



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



Abundanz und Zusammensetzung des ozeanischen Zooplanktons vor Namibia und Angola – manuelle und semi-automatische Erfassung im Vergleich

vorgelegt von

Julia Dürschlag

geboren am

30.08.1988

Universität Hamburg

Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften

Erscheinungsjahr

2012

1. Gutachter: Prof. Dr. Christian Möllmann

2. Gutachter: Dr. Rolf Koppelmann

Hiermit bestätige ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbständig verfasst wurde und ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel – insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internet-Quellen – 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

“It always seems impossible until it’s done. “

(Nelson Mandela)

Inhaltsverzeichnis

Abstract	i
Zusammenfassung	ii
1. Einleitung	1
1.1 Fragestellung	1-3
2. Material und Methoden	3
2.1 Probennahme	3-5
2.2 Probenbehandlung	6-7
3.3 Auswertungen mit ZooScan	7-13
3. Ergebnisse	14
3.1.1 Vergleich der Biomasse an den Stationen Walvis Bay, Rocky Point, Kunene River und Angola Dome	14
3.1.2 Tiefenvergleich der Zooplanktonkonzentration an den Stationen Walvis Bay und Angola Dome	15
3.2 Faunistischer Vergleich der Station Walvis Bay und Angola Dome im vertikalen Schnitt	16-18
3.3 Vergleich der Größenverteilung des Zooplanktons an der Station Walvis Bay und Angola Dome	19
3.3.1 Siebfraktionen	19-20
3.3.2 Automatische Erfassung mit dem Zooplankton-Scanner	21-24
3.4 Vergleich der Quantifizierung des Zooplanktons mit dem Zooplanktonscanner und mittels der manuellen optischen Erfassung	24
3.4.1 Fehlerquote Zooplanktonscanner gegenüber manueller Methode	24-29
3.4.2 Statistischer Vergleich: Zooplanktonscanner/ manuelle Methode	30-31
4. Diskussion	31
4.1 Die Biomassenbestände an den Stationen vor der Küste Namibias und Angolas im Vergleich mit anderen Regionen	31-34
4.2 Abundanz und Zusammensetzung des Zooplanktons an den Walvis Bay und Angola Dome Stationen	35-38
4.3 Messung der Körperlänge von Copepoda Calanoida	38-39
4.4 Fehlerquote des Zooplanktonscanner gegenüber der manuellen Methode und statistischer Vergleich der Methoden	40-41
4.5 Fazit	41-42
4.6 Ausblick	42-43
5. Literatur	44-48
Danksagung	49
Anhang	

I. Abstract

The GENUS (Geochemistry and Ecology of the Namibia Upwelling system) project explores and analyses the ecological and physical features of the northern Benguela region between Lüderitz (26.6 °S) and Kunene (17,25 °S) since 2009. The northern Benguela Region is highly productive in the lower and higher trophic levels due to a strong upwelling. In the last decades a shift from fish to gelatinous organisms could be observed. Since the fish industry is one of the important parts of the Namibian economy, these changes must be studied. The University of Hamburg sets the emphasis on zooplankton samples. Zooplankton plays a key role in the marine food web as it connects lower trophic levels with the higher trophic levels. This work is concerned with the zooplankton stock of the northern Benguela region and compares it to other regions. Furthermore this study takes a deeper look into the zooplankton composition of the Walvis Bay and Angola Dome stations to figure out if the oligotrophic station Angola Dome has less zooplankton abundance than the Walvis Bay station close to the upwelling. The zooplankton samples for this study were taken during an expedition of the research vessel Maria S. Merian in February 2011. A zooplankton scan system was used to produce a size spectrum for the Copepoda Calanoida. The ZooScan is a semi-automated system that analyses zooplankton samples and provides information about the scanned organisms e.g. sizecomposition and abundance. In addition to the produced size spectra the applicability for the analyses quality of subtropical zooplankton of the ZooScan- system was tested.

The results show that the zooplankton stock of the northern Benguela region is relatively high for a subtropical region which is due to the upwelling. In addition the results of the zooplankton stock, biomass and individual concentration confirm that the zooplankton is less abundant at the Angola Dome station than at the Walvis Bay. station Nevertheless, the individual concentrations detected at Walvis Bay showed an unclear relation to biomass in the first 25 m of the water column.

The ZooScan- system tended to overestimate small sized fractions and to underestimate larger sized fractions. The dominant taxa such as calanoida show good results in the documentation with the ZooScan. However, the results also show that it is necessary to review and edit the learning set for zooplankton of the northern Benguela region.

II. Zusammenfassung

Das GENUS (Geochemistry and Ecology of the Namibia Upwelling system) Projekt konzentriert sich seit 2009 auf die nördliche Benguela Region zwischen Lüderitz (26.6 °S) und Kunene (17,25 °S) und untersucht physikalische und biologische Eigenschaften dieses Gebietes. Die nördliche Benguela Region ist dank ihres Auftriebs von kaltem nährstoffreichem Wasser ein Gebiet mit hoher Produktivität in niedrigen und höheren tropischen Ebenen. In den letzten Jahrzehnten konnte eine Verschiebung der Artenzusammensetzung beobachtet werden, es konnten weniger Fische, dafür aber mehr gelatinöse Organismen beobachtet werden. Da die Fischindustrie einen wichtigen Bestandteil der namibischen Wirtschaft darstellt, ist es wichtig diese Region auf Veränderung zu untersuchen. Die Universität Hamburg setzt ihren Schwerpunkt auf die Untersuchung von Zooplanktonproben. Zooplankton ist eine wichtige Verbindung zwischen den unteren und den höheren tropischen Ebenen. Diese Arbeit befasst sich mit dem Zooplanktonbestand der nördlichen Benguela Region und vergleicht diesen mit anderen Regionen. Darüber hinaus wurde die Zusammensetzung des Zooplanktons an den Stationen Walvis Bay und Angola Dome genauer betrachtet, um herauszufinden ob die oligotrophe Station Angola Dome eine niedrigere Zooplanktonabundanz aufweist als die Station Walvis Bay, welche sich näher am Auftrieb befindet. Die Proben für diese Untersuchung wurden mit dem Forschungsschiff Maria S. Merian im Februar 2011 genommen. Ein Zooplanktonscan- System wurde für die Erstellung eines Größenspektrums der Copepoda Calanoida eingesetzt. Das ZooScan- System ist ein semi-automatisches Gerät, um Zooplanktonabundanzen und Größenspektren zu ermitteln. Zusätzlich wurde auch die Eignung des ZooScan-Systems für subtropisches Zooplankton überprüft.

Die Ergebnisse zeigten, dass das Benguela Gebiet, aufgrund des Auftriebes von nährstoffreichem Tiefenwasser, hohe Bestände für ein subtropisches Gebiet aufweist. Die Annahme, dass die Station Angola Dome eine niedrigere Zooplanktonabundanz aufweist als Walvis Bay konnte in dem Zooplanktonbestand, der Biomasse und in der Individuenkonzentration bestätigt werden. Nur in den ersten 25 m der Wassersäule zeigte sich eine ungeklärte Diskrepanz zwischen der Individuenkonzentration und der Biomasse. Das ZooScan-System neigt dazu kleine Größenfraktionen zu überschätzen und große Fraktionen zu unterschätzen. Dominante Taxa wie Calanoida zeigten gute Ergebnisse in der Erfassung mit dem ZooScan- System. Jedoch zeigten die Ergebnisse auch, dass das Learning Set für das Zooplankton im nördlichen Benguela eine weitere Überarbeitung benötigt.

1. Einleitung

Der Benguela Strom beherbergt eines der wichtigsten und produktivsten Auftriebsgebiete der fünf großen östlichen Randströmungen (Kalifornischer Strom, Kanarischer Strom, Humboldt Strom und der Westaustralischer Strom) der Welt (Hutchings *et al.*, 2009, Olivar und Barangé, 1990). Dieses Gebiet hat eine latitudinale Ausdehnung von etwa 14 °S bis 37 °S und wird in einen nördlichen (179 000 km²) und einen südlichen Bereich (220 000 km²) eingeteilt, der von der Hauptauftriebszelle vor Lüderitz (bei ungefähr 27 °S und 15 °O) getrennt wird (Heymans *et al.*, 2004, Berger und Wefer, 2002). In diesem Gebiet herrscht ganzjährig ein stark auftriebsfördernder Süd-Ost Wind vor (Shannon und Pillar, 1986).

Auftrieb bezeichnet ein Phänomen, welches zum ersten Mal vom schwedischen Physiker Ekman (1905) beschrieben wurde. Es ist der Aufstieg von nährstoffreichem Tiefenwasser an die Oberfläche. Beim Benguela Strom kommt der Auftrieb durch den Süd-Ost Passatwind zustande, der entlang der Küste von Namibia weht. Der Wind bewegt das Oberflächenwasser und damit auch die darunter liegenden Wasserschichten, die bedingt durch die Corioliskraft um 20°-40° auf der Südhalbkugel nach links verdriftet werden. Diese so bewegte Wasserschicht bewegt wiederum die darunter liegende Wasserschicht und verdriftet diese ebenfalls. Dieses sich fortsetzende Muster bezeichnet man als Ekmanspirale (Ekman, 1905). Hierbei wird das Oberflächenwasser im rechten Winkel zum Wind in die offene See transportiert. Der damit verbundene Volumenverlust wird mit Wasser aus 100-300 m Tiefe ausgeglichen. Das kalte Tiefenwasser ist besonders nährstoffreich. Die Anreicherung von Nährstoffen in der euphotischen Zone fördert das Algenwachstum und führt somit zu einer gesteigerten Primärproduktion (Currie, 1953). Das Benguela Auftriebsgebiet zeichnet sich daher durch eine hohe Primärproduktion aus, die auch in eine hohe Sekundärproduktion mündet.

Die Nahrungsketten in Auftriebsgebieten sind in der Regel kurz (Phytoplankton → Zooplankton → Fisch), dies erlaubt einen sehr effizienten Transport von Energie in höhere tropische Ebenen (Cushing, 1989). Das Zooplankton nimmt hierbei eine wichtige Rolle in der Nahrungskette ein (Fenchel, 1988). Es verbindet die niedrigeren mit den höheren trophischen Ebenen (Plagányi *et al.*, 1999). Das Zooplankton im Benguela Auftriebsgebiet wird überwiegend von Copepoden dominiert (Timonin, 1990).

1.1 Fragestellung

Das Auftriebsgebiet vor der Küste Südafrikas, Namibias und Angolas wird durch verschiedene Eigenschaften geprägt, die für eine unterschiedliche hydrographische Ausprägung in den untersuchten Gebieten (Angola Dome, Kunene River, Rocky Point und Walvis Bay) sorgen (Abb. 1, Hutchings *et al.*, 2009). Die Station Angola Dome wird vom South Atlantic Central Water (SACW) versorgt. Das SACW liefert warmes und sauerstoffarmes Wasser (Meeuwis und Lutjeharms, 1990). Die Station Walvis Bay, Rocky Point und Kunene River wird mit Wasser des kalten und sauerstoffreichen Benguela Stroms versorgt und regelmäßig können in dieser Region Auftriebsfilamente beobachtet werden (van Forest *et al.*, 1984, Lutjeharms und Stockton, 1987).

Im offenen Ozean ist die Abundanz des Zooplanktons generell niedriger als in Küstenbereichen (Umani, 1996). Es ist aber zu vermuten, dass küstenferne Gebiete, die sich vor Auftriebsgebiete befinden eine höhere Abundanz aufweisen. Dies liegt daran, dass Auftriebsgebiete über Filamente organisches Material schnell in die offene See transportieren (Wroblewski, 1980). Auftriebsfilamente werden oft als nährstoffreich beschrieben und haben eine hohe Chlorophyllkonzentration (Traganza *et al.*, 1980, 1981, Navarro-Perez und Baton, 1998, Shillington *et al.*, 1992).

Es besteht somit die Annahme, dass die Gebiete vor Namibia nährstoffreicher sind und daher eine höhere Biomasse bzw. Individuenzahl aufweisen sollten. Ziel dieser Arbeit ist ein Vergleich der oligotrophen Station Angola Dome (10°S und 8°O) mit der Station Walvis Bay, Rocky Point und Kunene River (23°S und 11° 45'O), die sich näher am Auftrieb befinden.

Zusätzlich zum faunistischen Vergleich der beiden Station werden auch zwei Methoden zur Abundanzermittlung verglichen. Neben der manuellen Erfassung unter dem Binokular wird auch die Erfassung mit einem Zooplankton-Scanner durchgeführt. Ziel ist es herauszufinden, ob sich die semi-automatische Bestimmung und Erfassung mit dem Scanner auch für Zooplankton aus Auftriebsgebieten rentiert und einen zeitlichen Vorteil gegenüber der traditionellen manuellen Bestimmung hat (weitere Erklärung zum ZooScan System unter 2.3). Zudem soll die Eignung des Zooplankton-Scanners zur Erfassung des Größenspektrums des Zooplanktons überprüft werden.

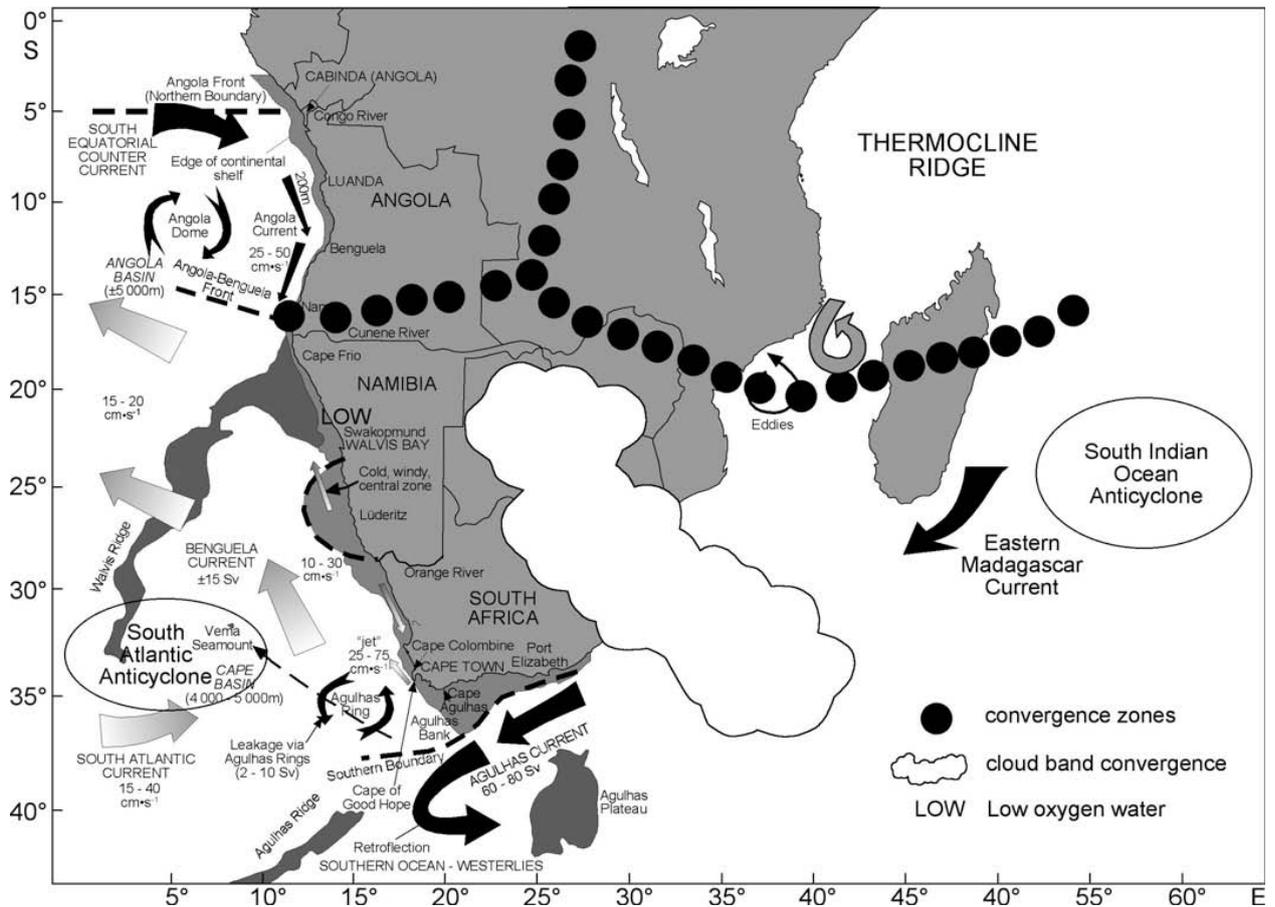


Abbildung 1. Strömungssystem vor Angola, Namibia und Südafrika nach Hutchings *et al.* (2009) modifiziert nach Shannon and O'Toole (2003).

2. Material und Methoden

2.1 Probennahme

Die untersuchten Zooplanktonproben stammen aus dem nördlichen Teil der Benguela Stromregion vor der Küste Namibias und einer Referenzstation vor Angola. Alle Probennahmen erfolgten im ozeanischen Bereich. Es wurden vier küstenferne Station beprobt (Abb. 2).

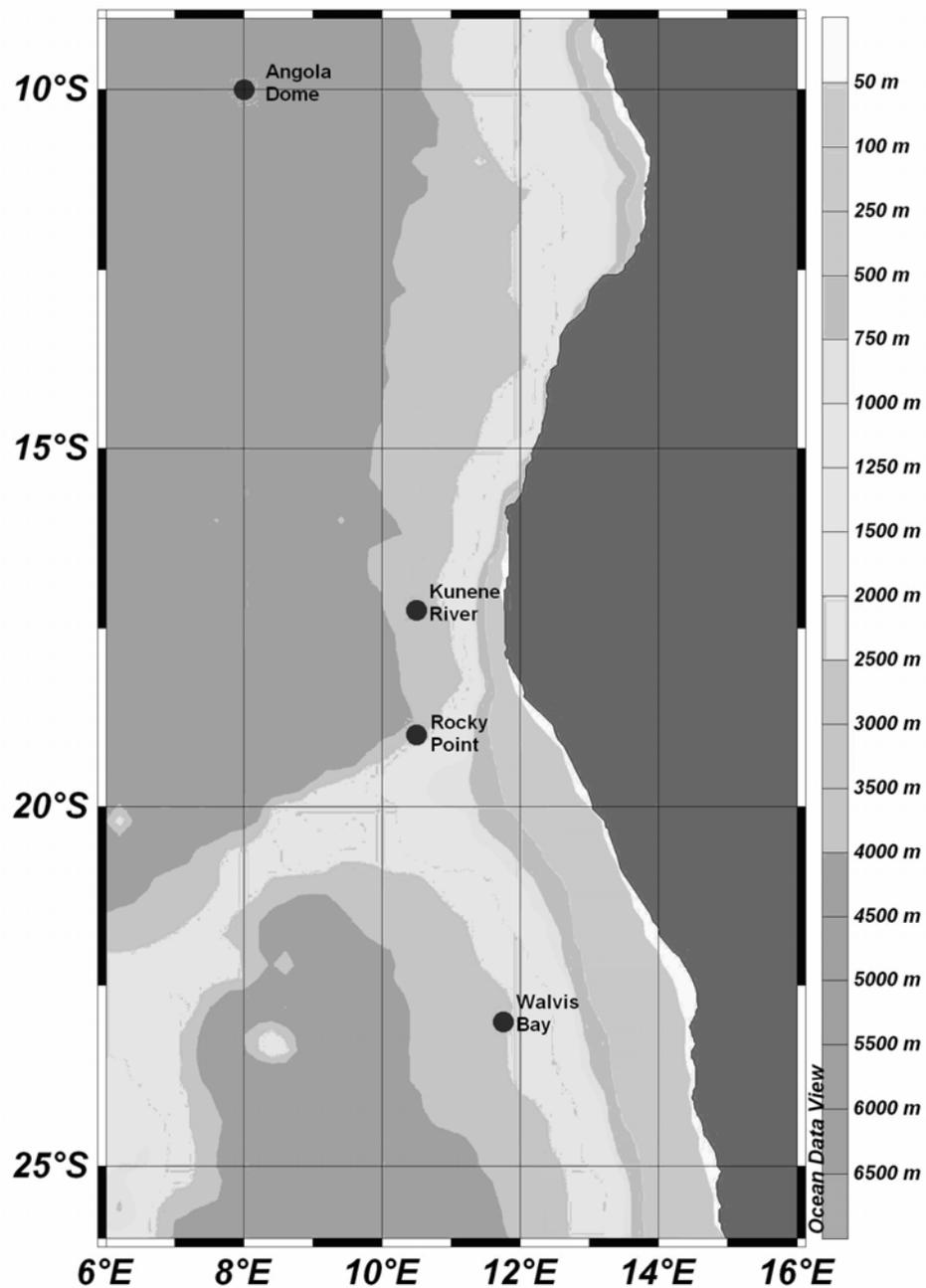


Abbildung 2. Untersuchte Stationen vor Südafrika, Namibia und Angola.

