Environment*. (Ed. F. Molloy & T. Reinikainen) Directorate of Environmental Affairs of the Ministry of Environment and Tourism, Windhoek, Namibia, 32

Montagnes DJS, Allen J, Brown L, Bulit C, Davidson R, Fielding S, Heath M, Holliday NP, Rasmussen J, Sanders R, Waniek JJ, Wilson D (2010) Role of ciliates and other microzooplankton in the Irminger Sea (NW Atlantic Ocean). *Marine Ecology Progress Series* 411: 101-115

Müller H & Geller W (1993) Maximum growth rates of aquatic ciliate protozoa: the dependence on body size and temperature reconsidered. *Arch Hydrobiol* 126: 315-327

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

Newell GE & Newell RC (1977) *Marine Plankton – A practical guide*. Hutchinson of London

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

Pfaffenhöfer, GA (1993) On the ecology of marine cyclopoid copepods (Crustacea Copepoda). *Journal of Plankton Research*

Postel, L (1990) Die Reaktion des Mesozooplanktons, speziell der Biomasse, auf küstennahen Auftrieb vor Westafrika. *Meereswissenschaftliche Berichte*. IOW

Probyn TA, Waldron HN, James AG (1990) Size-fractionated measurements of nitrogen uptake in aged upwelled waters: Implications for pelagic food webs. *Limnol Oceanogr* 35: 202-210

Pusch, C (2004) Verbreitung mesopelagischer Fische an topographischen Strukturen im Nordost-Atlantik. Dissertation. Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung

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

Schwinghammer, K (2011) Zusammensetzung des Mikroplanktons im Südsommer vor Namibia. Zentrum für marine Tropenökologie Bremen

Shannon LV & Nelson G (1996) The Benguela: Large scale features and processes and system variability. In: *The South Atlantic: Present and Past Circulation*. (Ed. WH Berger, G Siedler & DJ Webb) 163–210

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

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

Shiga, N (1985) Seasonal and vertical distribution of Appendicularia in volcano bay Hokkaido, Japan. *Bulletin of Marine Science* 37: 425-439

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

Stibor, H, Vadstein, O, Diehl, S, Gelzleichter, A, Hansen, T, Hantzsche, F, Katechakis, A, Lippert, B, Løseth, K, Peters, C, Roederer, W, Sandow, M, Sundt-Hansen, L, Olsen, Y (2004) Copepods act as a switch between alternative trophic cascades in marine pelagic food webs. *Ecology Letter* 7: 321–328

Strom SL, Macri EL, Olson MB (2007) Microzooplankton grazing in the coastal Gulf of Alaska: Variations of top-down control of Phytoplankton. *Limnol Oceanogr* 52: 1480-1494

Stuart, CT, Rex MA, Etter RJ (2003) Large-scale spatial and temporal patterns of deep-sea benthic species diversity. In: *Ecosystems of deep oceans*. (Ed. PA Tyler) 295-311

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

Van der Spoel S. & Dadon JR (1999) Pteropoda. In: *South Atlantic Zooplankton*. (Ed. D. Boltovskoy) Backhuys Publishers 649-706

Verheye HM & Ekau W (2005) Maintenance mechanisms of plankton populations in frontal zones in the Benguela and Angola Current systems: a preface. *African Journal of Marine Science* 27: 611-615

Verheye HM & Richardson AJ (1998) Long – term increases in crustacean zooplankton abundance in the southern Benguela upwelling region (1951 – 1996): bottom-up or top-down control?. ICES Journal of Marine Science 55: 803-807

Walker DR & Peterson WT (1991) Relationship between hydrography, phytoplankton production, biomass, cellsize and species composition, and copepod production in the southern upwelling system in April 1988. South African Journal of Marine Science 11: 289-305

Internet-Quellen:

1. ENSO (El nino - southern oszillation),

<http://enso.info/enso-lexikon/lexikon.html#ekman>, 12.09.2012

2. Nielsen O (2009),

<http://my.opera.com/nielsol/blog/2009/03/27/hydrogen-sulphide-eruptions-off-the-coast-of-namibia>, 12.09.2012