Die Probennahme erfolgte während der Expedition 17/3 des Forschungsschiffes Maria S. Merian von Walvis Bay (Namibia) bis Dakar (Senegal) vom 30.01. bis 07.03.2012 (MSM 17/3) im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System (GENUS) vor der Küste Namibias (Lahajnar *et al.* 2011).

Das Zooplanktonmaterial wurde mit Hilfe eines 1 m² Doppel-MOCNESS (Multiple Opening and Closing Net and Environmental Sensing System) mit zweimal neun parallelen Netzen pro Seite und einer Maschenweite von 333 µm gewonnen (Wiebe *et al.*, 1985). Die

Netzöffnungsgröße bestimmt sich durch den Neigungswinkel des Gerätes von 45° beim Schleppen durch das Wasser mit einer der Schiffsgeschwindigkeit von ungefähr zwei Knoten. Die Netze wurden mit einer Geschwindigkeit von 0,5 ms⁻¹ gehievt. Alle Daten zu den Einsätzen, wie Gerätewinkel und Durchflussmenge wurden elektronisch ermittelt und aufgezeichnet. Aufgrund der Bewegung des Schiffes und den Strömungsverhältnissen wurde ein Gerätewinkel zwischen 35° und 55° als akzeptabel angesehen. Die dadurch variierende Netzöffnungsgröße wurde bei der Berechnung der filtrierte Volumina berücksichtigt (Lahajnar *et al.*, 2011). Die eine Hälfte der Proben wurde in einer mit Natriumtetraborat gepufferten 4%igen Formaldehydlösung fixiert, während die andere Hälfte bei -80°C eingefroren wurde, um diese später für biochemische Analysen zu verwenden. In Tabelle 1 sind die Daten zu den Probennahmen dargestellt, hervorgehobene Proben wurden in dieser Arbeit taxonomisch weiter aufgeschlüsselt. Die maximale Holtiefe betrug 3000 m (Lahajnar *et al.*, 2011). In dieser Arbeit wurden jedoch nur Proben bis eine Tiefe von 1000 m ausgewertet. Jedes Profil bestand aus acht Tiefenabschnitten.

Tabelle 1. Stationsdaten der Doppel-MOCNESS Hols. WB = Walvis Bay Transekt, LÜ = Lüderitz Transekt, RP = Rocky Point Transekt, KR = Kunene River Transekt, AD = Angola Dome (Lahajnar *et al.*, 2011). Fett dargestellt sind Proben, die taxonomisch weiter aufgeschlüsselt wurden.

Hol	Station#	Datum	Start Zeit UTC	Wasser tiefe [m]	Region	Proben Intervalle [m Tiefe]
07	241	05.02.11	19:14	2960	WB	1000-800-600-400-200-100-50-25-0
08	241	06.02.11	6:23	2950	WB	1000-800-600-400-200-100-50-25-0
20	298	17.02.11	11:21	2000	RP	1000-800-600-400-200-100-50-25-0
21	298	17.02.11	18:10	2000	RP	1000-800-600-400-200-100-50-25-0
28	310	21.02.11	17:35	3250	KR	1000-800-600-400-200-100-50-25-0
29	310	22.02.11	06:15	3250	KR	1000-800-600-400-200-100-50-25-0
30	317	25.02.11	23:55	4830	AD	1000-800-600-400-200-100-50-25-0

2.2 Probenbehandlungen

Es wurden größenfraktionierte Proben in den Fraktionen <0,5, 0,5-1, 1-2, 2-5, >5 mm bereitgestellt. Für die Biomassebestimmung der Proben wurden diese für eine halbe Minute in 70% Alkohol getaucht und ca. 1 min auf Filterpapier getrocknet und anschließend gewogen (Tranter, 1962). Für die weiter Bearbeitung wurden die Proben in die Sortierlösung (0,5% Propylenphenoxetol, 5% Propylenglycol und 94,5% H₂O; Steedman, 1976) überführt. Proben, die eine für die Bearbeitung zu große Anzahl von Organismen enthielten, wurden geteilt und der Teilerfaktor wurde später in den Ergebnissen verrechnet (Tabelle der geteilten Proben siehe Anhang). Zunächst wurden die Unterproben mit Hilfe eines automatisierten Systems (Zooscan) hinsichtlich der Grobtaxonomie und der Abundanz untersucht. In einem weiteren Schritt erfolgte die Auszählung mittels konventioneller Methoden. Die Proben in der Sortierlösung wurden im Labor mit Hilfe eines Binokulars untersucht und taxonomisch bestimmt. Zur taxonomischen Bestimmung wurde „An Introduction to the Zooplankton of the Benguela Current Region“ von Gibbons (1997) verwendet. Mit Hilfe des durchfiltrierten Volumina (siehe 2.1.) wurde die Individuenanzahl pro 1000 m³ berechnet.

Bei der Darstellung der Ergebnisse wurde im faunistischen Vergleich der beiden Stationen, die Siphonophora und Polychaeta aus der Gesamtindividuenzahl und in den Großgruppen Gelatinöse und Semigelatinöse herausgenommen. Bei Siphonophora und Polychaeta handelte es sich in der Regel nur um Teilstücke eines gesamten Individuums; sie können daher nicht als ganzes Individuum behandelt werden und somit konnte die eigentliche Individuenzahl nicht mehr exakt ermittelt werden. Die Taxa, die in den Großgruppen Crustacea, Gelatinöse und Semigelatinöse Organismen enthalten sind, sind in Tabelle 2 aufgelistet. Im Ergebnis teil wurden beim Vergleich der Größenverteilung nur Organismen <5 mm berücksichtigt.

Tabelle 2. Großgruppe der Crustacea, gelatinöse und semigelatinöse Organismen

Crustacea	Gelatinöse Organismen	Semigelatinöse Organismen
Ostracoda	Cnidaria	Salpen
Isopoda	Ctenophora	Appendicularia
Amphipoda		Cephalopoda
Cladocera		Bivalvia
Calanoide		and. Mollusca
Cyclopoide		Chaetognatha
Harpactoide		
Decapoda		
Euphausiacea		
Mysidacea		
Crustacea Larven		

Beim Vergleich der manuellen Methoden mit der des ZooScans (Beschreibung dieser Methode unter 2.3) wurden bei den Proben von MSM 17/3, MOC-D-7 (Walvis Bay) die Thaliacea bereits im Rahmen einer anderen Fragestellung entnommen und konnten daher nicht berücksichtigt werden. Da es sich hier um einen Vergleich der beiden Methoden handelt sollte es das Ergebnis nicht beeinträchtigen, weil diese Gruppe in beiden Methoden fehlt. Für den faunistischen Vergleich wurden die Abundanzen der Thaliacea nachgetragen.

2.3 Probenauswertung mit dem ZooScan-System

Das ZooScan-System mit ZooProcess und der Plankton Identifier Software ist ein integriertes Analyse-System für Zooplanktonproben. Mit dem ZooScan werden die Proben digitalisiert und ein hochauflösendes Bild (2400 dpi) wird produziert (Gorsky *et al.*, 2009, Grosjean *et al.*, 2004).

Die Hardware des ZooScan Systems besteht aus zwei wasserdichten Elementen, welche die direkte Aufnahme von Proben, die sich in Flüssigkeit befinden erlaubt (Abb. 3). Die Scanzelle besitzt eine hochauflösende optische Einheit und einen Ablaufkanal mit dem durch Kippen

der Scanzelle die Proben unbeschädigt entfernt werden. Der Deckel der Scaneinheit sorgt für eine optimale Beleuchtung während der Aufnahme. Der zu erfassende Bildbereich auf der Scanzelle wird durch einen transparenten Rahmen begrenzt. Das ZooScan System ist mit zwei Rahmen für verschieden große Proben ausgestattet. Der kleine Rahmen ist 11 x 24 cm groß, während der große Rahmen 15 x 24 cm bemisst. Der transparente Rahmen besitzt eine Stufe, die beim Auffüllen dafür sorgt, dass sich kein Meniskus bildet (Gorsky *et al.*, 2009). Für diese Arbeit wurde mit dem großen Rahmen gearbeitet.

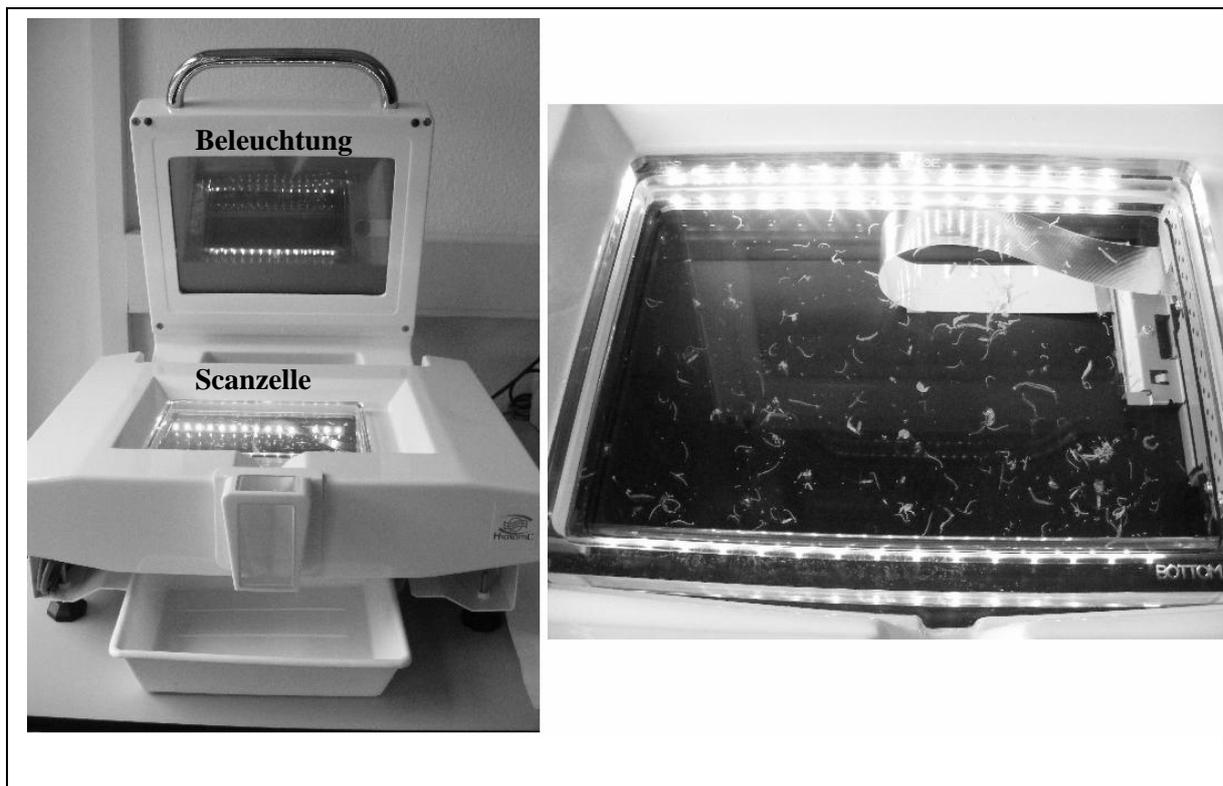


Abbildung 3. Zooplanktonscanner mit der Probe 2-5 mm

Die Zooplanktonproben werden auf der wasserdichten Oberfläche der Scanzelle innerhalb des transparenten Rahmens platziert. Die Individuenanzahl muss so angepasst werden, dass die einzelnen Organismen sich nicht überlappen. Hierzu werden bei einer Größenfraktion von $<0,5$ mm 1500-2000 Individuen und bei einer Größenfraktion von $>0,5$ mm 500-800 Individuen empfohlen (Grosjean *et al.*, 2004). Es wurden nur Individuen <5 mm gescannt, da die Größenfraktion >5 mm zu große Organismen enthält und so eine sinnvolle Bearbeitung mit dem Zooscanner nicht möglich ist.

Für jede Analyse wurde ein neues Projekt angelegt, welches sinnvoll benannt werden muss (z.B. MSM17_3_MOC7). Bevor die Probe gescannt werden konnte, musste die Einstellung

geprüft werden. In den Punkt „Edit Configuration file“ wurde für die Rohbildbearbeitung „rolling ball“ eingestellt. Diese Funktion sorgte dafür, dass ein ständiger Abgleich von dem Kontrast des Hintergrundes mit einem bestimmten Abschnitt, auf dem sich ein Objekt befindet, erfolgte. Wenn dieser Abschnitt gleichmäßig beleuchtet war, konnte der Hintergrund von dem gewählten Abschnitt subtrahiert werden.

Nachdem mit dem ZooScan und mit der Hilfe des VueScan Scanprogrammes ein Rohbild erstellt wurde, konnte es mit der Software ZooProcess bearbeitet werden. Es wurde mit der ZooProcess Version 7.07, dem Plankton Identifier Version 1.26 und der VueScan Version 8.457 gearbeitet. Der ZooProcess ermöglicht eine Bearbeitung und Analyse der digitalisierten Daten. Das Rohbild wird normalisiert, was bedeutet, dass die gesamten Graustufen konvertiert werden (Gorsky *et al.*, 2009). Im nachfolgenden Schritt „Extract Vignettes for Plankton Identifier“ werden vom prozessierten Bild Ausschnitte extrahiert und die so genannten „Vignetten“ erstellt. Ein Abschnitt sollte idealerweise nur ein Objekt beinhalten. Oft waren aber mehrere Objekte auf einem Abschnitt. Mit dem Arbeitsschritt „Separation using Vignettes“ können die einzelnen Objekte mit einem Trennstrich manuell getrennt werden. Diese so neu entstanden Vignetten werden durch ein erneutes „Prozessingverfahren“ für die Analyse mit dem Plankton Identifier vorbereitet. Die Arbeitsschritte des ZooScan und ZooProcess sind in Abbildung 3 zusammengefasst.

Der Plankton Identifier ermöglicht es, die einzelnen Objekte auf den Vignetten taxonomisch einzuordnen und zu zählen und erlaubt somit eine automatische und semiautomatische Quantiifizierung der Planktontaxa (Gorsky *et al.*, 2009).

Um eine Klassifizierung erfolgreich durchzuführen, musste zunächst ein Learning Set des zu untersuchende Gebietes erstellt werden. Hierbei wurden verschiedene Individuen der Taxa gescannt. Es wurden ungefähr 200 bis 400 Individuen erfasst und im Learning Set archiviert. Es ist ratsam verschiedene Größenklassen und Arten der jeweiligen Gruppe zu erfassen. Auch sollten die gleichen Tiere in verschiedenen Lagen gescannt werden, dieses ist durch Durchmischen der Probe und erneutes Scannen der Probe zu erreichen. Für die Analyse der Proben wurde ein bereits vorhandenes Learning Set für Zooplankton aus Namibia benutzt und überarbeitet. Das Namibia Learnset wurde von Kesselring (2010) erstellt. Die verwendeten Kategorien sind in Tabelle 3 aufgelistet.

ZooScan + ZooProcess

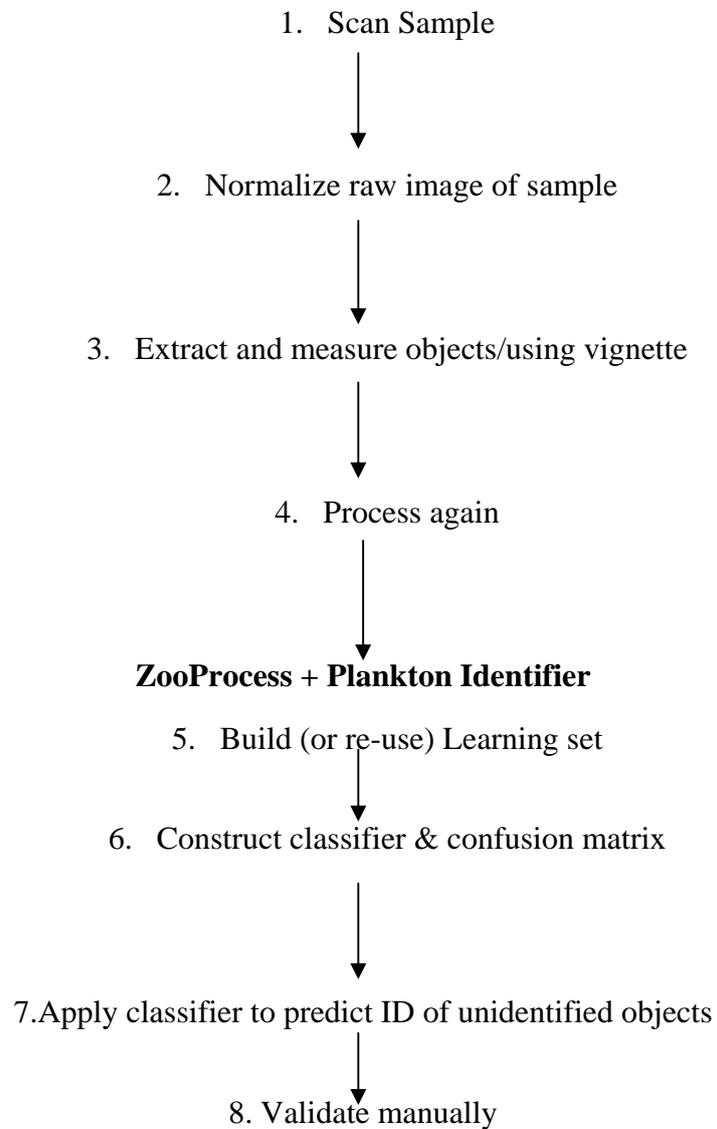


Abbildung 4. Schematische Illustration der ersten Schritte zum Scannen und Analysieren der Zooplanktonprobe mit ZooScan/ZooProcess/Plankton Identifier System (verändert nach Gorsky *et al.*, 2009).

Tabelle 3. Verwendete Kategorien des Namibias Learning Sets und Zuordnung

Gruppe	Zuordnung
Amphipoda	Crustacea
Bubble	Luftblase
Calanoida	Crustacea
Chaetognatha	Unklare Zuordnung
Cladocera*	Crustacea
Cnidaria	Coelenterata
Crustacea Larve	Crustacea
Cyclopoida	Crustacea
Detritus	Organische und anorganische Partikel
Euphausiacea	Crustacea
Exuvia	Tote Tiere und Hüllen
Fiber	Fussel
Fischeier*	Chordata
Isopoda	Crustacea
Malacostraca	Crustacea
Mollusca	Lophotrochozoa
Mysidacea	Crustacea
<i>Oithona</i>	Crustacea
Ostracoda	Crustacea
Pisces	Chordata
Polychaeta	Lophotrochozoa
Salpida	Chordata
<i>Sapphirina</i>	Crustacea
Siphonophora*	Eumetazoa
unidentified	Unidentifizierbare Objekte

* Diese Kategorien sind nicht im Learning Set vertreten, sie wurden manuell erstellt.

Durch die Erstellung eines geeigneten Learning Sets konnte die Klassifizierung mit dem Plankton Identifier durchgeführt werden. Der Plankton Identifier vergleicht die Bilder aus dem Learning Sets mit den Bildern der gescannten Probe und ordnet die Bilder den verschiedenen Gruppen zu (Gorsky *et al.*, 2009).

Nachdem das Identifizieren mit der Hilfe von Plankton Identifier beendet war und erneut durch ZooProcess bearbeitet wurde, musste die Zuordnung durch das Programm noch kontrolliert werden. Die nun den Gruppen zugeordneten Bilder wurden nochmals manuell gesichtet und gegebenenfalls umsortiert oder auch neue Kategorien manuell hinzugefügt. Hierzu wurden die falsch zugeordneten Bilder in den richtigen Ordner verschoben. Nach der manuellen Überprüfung und Korrektur konnten die ID Dateien (Identification files) geladen werden. Während dieses Prozesses wurde auch eine Fehlerquote durch die Erfassung der Anzahl der manuell verschobenen Bilder ermittelt. Ist die Fehlerquote zu hoch muss das Learning Set optimiert werden. Die Gruppe der Cyclopoida wurde hierbei noch durch *Oithona* und *Sapphirina* erweitert, da diese eine zu unterschiedliche Form gegenüber den anderen Cyclopoidenarten aufwiesen.

Die entstandenen ID Datei konnten in Excel geladen und zur weiteren Bearbeitung und Analyse genutzt werden. Neben der Anzahl der verschiedenen Gruppen liefert ZooProcess auch andere Daten zu den Tieren. Der ZooScan bietet auch Messungen zu den Körpergrößen der Organismen an, welche später für Größenspektren verwendet werden konnte. Es ist hierbei wichtig die geometrische Form des Objektes zu kennen. Daher muss das Verhältnis der Haupt- (Major) und Nebenachsen (Minor) bekannt sein. „Major“ beschreibt die primäre Achse und „Minor“ die sekundäre Achsen, der am besten passenden Ellipse für das Objekt (Gorsky *et al.*, 2009). Copepoden können generell als Ellipse beschrieben werden (Herman, 1992). In dieser Arbeit wurde die Kategorie „Major“ verwendet um eine Größenverteilung der Copepoda Calanoida darzustellen. In der ID Datei werden diese Längenverhältnisse als Pixel angegeben. Diese Werte mussten in Mikrometer umgerechnet werden. Bei der gegebenen Auflösung von 2400 dpi entspricht ein Pixel 10,5833 μm . Mit diesem Faktor konnten nun die errechneten Pixel-Zahlen von ZooScan zu μm umgerechnet werden (Garcia-Comas, 2010).

Es konnten fünf Proben nacheinander gescannt und anschließend über Nacht zusammen prozessiert werden. Am zweiten Tag wurden die Vignetten bearbeitet und es konnte wieder über Nacht prozessiert werden. Am dritten Tag wurden die Proben mit Hilfe des Plankton Identifier zugeordnet und manuell korrigiert. Abschließend konnte die ID Datei geladen werden und die Daten konnten ausgewertet werden. Insgesamt wurden für fünf Proben

ungefähr drei Tage benötigt. Da im Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften der Universität Hamburg zwei Zooscanner zur Verfügung standen konnten in der Regel zehn Proben am Tag gescannt werden.

Für den Methodenvergleich wurde mit folgender Formel eine Fehlerquote des Zooscanners errechnet:

$$Fehlerquote[\%] = \left(\frac{ZooScan[Anzahl]}{Manuell[Anzahl]} \right) \cdot 100 - 100$$

Für die Ergebnisse wurden die Gruppen Gesamtindividuen (inkl. Exuvien), Calanoida, Cyclopoida, Ostracoda, Chaetognatha und Exuvien genauer auf ihre Fehlerquote untersucht und dargestellt. Bei den Gesamtindividuen wurden aus den bereits genannten Gründen die Taxa Siphonophora und Polychaeta heraus genommen.

Für den Vergleich der Methoden wurde mit dem Programm SYSTAT 8.0 der Wilcoxon Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Es wurden hierbei alle Tiefenabschnitte und die beiden Gebiete Walvis Bay und Angola Dome zusammengefasst, da davon auszugehen war, dass z.B. Calanoida der gleichen Art aus verschiedenen Tiefen und Gebieten gleich gut vom Zooscanner erkannt werden können. Für die Ermittlung der Mittelwerte, Minimum- und Maximum-Werte und der Standardabweichung der Größenverteilung der Calanoida wurde ebenfalls das Programm SYSTAT 8.0 benutzt. Für die Darstellung der Graphiken im Ergebnissteil wurde mit dem Programm Excel 2003 und SigmaPlot 11 gearbeitet.

3. Ergebnisse

3.1.1 Vergleich der Biomasse an den Stationen Walvis Bay, Rocky Point, Kunene River und Angola Dome

An den Stationen Walvis Bay, Rocky Point und Kunene River konnten in der Nacht höhere Biomassenbestände [mg m^{-2}] in den oberen 1000 m der Wassersäule als am Tag festgestellt werden (Abb. 5). Den höchsten Bestand weite die Station Kunene River (Nacht) mit $50\,541 \text{ mg m}^{-2}$ auf. Am Tag konnte an der Station Rocky Point mit $43\,658 \text{ mg m}^{-2}$ der höchste Biomassenbestand beobachtet werden. An der Station Rocky Point war auch die Differenz der Tages- und Nachtbestände mit 3221 mg m^{-2} am geringsten. Die höchste Differenz konnte an der Kunene River Station mit $16\,789 \text{ mg m}^{-2}$ festgestellt werden. Die oligotrophe Station Angola Dome, welche nur in der Nacht beprobt wurde, hatte mit $19\,186 \text{ mg m}^{-2}$ den geringsten Biomassenbestand.

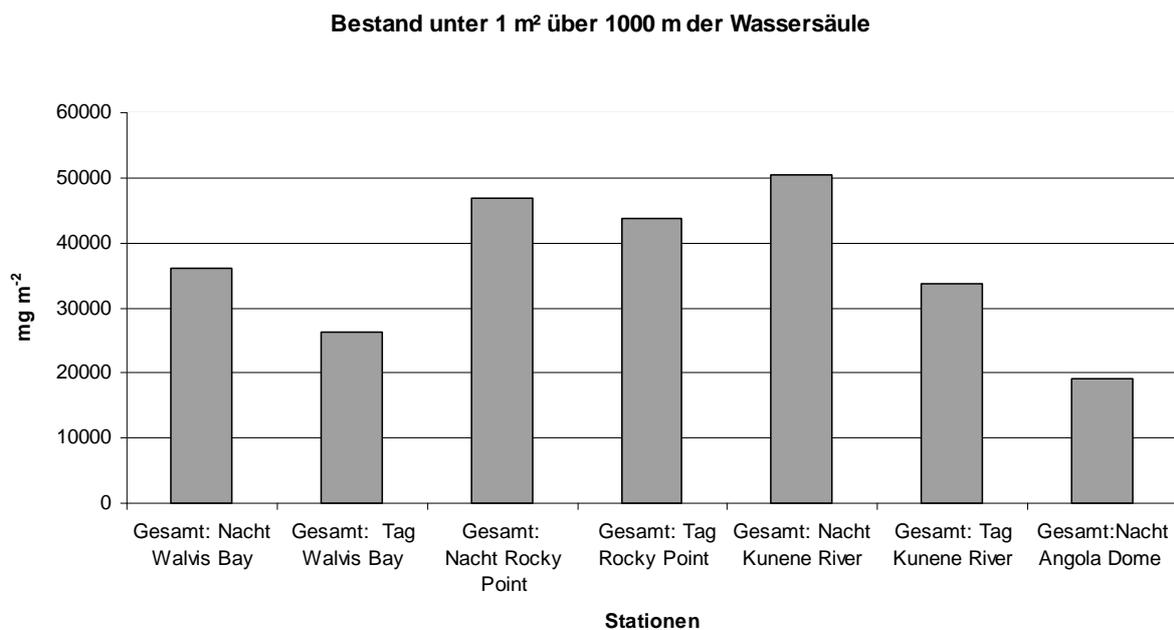


Abbildung 5. Biomassenbestände [mg m^{-2}] in 1000 m Wassersäule den Stationen: Walvis Bay (Nacht/Tag), Rocky Point (Nacht/Tag), Kunene River (Nacht/Tag) und Angola Dome (Nacht).

3.1.2 Tiefenvergleich der Zooplanktonkonzentrationen an den Stationen Walvis Bay und Angola Dome

Beim Vergleich der Biomasse [$\text{mg } 1000 \text{ m}^{-3}$] in den einzelnen Tiefenstufen konnte für die Station Walvis Bay in allen Tiefen eine höhere Konzentration festgestellt werden als an der oligotrophen Station Angola Dome (Abb. 6). In den Bereichen nah an der Oberfläche (0-25 m) war die Konzentration an Zooplankton bei Walvis Bay mit $373\,384 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$ fast doppelt so hoch wie am Angola Dome mit $197\,396 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$. In dem darauf folgendem Tiefenabschnitt (25-50 m) war die Konzentration ($201\,149 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$) sogar fast dreimal höher ($74\,123 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$). An beiden Stationen war eine Abnahme der Zooplanktonkonzentration mit zunehmender Tiefe zu beobachten. Allerdings konnte bei Walvis Bay in 50-100 m Tiefe ($47\,268 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$) eine geringere Konzentration festgestellt werden als in der Tiefe 100-200 m ($57\,633 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$). In 600-800 m ($15\,565 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$) Tiefe war die Konzentration geringer als in 800-1000 m Tiefe ($16\,020 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$). Auch am Angola Dome war eine Abweichung festzustellen, so war die Konzentration in 400-600 m Tiefe ($6\,564 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$) geringer als in 600-800 m Tiefe ($16\,255 \text{ mg } 1000 \text{ m}^{-3}$).

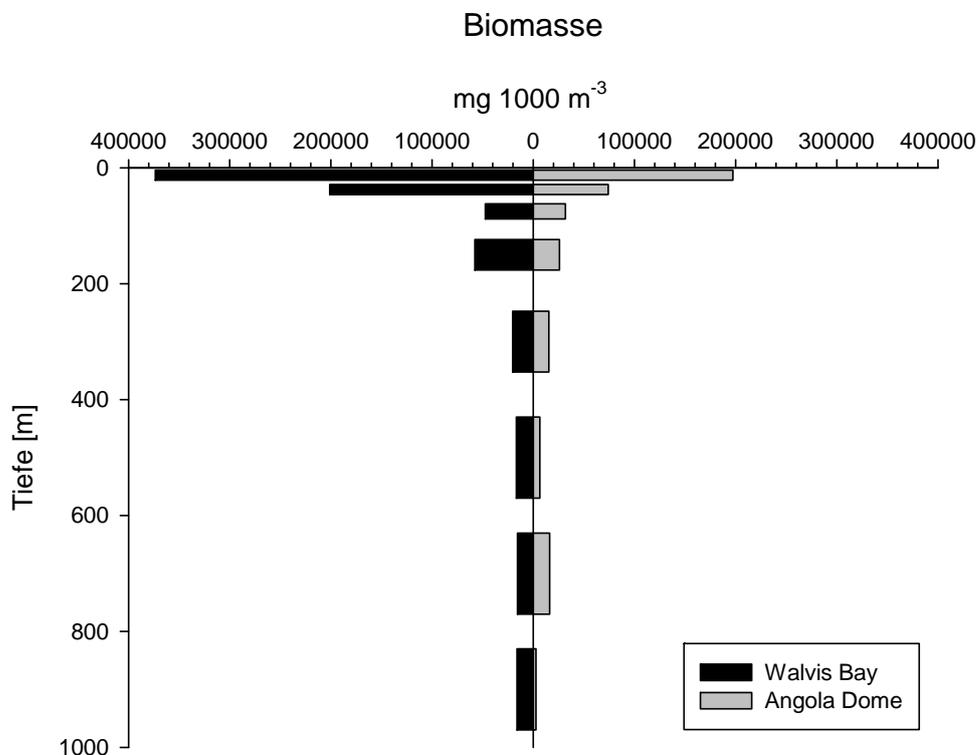


Abbildung 6. Zooplanktonkonzentration [$\text{mg } 1000 \text{ m}^{-3}$] in den einzelnen Tiefen der Stationen Walvis Bay und Angola Dome

3.2 Faunistischer Vergleich der Stationen Walvis Bay und Angola Dome im vertikalen Schnitt

Der faunistische Vergleich der beiden Gebiete (Walvis Bay und Angola Dome) zeigte, dass es Unterschiede in der Gesamtindividuenanzahl in den einzelnen Tiefen gibt sowie unterschiedliche Anzahlen der Großgruppen Crustacea, gelatinöse und semigelatinöse Organismen (Abb. 7a-d).

Wie beim Biomassebestand und der Biomassekonzentration in den einzelnen Tiefen, war der Bestand der Gesamtindividuen vor Walvis Bay ($46\,599 \text{ Ind. m}^{-2}$) höher als an der Station Angola Dome ($33\,249 \text{ Ind. m}^{-2}$; Abb. 7a). In den Tiefen 0-25 m und 25-50 m waren jedoch die Individuenkonzentrationen am Angola Dome erhöht: zwischen 0-25 m wurde am Angola Dome mit $519\,692 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$ sogar mehr als die vierfache Konzentration wie vor Walvis Bay festgestellt. In diesem Punkt unterschieden sich die Biomasse der Gesamtindividuen mit der Konzentration in den einzelnen Tiefen. An der Station Angola Dome nahm die Individuenkonzentration mit zunehmender Tiefe stetig bis auf $4\,692 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$ in 800-1000 m Tiefe ab. An der Station Walvis Bay wurden an der Oberfläche $111\,086 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$ gefunden. Zwischen der Tiefe 25-50 m stieg die Individuenkonzentration auf mehr als das Doppelte ($298\,186 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$) an. Anschließend sank die Individuenkonzentration zunächst bis auf $25\,104 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$ in 100-200 m ab. Der absinkende Trend wurde in den Tiefen 400-600 m unterbrochen, jedoch konnte in 800-1000 m die geringste Individuenkonzentration mit $4\,702 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$ beobachtet werden.

In der Großgruppe der Crustacea (Abb. 7b) war ein ähnliches Bild wie bei den Gesamtindividuen zu erkennen. Zwischen 0-25 m war die Konzentration der Crustacea am Angola Dome ($476\,835 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$) ca. 5-mal höher als vor Walvis Bay ($85\,686 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$). Der weitere Tiefenverlauf der Crustacea reflektierte an beiden Stationen das Muster der Gesamtindividuen auf etwas niedrigerem Niveau.

Der gelatinöse Anteil des Zooplanktons überwiegte an der Station Walvis Bay in allen Tiefen der Station Angola Dome (Abb. 7c). Am Angola Dome wurden zwischen 0 und 25 m noch $571 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$ beobachtet. Unterhalb dieser Tiefe lag die Konzentration der gelatinösen Organismen unter $10 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$. Zwischen 25 und 100 m wurden keine Tiere gefangen. An der Station Walvis Bay konnte in allen Tiefen eine höhere Konzentration gelatinöser Organismen mit höchster Konzentration von $2\,430 \text{ Ind. } 1000 \text{ m}^{-3}$ zwischen 25 und 50 m Tiefe festgestellt werden.

Bei der Großgruppe der semigelatinösen Organismen war an der Station Angola Dome eine Abnahme der Individuenkonzentration mit zunehmender Tiefe zu beobachten (Abb. 7d). Die einzige Ausnahme bildete hier der Tiefenabschnitt 400-600 m, der mit 158 Ind. 1000 m^{-3} nur etwa die Hälfte der Individuenkonzentration aufwies wie der Tiefenabschnitt 600-800 m. Auch die Station Walvis Bay zeigte einen Trend sinkender Individuenkonzentrationen mit zunehmender Tiefe und eine höhere Individuenkonzentration als am Angola Dome. Hier waren allerdings mehrere Abweichungen zu erkennen. Deutlich wurde dies vor allem in der Tiefe 0-25 m, die mit einer Individuenkonzentration von 22 728 Ind. 1000 m^{-3} nicht nur weniger Tiere als der Tiefenabschnitt 25-50 m aufwies (37 325 Ind. 1000 m^{-3}), sondern auch eine geringere Konzentration als am Angola Dome zeigte (34 967 Ind. 1000 m^{-3}). Auch beim Tiefenabschnitt 50-100 m konnte am Angola Dome mit 10 446 Ind. 1000 m^{-3} eine höhere Konzentration an semigelatinösen Individuen beobachtet werden als vor Walvis Bay (7 158 Ind. 1000 m^{-3}).

Insgesamt zeigte sich, dass die Individuenkonzentration an der Walvis Bay Station generell höher ist. Insbesondere der Anteil gelatinöser Organismen ist dabei hervorzuheben, die an der Angola Dome Station von untergeordneter Rolle waren.

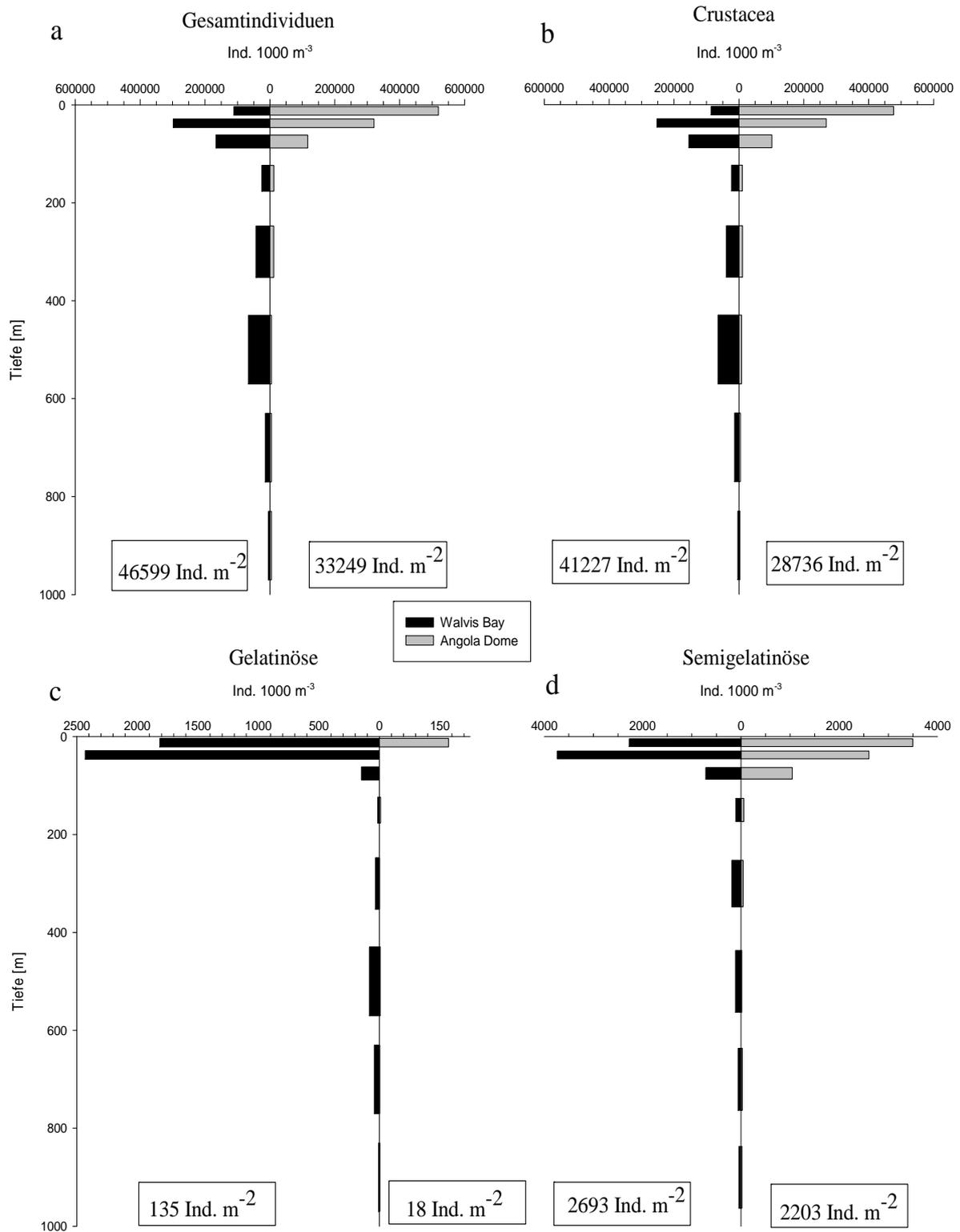


Abbildung 7a-d. Individuenkonzentrationen/Gruppen in den einzelnen Tiefen an den Stationen Walvis Bay und Station Angola Dome. a. Gesamtindividuen Anzahl, b. Crustacea Anteil, c. Gelatinöse Individuen, d. Semigelatinöse Individuen .