3. Wikipedia,

<http://de.wikipedia.org/wiki/Dinoflagellaten>, 22.09.2012

4. Christian-Albrecht-Universität zu Kiel, Institut für Polarökologie,

<http://www.ipoe.uni-kiel.de/forschung/benthos>, 11.09.2012

5. Ocean Color web,

<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, 23.10.2012

6. Golden Map,

<http://de.goldenmap.com/Dinoflagellaten>, 15.10.2012

## Anhang:

Tabelle A1: Individuenzahl in Netz 4 - 5

Schelf	0 - 25 m	25 - 50 m
Exuvien	54	30
Copepoden	55	37
Calanoida	10	3
Cyclopoida	45	34
Oncacea	9	34
Oithona	31	0
Microsetella	5	0
Nauplien	31	53
Tintinnida	0	0
Radiolaria	1	12
Foraminifera	1	3
Dinoflagellata	509	166
Pteropoda	0	2
Appendicularia	0	0
Chaetognatha	0	0
Polychaeten-Larvae	1	6
Ostracoda	0	0
unbestimmte Ciliata	3	0
Salpen	1	0
Bivalvia	0	5
unbestimmte Arten	5	6

Tabelle A2: Individuenzahlen des Mikrozooplanktons in Netz 2 - 6

<b>Schelfkante</b>	<b>0 - 25m</b>	<b>25 - 50m</b>	<b>50 - 100m</b>	<b>100 - 200m</b>	<b>200 - 300m</b>
Exuvien	44	84	103	149	154
Copepoden	78	23	25	126	137
Calanoida	26	5	5	12	7
Cyclopoida	52	18	20	114	130
Oncacea	16	2	16	93	91
Oithona	1	0	0	2	0
Microsetella	35	16	4	19	39
Nauplien	188	125	65	51	30
Tintinnida	55	19	21	47	14
Radiolaria	172	115	102	134	117
Foraminifera	31	33	18	19	18
Dinoflagellata	30	51	36	40	45
Pteropoda	10	11	0	3	4
Appendicularia	46	0	0	0	0
Chaetognatha	3	0	0	0	0
Polychaeten-Larvae	2	0	1	3	2
Ostracoda	0	0	0	0	0
unbestimmte Ciliata	0	0	0	0	0
Salpen	0	0	0	0	0
Bivalvia	0	0	0	0	0
unbestimmte Arten	3	0	4	2	3

Tabelle A3: Individuenzahlen des Mikrozooplanktons in Netz 2 - 5

Hang	0 - 25m	25 - 50m	50 - 100m	100 - 200m	0 - 200m	200 - 400m	400 - 600m	600- 850m
Exuvien	45	100	116	95	136	241	185	180
Copepoden	30	29	78	85	51	222	212	129
Calanoida	12	5	19	9	7	12	7	5
Cyclopoida	18	15	59	76	44	210	205	124
Oncacea	10	11	56	63	33	123	65	45
Oithona	0	0	1	0	0	3	0	0
Microsetella	8	4	2	13	11	84	140	79
Nauplien	209	215	230	88	234	25	61	101
Tintinnida	120	48	50	17	63	29	38	28
Radiolaria	140	103	41	54	137	107	68	54
Foraminifera	6	20	10	1	26	20	20	16
Dinoflagellata	50	43	31	27	33	23	10	34
Pteropoda	5	4	2	0	9	3	4	5
Appendicularia	15	2	0	0	1	0	0	0
Chaetognatha	1	0	0	1	0	0	0	0
Polychaeta-Larvae	0	0	0	0	0	1	0	2
Ostracoda	0	0	0	0	0	5	0	0
unbestimmte Ciliata	0	0	0	0	0	0	0	0
Salpen	0	0	0	0	0	0	0	0
Bivalvia	0	0	0	0	0	0	0	0
unbestimmte Arten	3	1	1	2	2	2	3	1

Tabelle A4: Individuenzahlen des Mikrozooplanktons in Netz 3 - 5

Ozeanisch	0-25m	25-50m	50-100m	0-200m	200-400m	400-600m	600-1000m
Exuvien	51	46	77	48	50	132	150
Copepoden	49	78	100	255	143	99	119
Calanoida	31	44	43	101	66	10	4
Cyclopoida	18	34	57	154	77	89	115
Oncacea	14	21	34	145	62	55	20
Oithona	0	13	20	0	0	13	15
Microsetella	4	0	3	9	15	21	80
Nauplien	38	35	208	180	22	15	17
Tintinnida	0	1	7	12	13	9	14
Radiolaria	20	17	47	65	31	50	49
Foraminifera	5	2	2	1	2	6	20
Dinoflagellata	6	9	25	27	6	14	25
Pteropoda	5	8	10	30	3	6	27
Appendicularia	0	0	0	0	0	0	0
Chaetognatha	0	0	1	0	0	0	2
Polychaeta-Larvae	0	0	1	1	0	0	2
Ostracoda	0	0	0	1	0	5	0
unbestimmte Ciliata	0	0	0	0	0	0	0
Salpen	0	0	0	0	0	0	0
Bivalvia	0	0	0	0	0	0	0
unbestimmte Arten	0	1	1	14	0	0	3