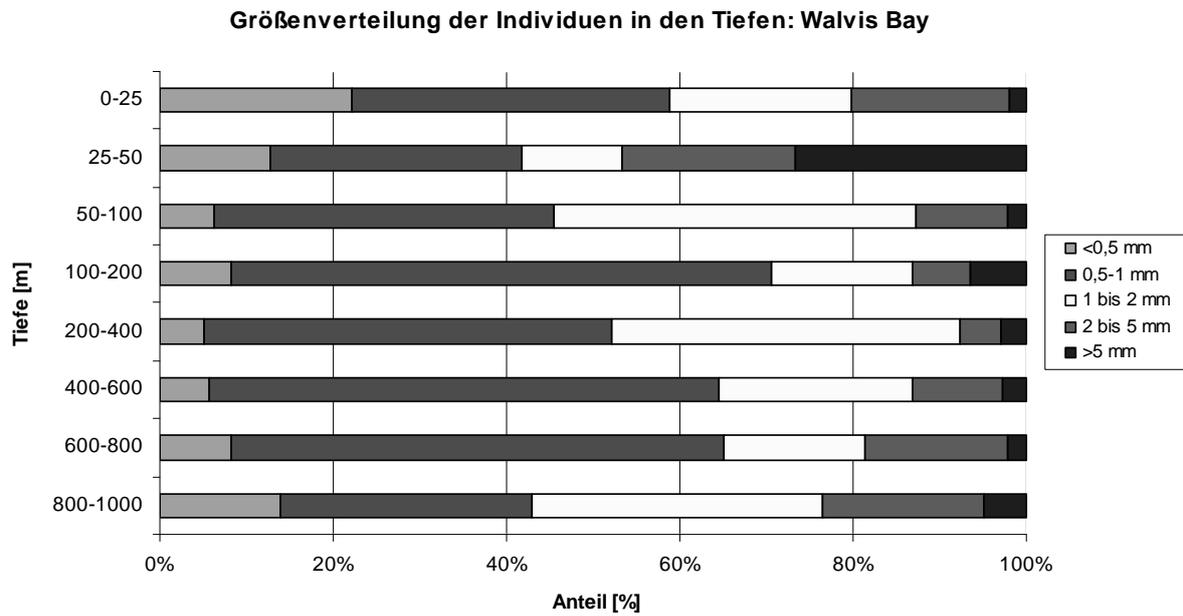
3.3. Vergleich der Größenverteilung des Zooplanktons an den Stationen Walvis Bay und Angola Dome

3.3.1 Siebfraktionen

Auch beim Vergleich der Größenverteilung (relativer Anteil der Individuenkonzentration) in den einzelnen Tiefenstufen konnten zwischen der Station vor Walvis Bay und der Station am Angola Dome Unterschiede festgestellt werden (Abb. 8a-b.). Die Station vor Walvis Bay (Abb. 8a) wurde in der Regel von der Größenfraktion 0,5-1 mm dominiert. In der Tiefe 100-200 m lag der Anteil von Individuen mit dieser Größe bei 67% (detaillierte Tabelle siehe Anhang, Tab. A7). Nur in der Tiefe 50-100 m und 800-1000 m dominierte die Größenfraktion 1-2 mm mit 43% bzw. 35%. Der Anteil der kleinsten Größenfraktion <0,5 mm nahm mit zunehmender Tiefe von 23% bei 0-25 m bis in 200-400 m zunächst auf 5% ab, um dann wieder bis zur Tiefe 800-1000 m auf 15% anzusteigen. Einzige Ausnahme bildete hier die Tiefe 100-200 m, die diesem Trend mit 9% nicht folgte. Bei den andern Größenfraktionen war leider kein eindeutiger Trend zu erkennen. So hatte die Größenfraktion 2-5 mm bei der Tiefe 25-50 m einen Anteil von 27% und bei der Tiefe 200-400 m nur einen Anteil von 5%, wobei die Tiefe 800-1000 m und 0-25 m einen Anteil von 19% hatten.

An der Station Angola Dome (Abb. 8b) waren die Größenfraktionen sehr variabel. Allerdings dominierten auch hier die Fraktionen 0,5-1 mm und 1-2 mm. Die größte Fluktuation wies die Größe <0,5 auf. Diese stieg und fiel abwechselnd in ihren Anteilen. Am deutlichsten wurde dieser Unterschied zwischen den Tiefen 600-800 m und 800-1000 m, hier stieg der Anteil der <0,5 mm Größenfraktion mit der Tiefe von 1% auf 47%. Auch die Größe 1-2 mm zeigte ein ähnliches Bild nur waren hier die Unterschiede nicht ganz so groß. Die geringsten Schwankungen konnten, ähnlich wie bei Walvis Bay, in der Fraktion 0,5-1 mm festgestellt werden. So schwankten sie meist zwischen 31% (800-1000 m) und 60% (200-400 m), nur in der Tiefe 400-600 m war mit 9% ein Ausreißer zu beobachten.

a



b

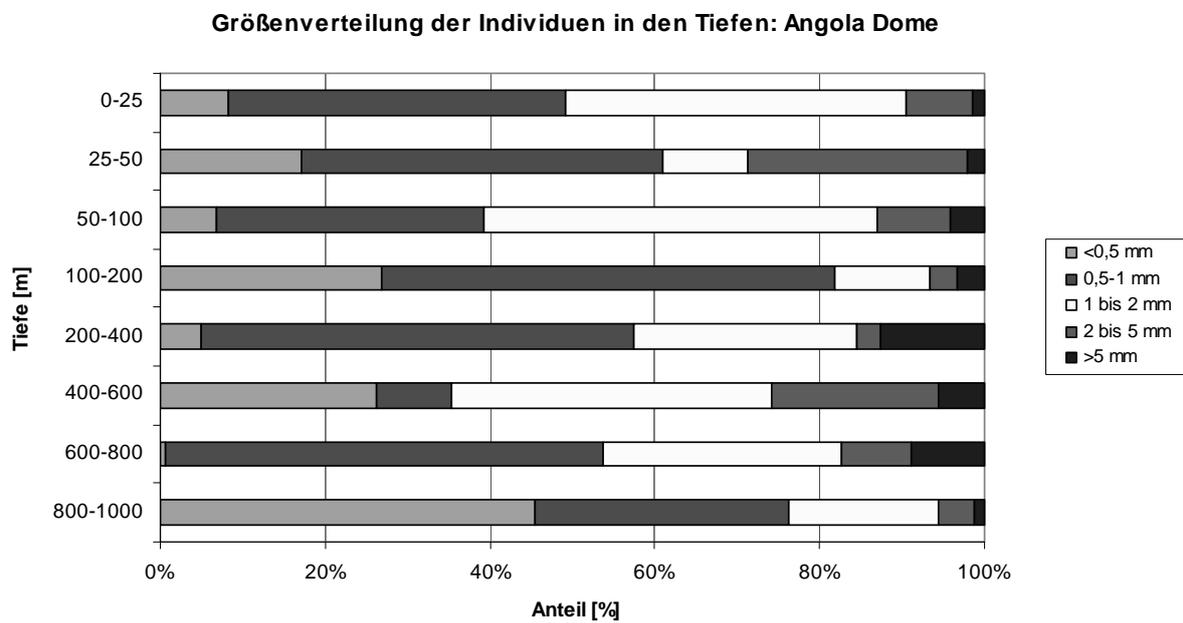


Abbildung 8a-b. Relative Größenverteilung des Zooplanktons (Individuenkonzentrationen) in den einzelnen Tiefenstufen. a: Walvis Bay , b: Angola Dome.

3.3.2 Automatische Erfassung mit dem Zooplankton-Scanner

Die Körperlänge des Zooplanktons wurde exemplarisch für die Copepoda Calanoida für die einzelnen Siebfractionen mit Hilfe des Zooplankton-Scanners ermittelt. Die Calanoida der Siebfraction $<0,5$ mm hatten an den Stationen Walvis Bay und Angola Dome eine mittlere Länge um $1000 \mu\text{m}$ (Abb. 9a, Tab. 4). Nur am Angola Dome gab es in der Tiefe 400-600 m einen Ausreißer, hier war der Mittelwert mit $2723 \mu\text{m}$ mehr als doppelt so hoch; die Werte streuten zwischen 895 - $6375 \mu\text{m}$ mit einer Standardabweichung von $998 \mu\text{m}$. Aufgrund dieser hohen Werte wurde hier ein Methodenfehler vermutet, welcher z.B. durch falsche Beschriftung der Größenfraktionen ausgelöst werden konnte. In den anderen Tiefen lag die Standardabweichung an beiden Stationen in der Regel um $200 \mu\text{m}$. Auffallend war, dass besonders die maximalen Werte stark streuten. In der Regel lagen die Werte an beiden Stationen zwischen 1500 und $3000 \mu\text{m}$. Die minimalen Werte zeigten an beiden Stationen moderate Schwankungen und lagen zwischen 300 - $600 \mu\text{m}$.

In der Größenfraktion $0,5$ - 1 mm (Abb. 9b) lagen die Mittelwerte der Station Walvis Bay alle um 1350 - $1480 \mu\text{m}$. An der Station Angola Dome streuten die Mittelwerte stärker (von $1123 \mu\text{m}$ in 400 - 600 bis $1535 \mu\text{m}$ in 800 - 1000 m). Die Standardabweichung lag bei fast allen Datenpunkten zwischen 200 und $350 \mu\text{m}$. Die höchste Standardabweichung mit $393 \mu\text{m}$ wurde an der Station Angola Dome (100 - 200 m) beobachtet, während die geringste Standardabweichung mit $204 \mu\text{m}$ an der Walvis Bay Station in 400 - 600 m zu beobachten war. Für die maximalen Werte zeigte sich ein ähnliches Bild wie bei der Größenfraktion $<0,5$ mm, auch hier streuten die Werte sehr stark. Sie lagen zwischen $617 \mu\text{m}$ (400 - 600 m, Angola Dome) und den sehr hohen Werten von $4536 \mu\text{m}$ (100 - 200 m, Angola Dome) und 4596 (25 - 50 m, Walvis Bay). Die Minima lagen an beiden Stationen zwischen 550 und $800 \mu\text{m}$.

Die meisten Mittelwerte für die Größenfraktion 1 - 2 mm (Abb.9c) erstreckten sich an der Station Walvis Bay von ca. 1800 - $2500 \mu\text{m}$, der höchste Mittelwert lag mit $2777 \mu\text{m}$ außerhalb dieser Werte. Die Mittelwerte an der Station Angola Dome wiesen insgesamt ein höheres Spektrum auf ($1035 \mu\text{m}$ in 0 - 25 m und $2317 \mu\text{m}$ in 800 - 1000 m), hatten aber keine extremen Ausreißer. Auch bei der Standardabweichung waren an der Station Walvis Bay mehr Extrema zu finden. Die meisten Datenpunkte von der Station Walvis Bay zeigten eine Standardabweichung von 350 - $650 \mu\text{m}$, jedoch fällt besonders der Tiefenabschnitt 600 - 800 m mit einer Standardabweichung von $1539 \mu\text{m}$ auf. Aber auch in den Tiefen 100 - 200 m ($903 \mu\text{m}$) und 800 - 1000 m ($831 \mu\text{m}$) traten an der Station Walvis Bay hohe Standardabweichungen auf. Am Angola Dome waren die Standardabweichungen insgesamt

höher und bewegten sich in den meisten Fällen zwischen 600-800 μm . Eine hohe Standardabweichung von 1959 μm konnte in 0-25 m Tiefe μm festgestellt werden. In 200-400 m und 400-600 m konnten mit 485 und 331 μm die geringsten Standardabweichungen an der Station Angola Dome beobachtet werden. Die maximalen Werte lagen in der Regel zwischen 3000 und 6000 μm an beiden Stationen. An der Station Walvis Bay war der höchste Wert mit 12569 μm in 600-800 m zu beobachten. Die Station Angola Dome hatte den höchsten Datenpunkt in 0-25 m Tiefe mit 9117 μm . An beiden Stationen waren die Schwankungen in den minimalen Werten wieder eher gering und befanden sich in der Regel zwischen 400 und 800 μm . Zwei höhere Werte konnten an der Station Walvis Bay mit 902 μm (100-200 m) und 1060 μm (600-800 m) festgestellt werden, während an der Station Angola Dome nur ein höherer Wert mit 992 μm (800-1000 m) ermittelt werden konnte.

Der Mittelwert der Größenfraktion 2-5 mm (Abb. 9d) lag an der Station Walvis Bay zwischen 1675 μm (0-25 m) und 3746 μm (600-800 m). Die Station Angola Dome hatte ein breiteres Spektrum im Mittelwert, die Werte lagen zwischen 776 μm (0-25 m) und 3243 μm (100-200 m), während sich die meisten Werte zwischen 1500 und 3000 μm bewegten. Die Standardabweichung variierte an beiden Stationen. So lagen an der Station Walvis Bay die Werte zwischen 703 μm (0-25 m) und dem sehr hohen Wert von 2356 μm (400-600 m), auch in 200-400 m wurde eine ähnlich hohe Standardabweichung von 2345 μm festgestellt. An der Station Angola Dome lagen die Standardabweichungen zwischen 685 μm (400-600 m) und dem insgesamt höchsten ermittelten Wert in dieser Größenfraktion von 3243 μm (100-200 m). Weitere Werte bewegten sich in dem Intervall von 1200 und 2000 μm . Die maximalen Werte waren wieder hohen Streuungen ausgesetzt und betragen an der Station Walvis Bay 7303 μm (600-800 m) bis 19134 μm (400-600 m). An der Station Angola Dome lagen die maximalen Werte sogar zwischen 4566 μm (400-600 m) und 23053 μm (600-800 m). Die minimalen Werte waren, wie bei den anderen Größenfraktionen an beiden Stationen, wenig Streuung ausgesetzt und bewegten sich zwischen 500-1000 μm .

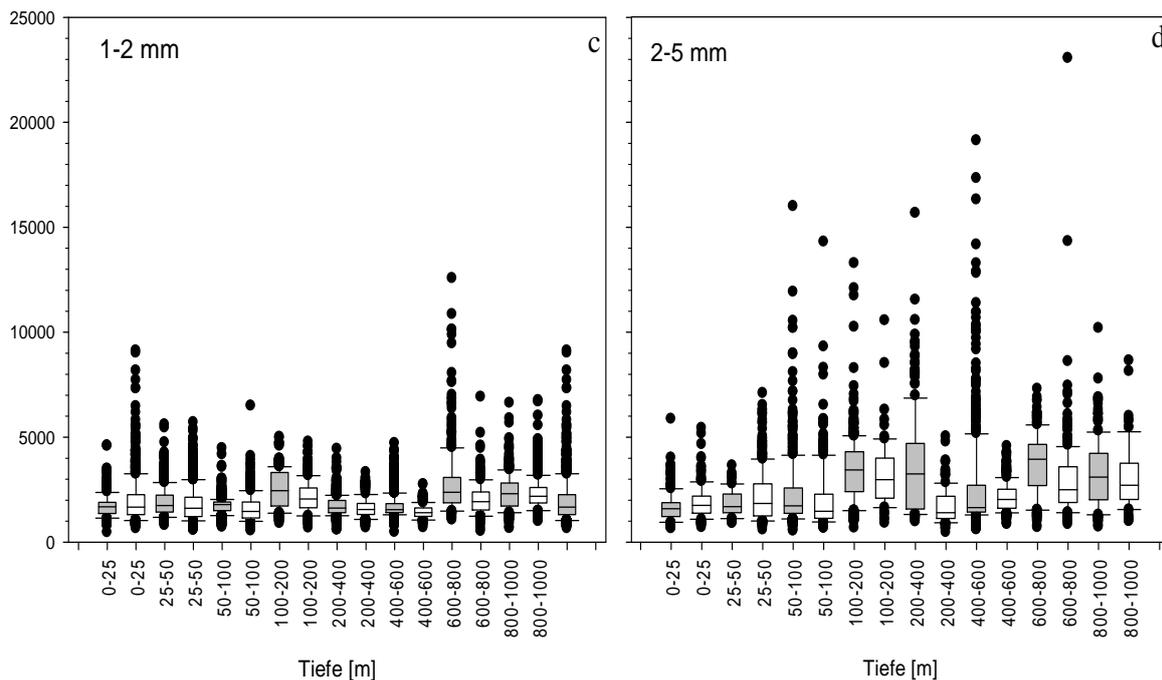
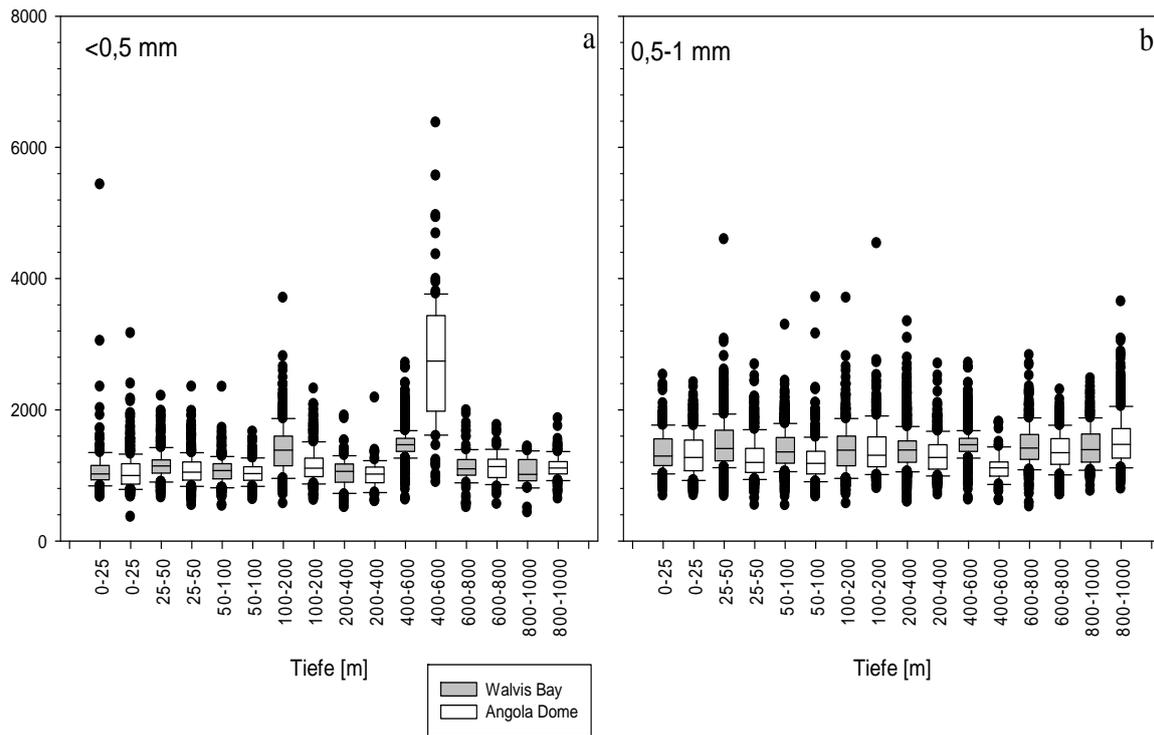


Abbildung 9a-d. Vergleich der Größenverteilung [μm] der Calanoida an der Station Walvis Bay und Angola Dome. a. Größenfraktion <math><0,5\text{ mm}</math>, b. Größenfraktion $0,5-1\text{ mm}$, c. $1-2\text{ mm}$, d. $2-5\text{ mm}$. Erklärung zu den Symbolen. Das obere Ende des Rechteckes beschreibt die 75% Quantile, das untere Ende die 25% Quantile, Der Strich in dem Rechteck beschreibt den Mittelwert. Die Whiskers (Error Balken) zeigen 90% bzw. 10% Perzentile. Die Punkte stellen die Datenpunkte die außerhalb der 10 und 90% Perzentile liegen dar.

Tabelle 4. Standardabweichung [μm] in der Größenverteilung der Calanoida an den Stationen Walvis Bay und Angola Dome.

Walvis Bay	<0,5 mm	0,5-1 mm	1-2 mm	2-5 mm
0-25 m	431	298	546	703
25-50 m	228	356	688	631
50-100 m	207	291	346,998	1612
100-200 m	307	375	904	1521
200-400 m	242	296	421	2345
400-600 m	237	204	496	2356
600-800 m	261	328	1539	1419
800-1000 m	229	316	831	1588

Angola Dome	<0,5 mm	0,5-1 mm	1-2 mm	2-5 mm
0-25 m	273	325	1960	1905
25-50 m	224	307	808	1210
50-100 m	170	319	665	1553
100-200 m	273	393	753	1643
200-400 m	223	284	485	850
400-600 m	998	236	331	685
600-800 m	234	284	766	1985
800-1000 m	178	384	770	1477

3.4. Vergleich der Quantifizierung des Zooplanktons mit dem Zooplanktonscanner und mittels der manuellen optischer Erfassung

3.4.1 Fehlerquote Zooplanktonscanner gegenüber manueller Methode

Bei den Gesamtindividuen (inkl. Exuvien; (Abb. 10a) konnte generell festgestellt werden, dass die Tiefe im Gegensatz zu den Größenfraktionen an der Station Walvis Bay kaum einen Einfluss auf die Fehlerquote hatten. Für die Fehlerquote wurde die Zählerergebnisse als Basis genommen. Kleine Größen wurden vom Scanner eher überschätzt (+), während große Größen

dazu neigten unterschätzt (-) zu werden. So ergab sich eine maximale Überschätzung von +60% in der Größenfraktion <0,5 mm in 50-100 m Tiefe und eine maximale Unterschätzung von -60% bei der Größenfraktion 2-5 mm ebenfalls in der Tiefe von 50-100 m. Die Größen zwischen 0,5-2 mm wiesen eine moderate Fehlerquote auf, die sich zwischen -20 und +20% bewegte.

Die Fehlerquote für die Calanoida (Abb. 10b) war im Vergleich zu den anderen untersuchten Taxa am geringsten. Kleine Größen wurden wieder eher überschätzt (ein Maximum bei 400-600 m mit etwa +40%) und große Größen eher unterschätzt (Minima in verschiedenen Tiefen von bis zu -40%). Auch hier war wieder zu erkennen, dass die Größen zwischen 0,5 mm und 2 mm die geringsten Fehlerquoten aufwiesen (zwischen -20 und 0%).

Bei dem Taxon Cyclopoida (Abb. 10c) war das Bild durchwachsen. Die kleinen Größenfraktionen neigten wieder zu einer Überschätzung, doch fanden sich in der Größenfraktion 2-5 mm neben zwei Minima auch ein Maximum von +50%. So stieg die Fehlerquote von etwa -50% in einer Tiefe von 0-25 m zunächst mit zunehmender Tiefe bis auf ca. +50% in 200-400 m an, um dann bis zur Tiefe von etwa 400-600 m auf ca. -80% zu sinken. Bei den Cyclopoida konnte auch nicht von einer moderaten Fehlerquote in den mittleren Größenfraktionen gesprochen werden, die Fehlerquote schien zunächst mit der Tiefe anzusteigen und bei etwa 400-600 m wieder zu sinken. Auffällig und von diesem Trend abweichend war eine maximale Abweichung von +125% zwischen gezählten und gescannten Tieren in der Größenfraktion 1-2 mm in 800-1000 m Tiefe.

Bei dem Taxon Ostracoda (Abb. 10d) war insgesamt eher eine Unterschätzung der Scanergebnisse festzustellen. Der einzige deutliche Ausreißer war in der Tiefe 800-1000 m und der Größenfraktion <0,5 mm zu sehen, wo die Fehlerquote bei ca. +400% lag. Eine leichte Erhöhung in der Fehlerquote von etwa +100% war auch in der Größenfraktion 2-5 mm auszumachen. Insgesamt lagen die Werte zwischen -100% und +100% mit wenigen Ausreißern.

Bei den Chaetognatha (Abb. 10e) war im Gegensatz zu den anderen Gruppen die höchste Überschätzung in der Größenfraktion 2-5 mm in der Tiefe 100-200 m mit einer Fehlerquote von ca. +300% auszumachen. Ein weiteres, jedoch kleineres Maximum, von ca. +100% fand sich bei der kleinsten Größenfraktion (<0,5 mm) in der Tiefe 600-800 m. An der Oberfläche war bei den Größen <0,5-2 mm eine Fehlerquote zwischen -100-0% auszumachen, welche in

den weiteren Tiefen absank und sich in der Tiefe 700 m wieder leicht erhöhte, um erneut zu sinken. Insgesamt befand sich die Fehlerquote in diesem Bereich zwischen -100 und +100%.

Bei den Exuvien (Abb. 10f) zeigte sich bei der Tiefe 100-200 m eine Überschätzung von ca. +600% über die gesamten Größenfraktionen verteilt. Diese extrem hohe Überschätzung sank zunächst wieder bis ca. 300 m Tiefe auf etwa +200% ab, um erneut in ein Maximum von ca. +800% in 600 m Tiefe bei der Größe 1-2 mm zu münden. In den folgenden Tiefen konnte in eine Unterschätzung bei allen Größenklassen auf bis zu -100% festgestellt werden.

An der Station Angola Dome konnten ebenfalls Unterschiede in den Fehlerquoten zwischen den dargestellten Gruppen erkannt werden (Abb. 11a-f). Die Fehlerquote bei der Gruppe der Gesamtindividuen (Abb. 11a) lag im Allgemeinen zwischen -50 und 0%. Jedoch war bei den Größen <0,5-1 ein ausgeprägtes Maximum bei der Tiefe 800-1000 m mit ca. +200% zuerkennen. Ein weiteres Maximum mit einer Fehlerquote von ca. +125% konnte ebenfalls bei der kleinsten Größenfraktion (<0,5 mm) in der Tiefe 25-50 m beobachtet werden. Ein Minimum von ca. -75% befand sich bei der größten untersuchten Größenfraktion (2-5 mm) in der Tiefe 200-400 m. In 400-600 m Tiefe war bei der Größe 0,5-1 mm ein Minimum von etwa -50% zu erkennen. Insgesamt zeigte sich aber auch bei den Gesamtindividuen der Station Angola Dome, dass kleine Größen in der Regel überschätzt und große Individuen eher unterschätzt wurden.

Bei den Calanoida (Abb. 11b) war bei der Fehlerquote ein ähnliches Bild zu erkennen wie bei den Gesamtindividuen. Insgesamt lag auch hier die Werte zwischen -50 und 0%. Es konnte ebenfalls von einer Überschätzung der kleinen Größen und einer Unterschätzung der großen Größen gesprochen werden. Eine max. Abweichung von +200% konnte auch in der Größenfraktion <0,5 mm in der Tiefe 400-600 m beobachtet werden. Ein weiteres, aber kleineres Maximum von ca. +100%, befand sich bei der Größenfraktion <0,5 in 800-1000 m Tiefe.

Die Fehlerquoten der Cyclopoida (Abb. 11c) schwankten zwischen -60 und 0%. Nur ein extremer Ausreißer von +2000% war bei der Größenfraktion <0,5 mm und in der Tiefe 600-800 m zu beobachten.

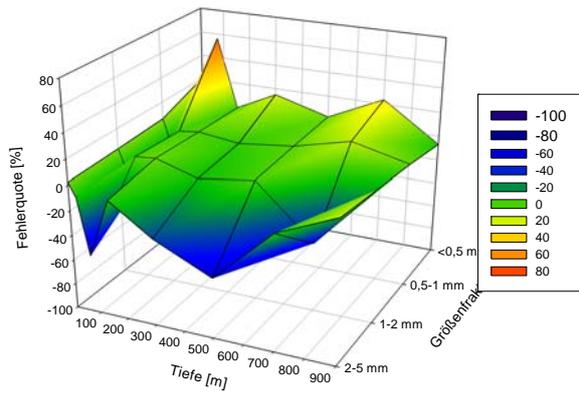
Bei den Ostracoda (Abb 11d) zeigt die Fehlerquote eher ein unstetiges Bild. Es kam zu einer Anhäufung von Maxima in den Tiefen 0-400 m und in den Größen <0,5 und 1 mm. Der höchste Wert von +150% wurde in 100 m Tiefe in der Größenfraktion <0,5 mm beobachtet. Ein weiteres Maximum war in der Größenfraktion 1-2 mm in der Tiefe 600-800 m mit ca.

+125% zu beobachten. Das ausgeprägteste Minimum mit ca. +80% lag hingegen in der Größenfraktion 2-5 mm bei der Tiefe 200-400 m.

Bei der Fehlerquote der Chaetognatha (Abb. 11e) war wieder zu erkennen, dass kleine Größen dazu neigten überschätzt zu werden, während die großen Größen unterschätzt wurden. Insgesamt lagen die Werte hier etwa zwischen -50 und +50%. Eine extreme Erhöhung mit +500% war in der Größenfraktion <0,5 in der Tiefe 50-100 m auszumachen, welche von einem zweiten schwächeren Maximum von +100% in der Tiefe 400-600 m gefolgt wurde. Ebenfalls bei 400-600 m war ein Minimum von -100%, in bei der Größenfraktion 2-5 mm zu erkennen. Die Fehlerquote bei der Ermittlung der Exuvien (Abb. 11f) schwankte zwischen 100-500 m Tiefe um 0%. Zwei Maxima waren in der Größenfraktion <0,5 auszumachen. Das eine Maximum mit +400% befand sich in der Tiefe zwischen 600-800 m. In dem Tiefenabschnitt 0-50 m war ein weiteres Maximum zu erkennen, welches sich über alle Größenfraktionen mit +200% erstreckte, allerdings konnte bei der Größenfraktion <0,5 eine Spitze von ca. +600% ausgemacht werden. Ausgeprägte Minima konnten nicht erkannt werden.

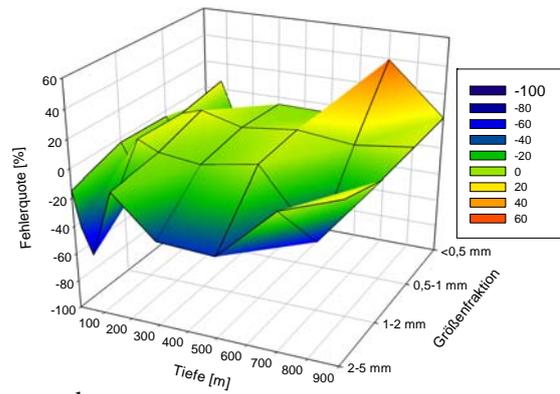
Neben den hier besprochen Gruppen ist anzumerken, dass gelatinöse Organismen, so weit sie vorhanden waren, in beiden Gebieten mit dem Scanner in der Regel nicht erkannt werden konnten und somit eine Fehlerquote von -100% aufwiesen.

Gesamtindividuen (inkl. Exuvien) Walvis Bay



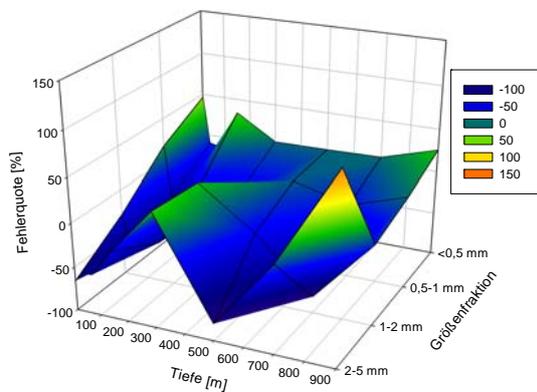
a

Calanoida Walvis Bay



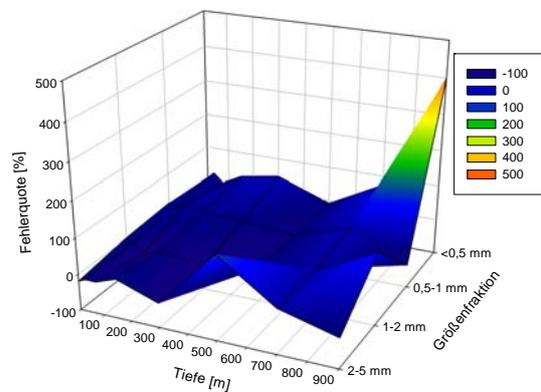
b

Cyclopoida Walvis Bay



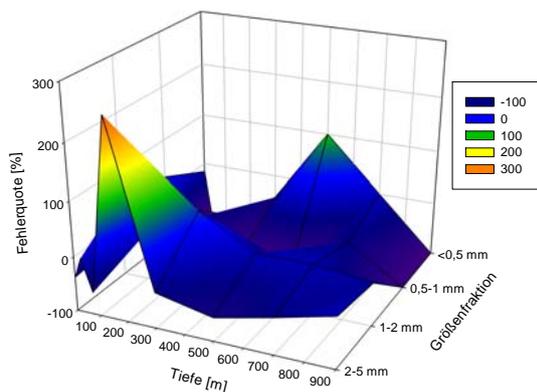
c

Ostracoda Walvis Bay



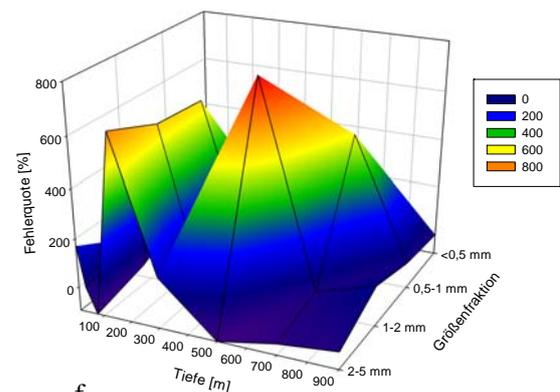
d

Chaetognatha Walvis Bay



e

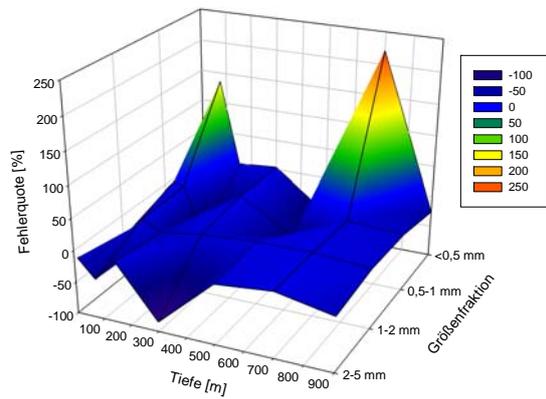
Exuvien Walvis Bay



f

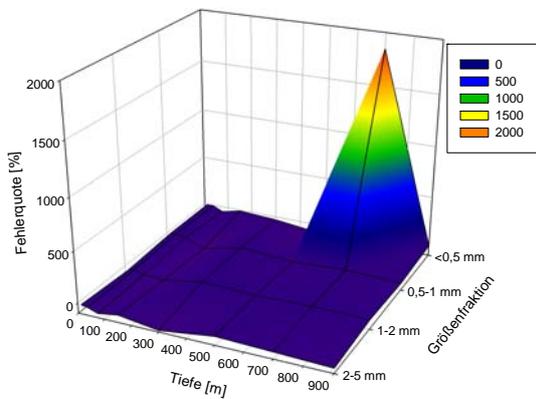
Abbildung 10 a-f. Fehlerquote der Zooplanktonscanner-Ergebnisse im Vergleich zur manuellen Erfassung (Basiswert) des Zooplanktons unter dem Binokular an der Station Walvis Bay. Negative Zahlen zeigen eine Unterschätzung und positive Zahlen eine Überschätzung der Scanner-Ergebnissen. a. Gesamtindividuen (inkl. Exuvien) b. Calanoida, c. Cyclopoida, d. Ostracoda, e. Chaetognatha, f. Exuvien.

Gesamtindividuen (inkl. Exuvien) Angola Dome



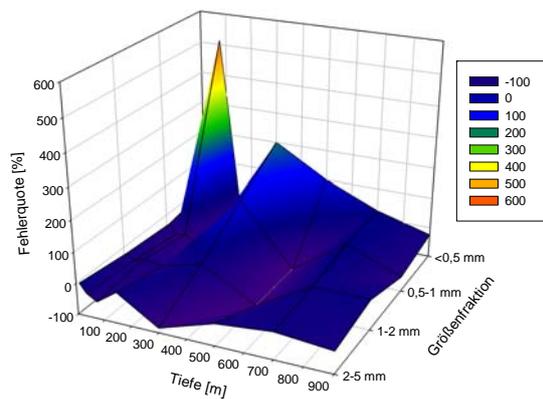
a

Cyclopoida Angola Dome



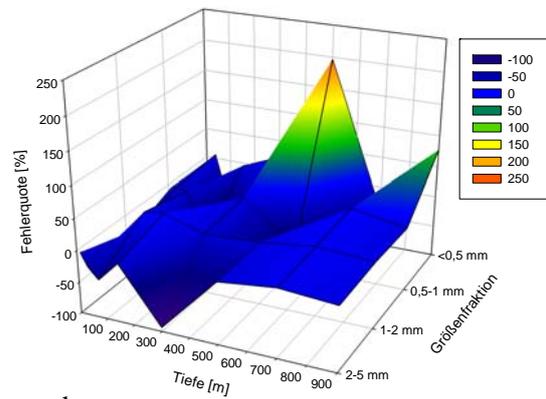
c

Chaetognatha Angola Dome



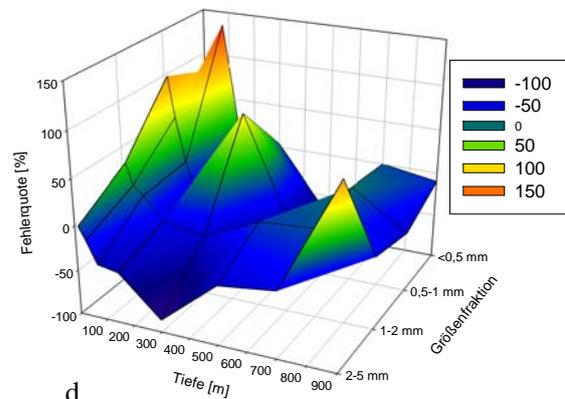
e

Calanoida Angola Dome



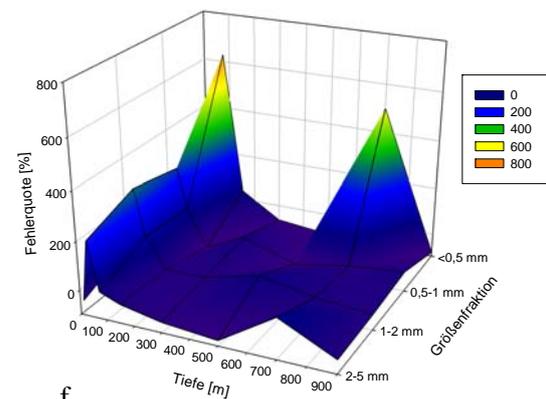
b

Ostracoda Angola Dome



d

Exuvien Angola Dome



f

Abbildung 11 a-f. Fehlerquote der Zooplanktonscanner-Ergebnisse im Vergleich zur manuellen Erfassung (Basiswert) des Zooplanktons unter dem Binokular an der Station Angola Dome. Negative Zahlen zeigen eine Unterschätzung und positive Zahlen eine Überschätzung der Scanner-Ergebnissen. a. Gesamtindividuen (inkl. Exuvien) b. Calanoida, c. Cyclopoida, d. Ostracoda, e. Chaetognatha, f. Exuvien.

3.4.2 Statistischer Vergleich: Zooplanktonscanner / manuelle Methode

Davon ausgehend, dass weder die Tiefe noch die Station einen Einfluss auf den Vergleich zwischen Zooplankton-Scanner und manueller Zählung haben, wurden die Werte zusammengefasst und verschiedene Größen und Organismengruppen hinsichtlich signifikanter Unterschiede getestet.

Der Wilcoxon-Test zeigte, dass in den meisten Fällen kein signifikanter Unterschied in den beiden Methoden zur Zooplanktonerfassung festzustellen war (Tab. 5). Bei den Exuvien war in allen Größenfraktionen kein signifikanter Unterschied nachzuweisen. Bei der Gruppe Calanoida wurde in der Größenfraktion 2-5 mm mit einem p-Wert von 0,028 ein signifikanter Unterschied deutlich, dies bestätigte auch die Fehlerquoten-Analyse (siehe 3.4.1). Auch bei der Gruppe der Cyclopoida konnte in der Größenfraktion 1-2 mm ein signifikanter Unterschied mit einem p-Wert von 0,003 festgestellt werden, dies wurde vor allem durch die Fehlerquote an der Station Walvis Bay widerspiegelt. Auch die Gruppe der Ostracoda zeigt in der Größenfraktion 2-5 mm einen signifikanten Unterschied (p-Wert: 0,027). Die Gruppe der Chaetognatha war die Einzige der untersuchten Gruppen, die gleich in zwei Größenfraktionen (0,5-1 mm und 2-5 mm) signifikante Unterschiede in den Methoden zeigte. Insgesamt zeigte die Analyse, dass die Größenfraktion <0,5 mm in allen untersuchten Gruppen keine Unterschiede in den Methoden zeigte. Dies lies sich leider nicht mit den Fehlerquoten bestätigen, da es in der Regel zu deutlichen Überschätzungen in dieser Größenfraktion kam. Allerdings zeigte die Analyse ebenfalls, dass in den Größenfraktionen 0,5-1 mm und 1-2 mm, mit Ausnahme der Chaetognatha und Cyclopoida keine Unterschiede auftraten. In der Größenklasse 2-5 mm konnte in allen Gruppen, mit Ausnahme der Cyclopoida und Exuvien, ein signifikanter Unterschied in der Methode festgestellt werden. Dies lies sich auch mit der Fehlerquote erklären, da hier generell eine Unterschätzung festzustellen war.

Tabelle 5. P-Werte des Wilcoxon-Test für den Vergleich der manuellen Erfassung des Zooplanktons mit der Zooscan-Methode. $p < 0,05$ bedeutet signifikanter Unterschied (in Fett).

Größe [mm]	Calanoida	Cyclopoida	Ostracoda	Chaetognatha	Exuvien
<0,5	0,756	0,670	0,232	0,101	0,798
0,5-1	0,469	0,140	0,088	0,007	0,816
1-2	0,255	0,003	0,466	0,101	0,379
2-5	0,028	0,125	0,027	0,026	0,393

Die genauen Werte zu allen Abbildungen und der Tabelle 4 im Ergebnis teil befinden sich im Anhang.

4. Diskussion

Ein Ziel dieser Arbeit war es die Biomassenbestände vor der südwestlichen afrikanischen Küste mit den Beständen anderer Regionen zu vergleichen. Im Detail wurde die ozeanisch geprägte, oligotrophe Station Angola Dome mit der vom Auftrieb beeinflussten Station Walvis Bay hinsichtlich der faunistischen Zusammensetzung und Größenverteilung verglichen. Für die Größenbestimmung der Calanoida wurden die Proben mit dem semiautomatisierten Zooplankton-Erkennungssystem ZooScan erfasst. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war diese Methode mit der klassischen manuellen Quantifizierung am Binokular zu vergleichen, um so die Eignung des ZooScan-Systems für Zooplankton aus Auftriebsgebieten zu überprüfen.

4.1 Die Biomassenbestände an den Stationen vor der Küste Namibias und Angolas im Vergleich mit anderen Regionen

Die Biomasse des Zooplanktons reflektiert in der Regel die Produktivität in den untersuchten Meeresgebieten (Kjørboe und Nielsen, 1994). In der Regel ist die Biomasse in den tropischen Zonen am niedrigsten (Gerlach, 1971), sehr niedrige Werte von 9 mg m^{-2} in 0-500 m wurden von Vinogradov (1968) im tropischen Pazifik bei $19^{\circ}57' \text{ N}$, $172^{\circ}37' \text{ O}$ gemessen (Abb. 12). Auch die Biomassenbestände an der Station am Marianengraben weisen laut Vinogradov

(1968) mit $8-11 \text{ mg m}^{-3}$ sehr niedrige Zooplanktonbestände in den oberen 500 m auf. Tropische und subtropische Gebiete können jedoch von der südlichen wie auch nördlichen Äquatorialströmung und besonders produktiven Auftriebsgebieten profitieren. Die Biomassen vor der Küste Namibias und Angolas sind alle höher als die Werte für den tropischen Pazifik. Die Station Angola Dome, welche sich außerhalb des Auftriebs befindet, hatte hierbei jedoch nur leicht erhöhte Werte gegenüber dem tropischen Pazifik. Sie ähneln den Werten des Nordostatlantik, welches ein gemäßigtes Gebiet mit saisonalen Fluktuationen ist (Koppelman, 1994). Die Stationen im oder am Auftriebsgebiet vor der südwestlichen afrikanischen Küste (Walvis Bay, Rocky Point und Kunene River) konnten hingegen eine bis zu doppelte Zooplanktonkonzentration gegenüber dem tropischen Pazifik aufweisen. Der Unterschied in Tages- und Nachtverteilung lässt sich durch die vertikale Migration von Zooplankton erklären (Banse, 1964). Organismen wandern während der Dunkelperiode in die oberen Schichten und sinken Tagsüber in tiefere Wasserschichten um ihre Nahrungsaufnahme zu optimieren und visueller Jagd zu entgehen (Banse, 1964; Ianson *et al.*, 2004). Die unterschiedlichen Bestände können durch ein von Ianson *et al.* (2004) beobachtetes Fluchtverhalten von Zooplanktonorganismen vor dem Planktonnetz am Tag erklärt werden.

Die Arabische See zeigte im Oktober eine ähnlich hohe Zooplanktonkonzentration wie die afrikanischen Gebiete (Koppelman *et al.*, 2003). Die Arabische See wird durch Monsunwinde beeinflusst (Vinogradov, 1968; Koppelman *et al.*, 2003), welches zu einer erhöhten Nährstoffzufuhr während des Südwest-Monsuns im Oktober führt und womit die erhöhten Werte im Oktober im westlichen und östlichen Teil der Arabische See erklärt werden können. Während des Intermonsuns im April wurde in der westlichen und zentralen Arabische See eine fünffach geringere Zooplanktonabundanz in den ersten 200 m festgestellt (Koppelman *et al.*, 2003; Luo *et al.*, 2000). Diese Messwerte widersprechen dem „Arabische See Paradox“ (Baars and Brummer 1995), welches besagt, dass es trotz hoher physikalischer Saisonalität (Rixen *et al.*, 1996; Weller *et al.*, 1998) und saisonaler primärer Produktion (Cushing 1973; Brock *et al.*, 1993) wenig Veränderung in der Biomassenkonzentration gibt (Madhupratap *et al.*, 1996a, 1996b; Baars and Osterhuis 1998; Wishner *et al.*, 1998; Baars 1999). Auch der Indische Ozean wird vom tropischen Monsun beeinflusst und zeigt daher jahreszeitliche Fluktuationen (Vinogradov, 1968). Das von Vinogradov (1968) untersuchte Gebiet des Indischen Ozeans schließt auch die Region um den Java Graben ein. Hier bewegt sich das Oberflächenwasser westlich und wird durch nährstoffreiches Wasser aus der Tiefe ersetzt, daher konnten hohe Biomassenkonzentrationen festgestellt werden. Ansonsten zeigt die Java Region eine typische tropische Planktonverteilung mit einer zu Beginn starken

Abnahme der Biomasse mit der Tiefe, welche sich ab 200 m verlangsamt und von einer logarithmisch geprägten Kurve zu eine linearen geprägten Kurve übergeht (Vinogradov, 1968).

Sehr hohe Konzentrationen konnten in der Region des Nordwestpazifiks am Kurile-Kamchatka Graben von Vinogradov (1968) nachgewiesen werden. Im Vergleich zum tropischen Pazifik konnte eine bis zu 10-fach höhere Konzentration und im Vergleich zum Auftriebsgebiet vor Namibia eine mehr als 4-fache Biomasse beobachtet werden. Das Gebiet um den Kurile-Kamchatka Graben liegt nördlich genug, um noch von kalten nährstoffreichen subarktischen Wasser und dem Oyashio Strom zu profitieren, der nährstoffreiches Wasser in die betrachtete Nordwestpazifik Region liefert (Vinogradov, 1968; Tomczak und Godfrey, 1994). Somit können subtropische und tropische Gewässer, die nicht vom subpolaren Wasser genährt werden, eine 10- bis 25-fach niedrigere Oberflächenzooplanktonbiomasse aufweisen als solche Gebiete, die Zugang zu subpolaren Wasser haben (Vinogradov, 1968). Dies wird im Gewässer des Kuroshio Stroms (ca. 30° N und 139° W), welcher sich 10° südlich zur Grenze zum subpolaren Oberflächenwasser befindet, deutlich, hier konnte eine 15- bis 20-fache niedrigere Konzentration als im Nordwestpazifik in den ersten 500 m nachgewiesen werden (Vinogradov, 1968).

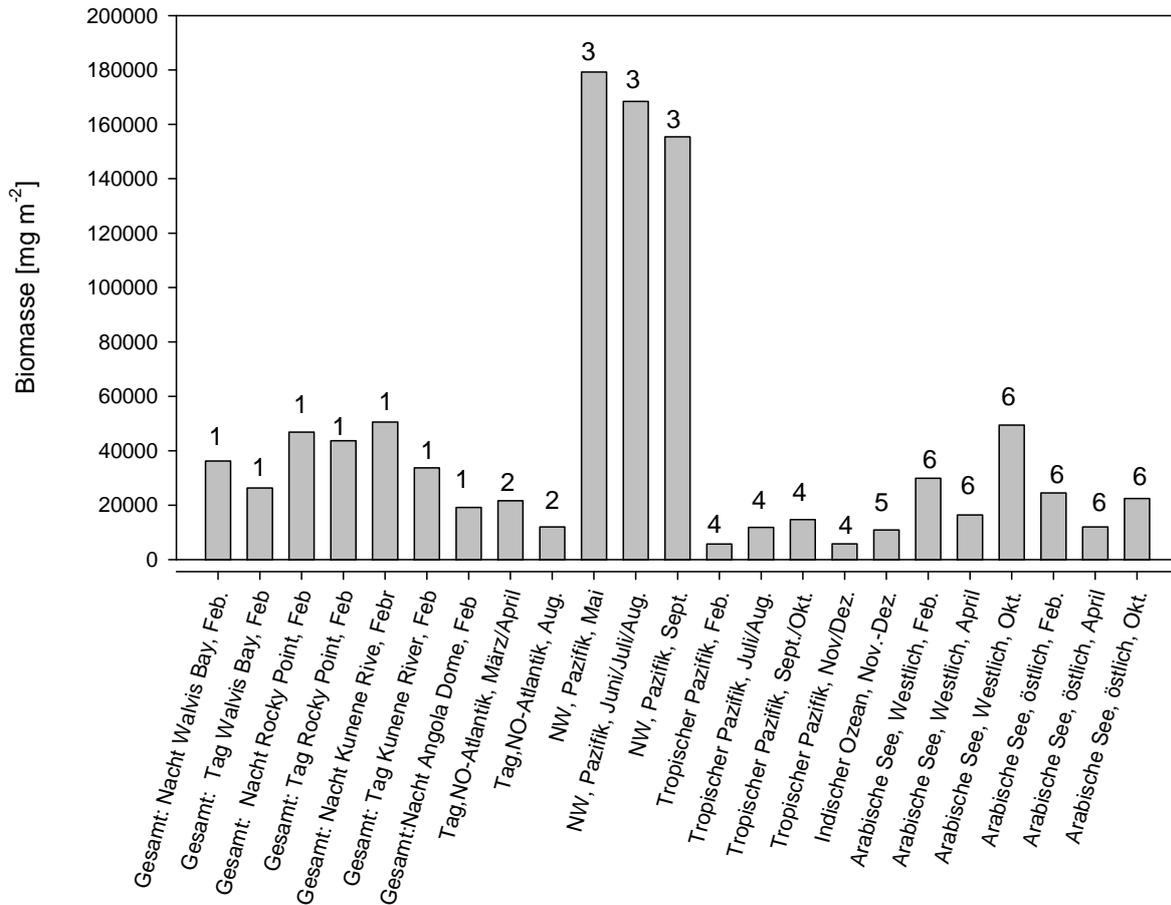


Abbildung 12. Biomassen Bestände in den oberen 1000/1050 m der Wassersäule vor der Küste Namibias und Angolas im Vergleich zu anderen Regionen.

1. In dieser Arbeit untersuchte Gebiete
2. 0-1050 m, 47° N, 20° W (Koppelman, 1994)
3. 0-1000 m, 43-46° N, 149-158° O (Vinogradov, 1968)
4. 0-1000 m, 30° S-30° N, 130° O-139° W (Vinogradov, 1968)
5. 0-1000 m, 30° S-10° N, 57-110° O (Vinogradov, 1968)
6. 0-1050 m, 14° N, 64° O (Koppelman *et al.*, 2003)

4.2 Abundanz und Zusammensetzung des Zooplanktons an den Walvis Bay und Angola Dome Stationen

Die Station Walvis Bay hatte im Februar 2011 eine Chlorophyll *a* Konzentration von 0,2 bis 0,3 mg m⁻³ (Abb. 13). Die Station Angola Dome liegt hingegen in einem Gebiet mit niedrigeren Konzentrationen, hier konnte eine Chlorophyll *a* Konzentration in einem Bereich von ca. 0,02 bis 0,2 mg m⁻³ festgestellt werden. Die höheren Werte von Walvis Bay in Relation zu Angola Dome können durch die Untersuchung von Olivar und Barangé (1990) bestätigt werden. Die Autoren stellten anhand der Phytoplanktonanalyse von Estrada und Marrasé (1987) fest, dass an der Station Walvis Bay die höchsten Chlorophyll *a* Konzentrationen im nördlichen Benguela Auftriebsgebiet beobachtet werden konnten. Zusätzlich können die höheren Konzentrationen an der Station Walvis Bay damit erklärt werden, dass sie vom Auftrieb und daraus entstehenden Filamenten profitieren. Dadurch ist die Nährstoffversorgung, welche für das Phytoplanktonwachstum wichtig ist, in dem Gebiet Walvis Bay intensiver als an der ozeanisch geprägten Station Angola Dome. Die Ergebnisse zu Zooplanktonbiomassenkonzentrationen spiegeln diesen Zusammenhang ebenfalls wieder. Somit kann daraus geschlossen werden, dass eine hohe Chlorophyllkonzentration ein Indiz für eine hohe Primärproduktion ist, was wiederum in eine hohe Sekundärproduktion mündet und in diesem Fall auch in einem hohen Bestand an Zooplankton endete. Auch Verheye *et al.* (1992) konnten einen Zusammenhang zwischen jährlichen Höhepunkten von Phytoplanktonkonzentrationen (Kollmer, 1962) mit Copepodenkonzentration an der Station Walvis Bay nachweisen. Diese hohen Planktonkonzentrationen münden in der Regel in einen großen Bestand der höheren trophischen Ebenen. Das Gebiet vor der Küste Namibias war schon immer durch Fischreichtum geprägt, auch wenn es in den letzten Dekaden zu Schwankungen in den Beständen kam, welche durch hohen Fischereidruck und Klimaveränderungen erzeugt wurden. Walvis Bay besitzt neben Lüderitz einen der wichtigsten Fischereihäfen Namibias. Die Fischindustrie wächst trotz der Veränderungen im Bestand weiter und zählt zu den wichtigsten Arbeitgebern der Region (Boyer und Hampton, 2001; Smith *et al.*, 2011).

Die Überlegenheit von Walvis Bay gegenüber Angola Dome in der Gesamtindividuenkonzentration kann allerdings für die ersten Meter der Wassersäule (0-25 m) nicht bestätigt werden. In diesem Tiefenabschnitt hat Angola Dome eine deutlich höhere Individuenkonzentration als Walvis Bay. Die große Diskrepanz zwischen den gemessenen Biomassen- und Individuenkonzentrationen konnten durch einen zunächst

vermuteten Methodenfehler (falsche Eingabe des Teilungsfaktors oder des filtrierten Volumens) nicht bestätigt werden. Weitere Erklärungen waren die hohe Anzahl von Siphonophora und Polychaeta, die nicht in der Individuenzählung berücksichtigt werden konnten. Jedoch konnte auch dieses nicht bestätigt werden und führte eher zur gegenteiligen Erkenntnis, da Walvis Bay nur einen Wert von 6 057 Teile 1000 m^{-3} Siphonophora und Polychaeta gegenüber 21 231 Teile 1000 m^{-3} am Angola Dome aufweisen konnte. Ein kleiner Faktor für die Dominanz am Angola Dome in der oberen Schicht von 0-25 m könnte die beobachtete Anzahl kleiner unbestimmte Eier sein, so hat Angola Dome alleine in der oberen Tiefe 6264 Eier 1000 m^{-3} aufzuweisen gegenüber 736 Eiern 1000 m^{-3} an der Station Walvis Bay.

Unter der Annahme, dass an der Station Walvis Bay in der Tiefe 0-25 m eher große und dem Angola Dome eher kleine Größenfraktionen vertreten sind, was die niedrigen bzw. hohen Werte am Angola Dome erklären würde, wurde die relative Größenverteilung in den einzelnen Tiefenabschnitten für beide Stationen analysiert. Die Größenfraktion 2-5 mm ist mit 19% an der Station Walvis Bay vertreten und hatte somit mehr als den doppelten relativen Wert wie am Angola Dome (8%). Gleichzeitig ist aber die kleinste Größenfraktion (<0,5 mm) bei Walvis Bay mit 23 % und am Angola Dome mit 8% vertreten. Somit konnte auch die Größenverteilung nicht die Diskrepanz zwischen der Biomassenkonzentration und der Individuenkonzentration an der Station Walvis Bay in 0-25 m Tiefe erklären. Abgesehen von den Diskrepanzen in den oberen Tiefenabschnitten an der Station Walvis Bay konnte im Vertikalschnitt, die generelle Abnahme der Individuenkonzentration mit zunehmender Tiefe beobachtet werden (Weikert und Koppelman, 1993). Dieser Trend kann auch durch Olivar und Barangé (1990) für den Walvis Bay Transekt bestätigt werden. Es konnte ein starker vertikaler Gradient in der Zooplanktonabundanz mit hohen Werten in den oberen Wasserschichten beobachtet werden.

Die Individuenkonzentration der Crustacea folgte in beiden Gebieten dem Verlauf der Gesamtindividuen. Dies lässt sich durch die hohe Abundanz an Copepoden erklären. Im Allgemeinen dominieren Copepoden die Zooplanktonpopulation vor der Küste Namibias. Nach Hansen *et al.* (2005) und Timonin (1990) machen Copepoden in der Regel mehr als 70% des gesamten Zooplanktons aus. Eine Studie von Verheye *et al.* (1992) zeigte das die maximale Dichte an Copepoden in den oberen Wasserschichten anzutreffen ist. Dies bestätigte die Verteilung der Individuenkonzentration der Crustacea an der Station Walvis

Bay in den ersten 0-25 m nicht, da sich hier das Muster der Gesamtindividuenkonzentration wiederholt.

Am Angola Dome waren gelatinösen Organismen nur in den ersten 25 m zu beobachten und spielen daher eine untergeordnete Rolle. Im Gegensatz dazu waren sie an der Station Walvis Bay in allen Tiefen anzutreffen und vor allem in den oberen Wasserschichten (0-50 m). Eine Erklärung warum in Walvis Bay gelatinöse Organismen eine höhere Abundanz einnehmen als am Angola Dome könnte das Auftreten von Auftriebsfilamenten sein. Solche Filamente transportieren organisches Material in Richtung offene See (Wroblewski, 1980). Dieses organische Material kann auch lebende gelatinöse und andere Organismen enthalten, welche im Auftriebsgebiet vor Namibia häufig sind (Lynam *et al.*, 2006; Utne-Palm *et al.*, 2010; Jung, 2010), die dann in höheren Abundanzen im Offshore-Bereich auftreten können. Flynn *et al.* (in press) konnte in seinen Untersuchungen beobachten, dass sich die Verteilung von gelatinösen Organismen und kommerziellen Fischen überlappt.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Station Walvis Bay sowohl in der Biomassenkonzentration als auch in der Individuenkonzentration höhere Werte aufweist als die Station Angola Dome. Ein einziger entscheidender Unterschied konnte in den ersten 25 m der Wassersäule an der Station Walvis Bay festgestellt werden. Leider konnte die Diskrepanz zwischen der hohen Biomassenkonzentration und der niedrigen Individuenkonzentration in den ersten 25 m an der Station Walvis Bay nicht eindeutig geklärt werden.

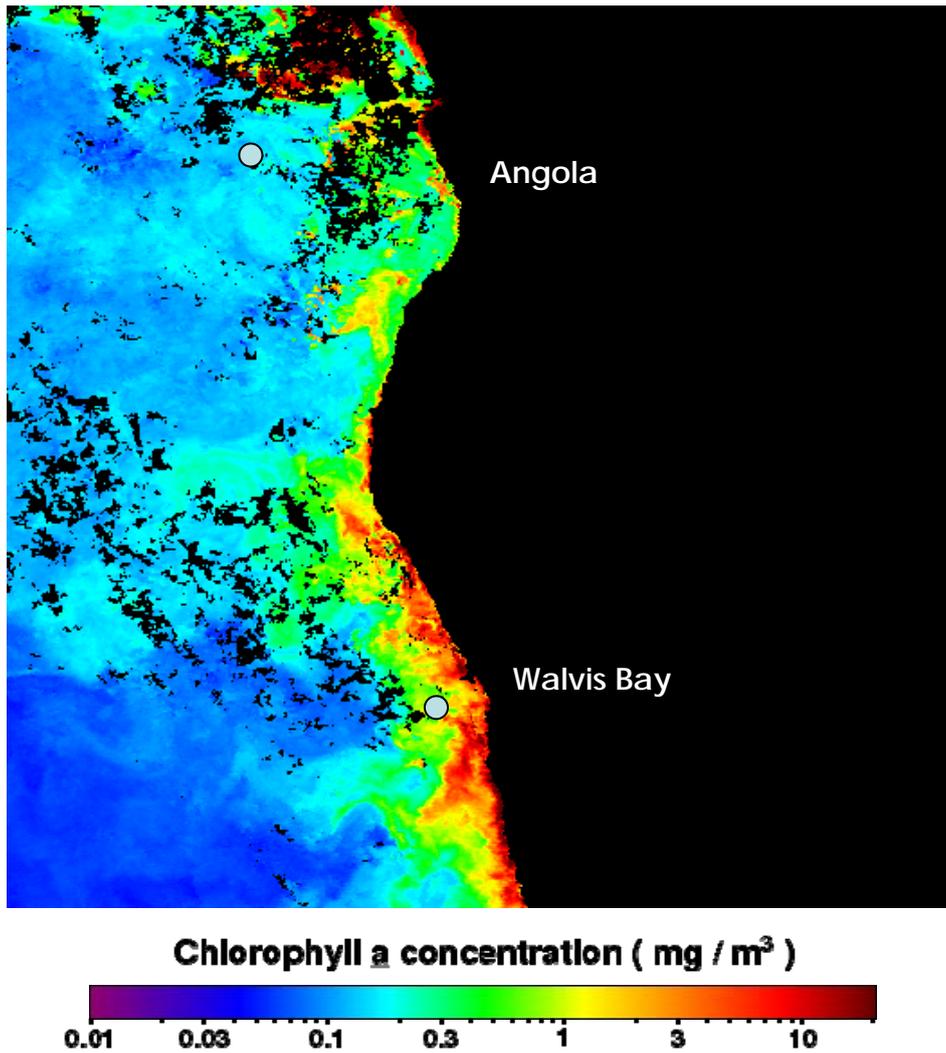


Abbildung 13. Aqua MODIS Chlorophyll a Daten im Gebiet vor Südwest- Afrika im Februar 2011 (Monatsmittel), 4 km Auflösung. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>

4.3 Messung der Körperlänge von Copepoda Calanoida

Zur Erfassung der Länge von Copepoda Calanoida wurden die Proben von den Stationen Walvis Bay und Angola Dome mit einem Zooplanktonscanner erfasst. Das Gerät erkennt Copepoden als Ellipse (Herman, 1992) und legt in die bestpassende Ellipse für das Objekt eine Primär- (Major) und Sekundärachse (Minor) fest (Gorsky *et al.*, 2009). Es konnte festgestellt werden, dass vor allem die kleinen Größenfraktionen (<0,5 mm und 0,5-1 mm) in der Regel im Mittelwert alle über der eigentlichen Größenfraktion lagen. Vor allem die kleinste Größenfraktion (<0,5 mm) war im Mittelwert immer über 1000 μm . Eine allgemeine Erklärung für die hohen Mittelwerte und einigen Ausreißer könnte sein, dass beim

Fraktionieren der Größen Organismen vor allem vertikal durch die Siebe gelangen und so eigentlich die Breite mit der Größenfraktion angegeben wird. Der extremste Ausreißer bei $<0,5$ mm ist der Mittelwert $2\,723\ \mu\text{m}$ am Angola Dome. Hier wurde davon ausgegangen, dass ein Methodenfehler vorliegt und die Probe nach dem Teilen eventuell mit der falschen Größenklasse beschriftet wurden ist. In der Studie von Gorsky *et al.* (2009) konnte festgestellt werden, dass die automatische Erfassung in der Regel die Copepoden größer darstellt als in der manuellen Vermessung. Besondere Ausreißer waren auch in der Größenfraktion 2-5 mm festzustellen, hier konnten Werte von bis zu $23\,053\ \mu\text{m}$ erreicht werden. Durch ein erneutes Kontrollieren der gescannten Bilder konnte leider keine Erklärung für diese extreme Größenmessung gefunden werden. Calanoide Copepoden besitzen in der Regel lange geschwungene Antennen, die bei bestimmter Lage des Organismus eine breitere Spannweite als die Körperlänge aufweisen können. Somit besteht die Möglichkeit, dass während der Analyse die Primärachse zwischen den Antennen gelegt wird und so die eigentliche Länge des Organismus überschätzt wird. Allerdings besteht diese Gefahr eher bei der Sekundärachse (Minor), welche in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurde. Daher können diese Ausreißer auch durch ein Hintergrundrauschen im Bild entstanden sein. Gorsky *et al.* (2010) konnte für Copepoden insgesamt gute Ergebnisse für die Größenanalyse mit dem ZooScan feststellen, es konnte eine lineare Beziehung zwischen manueller und automatischer Größenanalyse nachgewiesen werden. Leider konnten in dieser Untersuchung die Größen der Calanoida aus Zeitgründen nicht manuell erfasst werden, so dass ein Vergleich mit manuell erhobenen Größen nicht möglich ist, da der Schwerpunkt in dieser Untersuchung auf andere Bereiche gelegt wurde. Bei einem Schwerpunkt mit der genaueren Untersuchung der Größenanalyse des ZooScans würde ein wiederholtes Scannen derselben Proben Sinn machen, um die Reproduktion und Kontinuität des Systems zu überprüfen. Durch solch eine Versuchsreihe könnte das Fazit der Untersuchung von Gorsky *et al.* (2010) zu der Größenanalyse des ZooScans, welches als konstant, reproduktiv und effizient beschrieben wird, überprüft werden.

4.4 Fehlerquote des Zooplanktonscanner gegenüber der manuellen Methode und statistischer Vergleich der beiden Methoden

Neben der Bewertung der Messung der Größe der Calanoida mit dem Zooplanktonscanner sollte auch die Quantifizierung von Zooplankton im Vergleich zur manuellen optischen Methode betrachtet werden. Hierzu wurde eine Fehlerquote ermittelt, wobei die manuell erfassten Ergebnisse die Basis darstellten. Zusätzlich wurde ein Wilcoxon-Test durchgeführt, um signifikante Unterschiede in den beiden Methoden festzustellen.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass kleine Größen vom Scanner tendenziell überschätzt werden, während die großen Größen eher unterschätzt werden. In der Studie von Gislason und Silva (2009), welche ebenfalls die manuellen optischen Methode zur Zooplanktonerfassung mit den Ergebnissen des ZooScan-Systems verglichen hatte, konnten gegenteilige Ergebnisse in der Tendenz der Über- und Unterschätzung festgestellt werden. Die Autoren stellen fest das Calanoida <1 mm vom Scanner unterschätzt wurden und die anderen Größenklassen die Tendenz zeigten überschätzt zu werden. Grund hierfür könnte sein, dass in der Studie von Gislason und Silva (2009) die Calanoida im Learning Set in verschiedenen Größen vertreten waren (<1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm und >3mm). Zusätzlich wurde nicht ZooProcess sondern ZooImage als Analyse Tool benutzt. Auch Bell *et al.* (2008) widmeten sich in ihren Untersuchungen dem Vergleich der manuellen Methode mit der des Scanners. Auch in dieser Studie wurde ZooImage zur Analyse benutzt. Bell *et al.* (2008) konnten in ihren Untersuchungen feststellen, dass mittelgroße Copepoda am effektivsten erfasst werden konnten. Große und kleine Copepoda konnten schlechter erkannt werden. Dies deckt sich auch mit den Untersuchungen in meiner Arbeit, da mittelgroße Copepoda Calanoida die besten Ergebnisse erzielen konnten. Auch in der statistischen Untersuchung konnten in der Größenklasse 0,5-1 mm und 1-2 mm nur in den Taxa Chaetognatha bzw. Cyclopoida signifikante Unterschiede festgestellt werden. Gorsky *et al.* (2010) beobachteten, dass vor allem dominante Gruppen, wie Calanoida am besten vom Scanner erkannt werden, während weniger dominante Taxa, wie z.B. Appendicularia und Chaetognatha, die Tendenz zeigten überschätzt zu werden. Dies zeigte sich auch bei Gislason und Silva (2009), da in deren Studie auch bei den Chaetognatha eine Überschätzung festzustellen war. Dies konnte in der Regel auch in dieser Untersuchung bestätigt werden. Die Gruppe der Chaetognatha zeigte zum Teil mit bis zu 600% extreme Ausreißer. Ein Grund für die zum Teil hohe Überschätzung der Chaetognatha durch den Scanner könnte sein, dass kopflose kleine Chaetognatha leicht mit Fiber (z.B. Fussel) verwechselt werden können.

Das wichtigste Kriterium für eine erfolgreiche Analyse mit dem Zooplanktonscanner ist die Qualität des Learning Sets (Bell *et al.*, 2008; Gorsky *et al.*, 2010). Natürlich ist das Learning Set abhängig von der Diversität des zu untersuchenden Gebietes und dem taxonomischen Vorwissen des Benutzers (Bell *et al.*, 2008). So sollten alle Zooplanktonorganismen, die in dem untersuchten Gebiet vorkommen, im Learning Set vertreten sein (Gorsky *et al.*, 2010). Auch ist die Anzahl der Kategorien und die taxonomische Genauigkeit ein weiterer Punkt, der die Erfassungsrate beeinflussen kann. Gislason und Silva (2009) testeten in ihrer Studie drei verschiedenen Learning Sets: ein detailliertes Learning Set mit 34 Kategorien zum Teil auf Artniveau, ein Basis Learning Set mit 25 Kategorien mit Auflösung der Arten in Größenklassen und ein einfaches Learning Set mit 19 Kategorien mit einer Zusammenfassung von Kategorien in „other zooplankton“. Das Basis Learning Set und das einfache Learning Set konnten die besten Ergebnisse erzielen, da sich durch Zusammenfassen von Gruppen die Anzahl der Vignetten in den Kategorien erhöhte (Gislason und Silva, 2009). Bei weniger als 50 Vignetten wurden schlechte Ergebnisse erzielt (Davis *et al.*, 2004), somit werden mehr als 50 Vignetten empfohlen. Gorsky *et al.* (2010) arbeiteten sogar mit 300 Vignetten pro Kategorie und empfehlen eine Anzahl zwischen 300 und 400 Vignetten. Anzumerken ist auch dass es wichtig ist dass alle Kategorien die ähnliche Taxa darstellen eine ungefähre gleiche Anzahl an Vignetten aufweisen sollten damit es nicht zu einer Unter- bzw. Überpräsenz kommt (Anzahl der Vignetten befindet sich in Anhang).

4.5 Fazit

Gislason und Silva (2009), Gorsky *et al.* (2010) sowie Bell *et al.* (2008) sprechen von einem großen zeitlichen Vorteil der Zooscan Methode gegenüber der manuellen Erfassung. Probenteilung, Scannen, Prozessing, manuelles Trennen am Computer, erneutes Prozessing, PlanktonIdentifizieren, manuelles Verschieben falsch sortierter Bilder, Laden der ID- Datei und die Bearbeitung in Excel sind aber nicht zu unterschätzen. Da meistens über Nacht prozessiert wurde, dauerte es drei Tage um fünf Proben zu erfassen. In der gleichen Zeit konnten ca. 12 Proben manuell sortiert werden. Die Dauer der Bearbeitung der vom Scanner erzeugten Bilder ist, wie bereits erwähnt, abhängig von der Qualität des erstellten Learning Sets (Bell *et al.*, 2008; Gorsky *et al.*, 2010). Ein gutes Maß für die Qualität des Learning Sets ist die Fehlerrate (error rate), welche beim Laden der ID Datei ermittelt wird, sie gibt in Prozent an wie viele Bilder falsch zugeordnet waren und manuell verschoben werden mussten. Die Fehlerquote sollte im Idealfall nicht höher als 10% sein. In dieser Untersuchung lag die Fehlerquote,

nachdem das Learning Set optimiert wurde an der Station Walvis Bay mit 20% und am Angola Dome mit 25% über den gewünschten 10%. Gorsky *et al.* (2010), Bell *et al.* (2008) und Gislason und Silva (2009) verweisen jedoch auf die Arbeiten von Culverhouse *et al.* (2003), welche sich mit den Fehlern von Experten gegenüber den maschinellen Fehlern befassen. Die Autoren weisen darauf hin, dass das Arbeiten an optischen Geräten schnell zur Ermüdung führen kann und die Konzentration und Aufnahmefähigkeit mit der Zeit abnimmt. Fazit der Untersuchung von Culverhouse *et al.* (2003) ist, dass bestimmte Arten von Dinoflagellaten besser von dem extra für Dinoflagellaten entwickelten Erfassungssystem erkannt werden konnten, andere Arten jedoch besser von den Experten identifiziert werden konnten

Die Autoren der bereits erwähnten Veröffentlichungen sind sich weitergehend einig, dass das ZooScan-System eine permanente Speicherung von Daten in Form von Bildern, Größenspektren und Biomasse erlaubt und die einfach über das Internet oder extra angelegte Netzwerke ausgetauscht werden können. Weiterhin sind sich alle Autoren einig, dass eine semi-automatische Methode nur eine Erweiterung zur klassischen manuellen Methode bleiben wird, da durch das zwangsläufige Zusammenfassen von Kategorien für akzeptable Ergebnisse taxonomische Information verloren geht (Gislason und Silva, 2009). Gorsky *et al.* (2010) empfehlen, dass die Informationen, welche durch das ZooScan-System einfach erhoben werden können (z.B. Biomasse), als Orientierung für ökologische Studien und Modellierungen benutzt werden können.

4.6 Ausblick

Insgesamt ist das ZooScan-System eine gute Methode um Informationen schnell und permanent zu speichern. Jedoch konnte in dieser Arbeit festgestellt werden, dass das erstellte Learning Set für die Zooplanktonproben aus dem nördlichen Teil des Benguela Auftriebsgebiet überarbeitet werden muss, um eine effektivere Erfassung durchführen zu können. Vorschläge sind zunächst Kategorien, welche sich in der Morphologie ähneln auszubalancieren, z.B sollte die Kategorie Euphausiacea die gleiche Anzahl an Vignetten aufweisen wie die Kategorie Mysidacea. Zudem ist zu überlegen, die Kategorien Cyclopoida und Calanoida in eine Kategorie Copepoda zusammenzufassen, da Bell *et al.* (2008) mit der Klasse Copepoda mit einer Erkennungsrate von 91% die besten Ergebnisse erzielen konnten. Im Gegensatz hierzu sollte auch der Vorschlag von Gislason und Silva (2009) mehrere sich in der Größe unterscheidende Kategorien für Calanoida anzulegen berücksichtigt werden. Die

Autoren stellten fest, dass das ZooScan- System keine Probleme hatte Calanoida, die ähnlich in ihrer Form waren, zwischen den Größen <1 bis >3 mm zu erkennen. Ein interessanter Ansatz für eine anschließende Untersuchung wäre es die bestehende Kategorie mit den beiden aufgezählten Möglichkeiten zu vergleichen.

Wichtig ist vor allem die Erkennungsrate für gelatinöse und semigelatiöse Organismen zu verbessern. In der Arbeit von Rolke und Lenz (1984) wird auf Jeffries *et al.* (1980) verwiesen, welche versuchten Copepoden mit Methylblau zu färben um den Kontrast zu verstärken. Interessant sind nun Versuche die Färbungen von gelatinösen Organismen ermöglichen, ohne diese zu beschädigen, um sie für das ZooScan-System besser zu kontrastieren.

Schulte und Lopes (2009), welche neben den ZooScan-System auch das Laser Optical Counter-System überprüft und verglichen haben, kommen in ihrer Arbeit zu dem Schluss, beide Systeme für eine Optimierung der Ergebnisse sinnvoll zu kombinieren.

Das ZooScan-System verspricht schnell Informationen über Zooplanktonabundanzen zu erlangen. Jedoch wird es die manuelle optische Methode nie ersetzen können, bietet aber eine gute Erweiterung zur Übersicht und Datenspeicherung an. Zudem ist das System noch in der Entwicklung und verspricht eine große Entlastung neben der zeitaufwendigen taxonomischen Erfassung zu werden.

5. Literatur

Baars, M. A., Osterhuis, S. S., (1998): Zooplankton biomass in the 200 m in- and outside the seasonal upwelling areas of the western Arabian Sea. In: Pierrot-Bults AC, Spoel S van der (eds) Pelagic biogeography ICoPB II. Proceedings of the 2nd international conference. IOC Workshop report no. 142. UNESCO, Paris, 36–49

Baars, M.A., (1999): On the paradox of high mesozooplankton biomass, throughout the year in the western Arabian Sea: reanalysis of IIOE data and comparison with newer data. *Indian Journal of Marine Science* 28:125–137

Baars, M. A., Brummer G-JA (1995): Workshop review results from Netherlands Indian Ocean Programme. *US JGOFS Newsl.*6:10–11

Banase, K., (1964): On the vertical distribution of zooplankton in the sea. *Progress in, Oceanography* 2: 53-125

Bell, J. and Hopcroft, R., (2008): Assessment of ZooImage as a tool for the classification of zooplankton. *Journal of Plankton Research* 30: 1351–1367

Berger, W.H., Wefer, G., (2002): On the reconstruction of upwelling history: Namibia upwelling in context. *Marine Geology*180: 3-28

Boyer, D.C. and Hampton, I., (2001): An overview of the living marine resource of Namibia. *South African Journal of Marine Science* 23: 5-35

Brock J., Sathyendranath S., Platt T., (1993): Modelling the seasonality of subsurface light and primary production in the Arabian Sea. *Marine Ecology Progress Series*101: 209–221

Culverhouse, F. P., Williams, R., Reguera, B., Herry, V., Gonzáles-Gil, S.. (2003): Do experts make mistakes? A comparison of human and machine identification of dinoflagellates. *Marine Ecology Progress Series* 247: 17–25

Cushing, D. H., (1973): Production in the Indian Ocean and transfer from the primary to the secondary level. In: Zeitzschel B (ed) *The biology of the Indian Ocean*. Springer: 475–486

Cushing, D. H., (1989): A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *Journal of Plankton Research* 11: 1-13

Currie, R., (1953): Upwelling in the Benguela Current, *Nature* 171: 497-500

Davis, C. S., Hu, Q., Gallagher, S. M., Tang, T., Ashjian, C. J., (2004): Real-time observation of taxa-specific plankton distributions: an optical sampling method. *Marine. Ecology Progress. Series* 284: 77–96

Ekman, V.W., (1905): On the influence of the earth's rotation on ocean currents. *Arkiv för matematik, astronomi och fysik* 2: 1-52

Estrada, M. and Marras, C. (1987): Phytoplankton biomass and productivity off the Namibian coast. In Payne.A.I.L., Gulland.J.A. and Brink.K.H. (eds), *The Benguela and Comparable Ecosystems*. South African. *Journal of Marine Science*: 347-356

Fenchel, T., (1988): Marine plankton food chains. *Annual Review of Ecology and Systematics* 19: 19-38

Flynn, B.A., Richardson, A.J., Brierley, A.S., Boyer, D.C., Axelsen, B.E., Scott, L., Moroff, N.E., Kainge, P., Tjzoo, B. and Gibbons, M.J.; (in press): Recent observations on temporal and spatial patterns in the distribution of jellyfish in the northern Benguela upwelling ecosystem and their link to pelagic fishery recovery. *African Journal of Marine Science*

Garcia-Comas, C., (2010): Short Manuel to Work with the Zooscan, written for Zooprocess version 6.16, Hydroptic & LOV

Gerlach, S., (1971): Produktionsbiologie des Meeres. *Biologie unserer Zeit* 1: 11-17

Gibbons, M. J., (1997): An Introduction to the Zooplankton of the Benguela Current Region. University of Western Cape

Gislason, A. and Silva, T., (2009): Comparison between automated analysis of zooplankton using ZooImage and traditional methodology. *Journal of Plankton Research* 31: 1505-1516

Gorsky, G, Ohman, M. D., Picheral, M., Gasparini, S., Stemmann, L., Romagnan, J. B., Cawood, A., Pesant, S., Garcia-Comas, C., Prejger, F., (2009): Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated System. *Journal of Plankton Research* 32: 285-303

Grosjean, P., Picheral, M., Warembourg, C., Gorsky, G., (2004) Enumeration, measurement, and identification of net zooplankton samples using the ZOOSCAN digital imaging system. *Int. Counc. Explor. Sea Journal of Marine Science* 61: 518-525

Hansen, F. C., Cloete, R. R., Verheye, H. M., (2005): Seasonal and spatial variability of dominant copepods along a transect off Walvis Bay (23° S), Namibia. *African Journal of Marine Science* 27:1, 55-63

Heymans, J.J., Shannon, L.J. und Jarre, A., (2004): Changes in the northern Benguela ecosystem over three decades: 1970s, 1980s, and 1990s *Ecological Modelling* 172, 175-195

Herman, A. W., (1992): Design and calibration of a new optical plankton counter capable of sizing small zooplankton. *Deep-Sea Research* 39: 395-415

Hutchings, L., van der Lingen, C.D., Shannon, L.J., Crawford, R.J.M., Verheye, H.M.S., Bartholomae, C.H., van der Plas, A.K., Louw, D., Kreiner, A., Ostrowski, M., Fidel, Q., Barlow, R.G., Lamont, T., Coetzee, J., Shillington, F., Veitch, J., Currie, J.C., Monteiro, P.M.S., (2009): The Benguela Current: An ecosystem of four components. *Progress in Oceanography* 83:15-32

Ianson, D., Jackson, G. A., Angelm, M. V., Lampitt R. S., Burd, A. B., (2004): Effects of net avoidance on estimates of diel vertical migration. *Limnology and Oceanography* 49: 2297-2303

Jeffries, H. P., Sherman, K., Maurer, R., Katsinis, C., (1980): Computer processing of zooplankton samples in Kennedy, V.S. (ed.), *Estuarine Perspectives*, Academic Press, London: 303-316

Jung, S., (2010): Abundance and trophic position of gelatinous and halfgelatinous organisms in the Namibian upwelling region. Master Thesis, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften an der Universität Hamburg

Kesselring, B., (2010): Analyse von Zooplanktonproben aus dem namibianischen Auftriebsgebiet mit Hilfe eines automatisierten Analyseverfahrens (Zooscan). Bachelor Arbeit. Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften der Universität Hamburg

Kjørboe, T., Nielsen, T. G., (1994): Regulation of zooplankton biomass and production in a temperate, coastal ecosystem. 1. Copepods. *Limnology and Oceanography* 39: 493-507

Kollmer, W. E., (1962): The pilchard of South West Africa (*Sardinops ocellata* Pappé): The annual cycle of phytoplankton in the waters off Walvis Bay 1958. *South West Africa Admin. Mar. Res. Lab., Invest. Rep.* 4: 1-44

Koppelman, R., (1994): Saisonale Veränderung in bathypelagischen Zooplanktonbeständen des Nordatlantiks. Doktorarbeit, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaften der Universität Hamburg

Koppelman, R., Fabian, H., Weikert, H., (2003): Temporal variability of deep-sea zooplankton in the Arabian Sea. *Marine Biology* 142: 959-970

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, L.K., 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 Cruise No. 17, Leg 3, Editorial Assistance: Senatskommission für Ozeanographie der Deutschen Forschungsgemeinschaft MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen Leitstelle Deutsche Forschungsschiffe Institut für Meereskunde der Universität Hamburg

Luo, J., Ortner, P. B., Forcucc, i D., Cummings, S. R., (2000): Diel vertical migration of zooplankton and mesopelagic fish in the Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 47: 1451–1473

Lutjeharms, J.R.E., Stockton, P.L., (1987): Kinematics of the upwelling front off southern Africa. In the Benguela and Comparable Ecosystems. Payne, A. I. L., Gulland, J.A., Brink, K.H. (Eds.). *South African Journal of Marine Science* 253(5021): 774-776

Lynam, C.P., Gibbons, M.J., Axelsen, B.E., Sparks C.A.J., Coetzee, J., Heywood, B.G. Brierley, A.S., (2006): Jellyfish overtake fish in a heavily fished ecosystem. *Current Biology* 16 : 492-493

Madhupratap, M., Gopalakrishnan, T. C., Harida, P., Nair, K. K. C., Aravindakshan, P. N., Padmavati, G., Paul, S., (1996a): Lack of seasonal and geographic variation in mesozooplankton biomass in the Arabian Sea and its structure in the mixed layer. *Current Science* 71:863–868

Madhupratap, M., Prasanna, Kumar S., Bhattathiri, P. M. A., Dileep Kumar, M., Raghukumar S., Nair, K. K. C., Ramaiah, N., (1996b): Mechanism of the biological response to winter cooling in the north-eastern Arabian Sea. *Nature* 384:549–552

Meeuwis, J. M. & Lutjeharms, J. R. E., (1990): Surface thermal characteristics of the Angola-Benguela front, *South African Journal of Marine Science* 9: 261-279

Navarro-Perrez, E., Barton, E.D., (1998): The physical structure of an upwelling filament off the north-west African coast during August 1993. *South African Journal of Marine Science* 223: 51-53

Olivar, M. P. and Barangé, M., (1990): Zooplankton of the northern Benguela region in a quiescent upwelling period. *Journal of Plankton Research* 12: 1023-1044

Plagáyi, É. E., Hutchings, L., Field, J. G., Verheye, H. M., (1999): A model of copepod population dynamics in the southern Benguela upwelling region. *Journal of Plankton Research* 21: 1691-1724

Rixen T., Haake B., Ittekkot V., Guptha M. V. S., Nair R. R., Schlüssel P., (1996): Coupling between SW monsoon-related surface and deep ocean processes as discerned from continuous particle flux measurements and correlated satellite data. *Journal of Geophysical Research* 101:28569–28582

Rolke, M. und Lenz, J., (1984): Size structure analysis of Zooplankton samples by means of an automated image analysing system. *Journal of Plankton Research* 6: 637-645

Schultes, S. and Lopes, M., (2009): Laser Optical Plankton Counter and Zooscan intercomparison in tropical and subtropical marine ecosystems. *Limnology and Oceanography: Methods* 7: 771-784

Shannon, L.V. and Pillar, S.C., (1986): *Oceanography and Marine Biology Ann. Rev.* Aberdeen University Press 24: 65-170

Shannon, L. V. and O'Toole, M.J., (2003): Sustainability of the Benguela: ex Africa semper aliquid novi. Elsevier G. Hempel and K. Sherman, (eds.) *Large Marine Ecosystems of the World: Trends in Exploitation, Protection and Research*: 227-253

Shillington, J. H., Hutchings, L., Probyn, T.A., Walsron, H. N., Peterson, W. T., (1992): Filament and the Benguela front zone offshore advection or recirculating loops? *South African Journal of Marine Science* 12: 207-218

Smith, M. J., Japp, D. W., Robinson, T., (2011): Marine Benthic Specialist Study for a Proposed Development of Phosphate Deposits in the Sandpiper Phosphate Licence Area off the Coast of Central Namibia. Draft Report Namibian Marine Phosphate (Pty) Ltd.

Steedman, H.F., (1976): General and applied data on formaldehyde fixation and preservation of marine zooplankton. 103-154 in *Zooplankton Fixation and Preservation*. (H. F. Steedman, ed.). The Unesco Press: 350.

Timonin, A. G., (1990): Composition and zooplankton distribution in the Benguela upwelling area of Namibia. *Oceanologia* 30: 651-655

Tomczak, M., Godfrey, J.S., (1994): Regional Oceanography: An Introduction. (2001): British Library Cataloguing in Publication Data.

Traganza, E.D., Nestor, D.A., McDonald, A.K., (1980): Satellite observations of a nutrient upwelling off the coast of California. *Journal of Geophysical Research* 85: 4104-4106

Traganza, E.D., Conrad, J.C., Breaker, L.C., (1981): Satellite observations of cyclonic upwelling and giant plume in the California current. In *Coastal Upwelling, Coastal Estuarine Science 1*: edited by F.A. Richards, 228-241.

Tranter, D. J., (1962): Zooplankton abundance in Australasian waters, *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*.13: 106-142

Umani, S. F., (1996): Pelagic production and biomass in the Atlantic Sea. *Scientia Marina* 60 (Supl. 2): 65-77

Utne-Palm, A. C., Salvanes, A. G. V., Currie B., Kaartvedt, S., Nilsson, G. E., Braithwaite, V. A., Stecyk, J. A. W., Hundt, M., Van der Bank, M., Flynn, B., Sandvik, G. K., Klevjer, T. A., Sweetman, A. K., Brüchert, V., Pittman, K., Peard, K. R., Lunde, I. G., Sstrandbør R. A. U., Gibbons, M.J., (2010): Trophic structures and community stability in overfished ecosystems. *Science* 329: 333-336

Van Foreest, D., Shillington, F.A., Legeckis, R., (1984): Large scale, stationary, frontal features in the Benguela Current system. *Continental Shelf Research* 3: 465-475

Verheye, H. M., Hutchings, L., Huggett, J. A., Painting, S. J., (1992): Mesozooplankton dynamics in the Benguela ecosystem, with emphasis on the herbivorous copepods, *South African Journal of Marine Science*, 12:1, 561-584

Vinogradov, M. E, (1968): Vertical Distribution of the Zooplankton. Academy of the USSR. Institute of Oceanography.

Weikert, H. and Koppelman, R., (1993): Vertical structural patterns of deep-living zooplankton in the NE Atlantic, the Levantine Sea and the Red Sea: a comparison. *Oceanologica Acta* 16: 163-177

Weller, R. A., Baumgartner, M. F., Josey, S. A., Fischer AS, Kindle JC (1998) Atmospheric forcing in the Arabian Sea during 1994–1995: observations and comparisons with climatology and models. *Deep-Sea Res II* 45:1961–1999

Wiebe, P. H., Morton, A. W., Bradley, A.M., Backhus, R. H., Craddock, J. E., Barber, V., Flierl, G. R., (1985): New Developments in the MOCNESS, An apparatus for sampling zooplankton and microinjection, *Marine Biology* 87: 313-323

Wishner, K. F., Gowing, M. M., Gelfman, C., (1998): Mesozooplankton biomass in the upper 1000 m in the Arabian Sea: overall seasonal and geographic patterns, and relationship to oxygen gradients. *Deep-Sea Res II* 45:2405–2432

Wroblewski, J. S., (1980): A simulation of the distribution of *Arctica clausi* during Oregon upwelling August 1975. *Journal of Plankton Research* 2:43-68

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Erstgutachter Prof. Dr. Möllmann für die Bereitstellung des Themas bedanken. Besonderer Dank gilt meinem Zweitgutachter und Betreuer Dr. Rolf Koppelman, welcher mit einer bewundernswerten Geduld alle meine Fragen beantworten konnte. Weitere besondere Anerkennung gilt Silke Janßen, da ich ohne ihre professionelle und geduldige Anleitung nicht so schnell mit dem Zooscanner erfolgreiche Ergebnisse erzielen hätte können.

Zudem bedanke ich mich bei Dr. Tina Martin für ihre Hilfestellung und die Bereitstellung der Biomassendaten. Auch Karolina Bohata und Jörn Witte danke ich für das Korrekturlesen und die moralische Unterstützung während meiner Arbeit.

Als letztes möchte ich mich noch bei meinen Eltern Axel und Brigitte Dürschlag bedanken für die finanzielle und moralische Unterstützung, ohne die mein Studium nicht möglich gewesen wäre.

Tab. A2 d

MOC 30 (Angola Dome)	<0,5 mm		0,5-1 mm		1-2 mm		2-5 mm		>5 mm
	manuell	Scan	manuell	Scan	manuell	Scan	manuell	Scan	manuell
Siphonophora					9		23	15	52
Cnidaria									1
Ctenophora									
div. Gelatinöse									
Salpen			1	1		7		4	
Appendicularia									
Fischlarven/Fische					0		2	1	7
Fischeier	3	14	2		2				
Cephalopoda									
Bivalvia									
and. Mollusca	7	4	2	3					
Chaetognatha	1	3	1	2	7	7	31	23	135
Polychaeta					1	1		1	1
Ostracoda	27	28	31	53	6	4	3		16
Isopoda									
Amphipoda					1		1		2
Cladocera			1						
Calanoida	72	87	521	529	277	266	114	134	505
Cyclopoida s.l.	36	24	83	83	36	38	9	19	85
Harpacticoida									
Decapoda									1
Euphausiacea							8	8	23
Mysidacea							2		5
Crustac. Larven	7		4	2	5	2	2	3	
Andere Larven									
Exuvien und Tote	12	4	46	43	36	25	14	21	8
Div. unbest.							1		

Tabelle A3. Geteilten Proben

MSM 17/3 MOC-D-7, Station 241 und MSM 17/3 MOC-D-7, Station 317

Walvis Bay	Größenfraktion	Teilungsfaktor	Angola Dome	Größenfraktion	Teilungsfaktor
L2	<0,5	1/4	L3	<0,5	1/4
	0,5-1	1/2		0,5-1	1/4
	1-2	1/2		1-2	1/4
	2-5	1/2	L4	<0,5	1/10
L3	<0,5	1/4		0,5-1	1/4
	0,5-1	1/10		1-2	1/10
	1-2	1/2		2-5	1/5
	2-5	1/8		>5	1/2
L4	<0,5	1/4	L5	<0,5	1/4
	0,5-1	1/20		0,5-1	1/10
	1-2	1/10		1-2	1/10
	2-5	1/4		2-5	1/2
L5	<0,5	1/4		>5	1/2
	0,5-1	1/10	L6	0,5-1	1/5
	1-2	1/10		1-2	1/2
	2-5	1/2	L7	<0,5	1/2
	>5	1/2		0,5-1	1/10
L6	<0,5	1/4		1-2	1/5
	0,5-1	1/10		2-5	1/2
	1-2	1/4		>5	1/2
	>5	1/2	L8	<0,5	1/4
L7	<0,5	1/4		0,5-1	1/10
	0,5-1	1/10		1-2	1/2
	1-2	1/10		2-5	1/10
	2-5	1/2	L9	<0,5	1/4
L8	<0,5	1/4		0,5-1	1/20
	0,5-1	1/5		1-2	1/10
	1-2	1/2		2-5	1/10
	2-5	1/10		>5	1/2
	>5	1/10			
L9	<0,5	1/8			
	0,5-1	1/10			
	1-2	1/5			
	2-5	1/4			

Erklärung: L2=1000-800 m, L3=800-600 m, L4=600-400 m, L5=400-200 m, L6= 200-100 m, L7=100-50 m, L8=50-25 m, L9=25-0 m.

Tabelle X Biomassenbestände [mg m^{-2}] der Stationen: Walvia Bay (Nacht/Tag), Rocky Point (Nacht/Tag), Kunene River (Nacht/Tag) und Angola Dome (Tag).

Tabelle A4 a-b. Filtriertes Volumina [m³]. a. Walvis Bay. b. Angola Dome

Tab. A4 a

L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
662	793	833	866	429	202	86	140

Tab. A4 b

L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9
660	894	1003	1039	518	233	114	91

Station	Biomasse [mg m ⁻²]
Nacht Walvis Bay	36203
Tag Walvis Bay	26307
Nacht Rocky Point	46880
Tag Rocky Point	43658
Nacht Kunene River	50541
Tag Kunene River	33753
Nacht Angola Dome	19186

Tabelle A5. Biomassenbestände [mg m⁻²] in den einzelnen Tiefen der Stationen Walvis Bay und Angola Dome

Tiefe [m]	Walvis Bay [mg m ⁻²]	Angola Dome [mg m ⁻²]
0-25	9335	4935
25-50	5029	1853
50-100	2363	1595
100-200	5763	2579
200-400	4052	3103
400-600	3344	1313
600-800	3113	3251
800-1000	3204	557

Tabelle A6 a-d. Individuenkonzentrationen/Gruppen in den einzelnen Tiefen an den Stationen Walvis Bay und Station Angola Dome. a. Gesamtindividuen Anzahl, b. Crustacea Anteil, c. Gelatinöse Individuen, d. Semigelatinöse Individuen.

Tab. A6 a. Gesamtindividuen

Tiefe [m]	Walvis Bay [1000 Ind. m ⁻³]	Angola Dome [1000 Ind. m ⁻³]
0-25	111086	519692
25-50	298186	321000
50-100	166193	116489
100-200	25105	12071
200-400	42931	11854
400-600	66154	4692
600-800	13950	4762
800-1000	4702	4692

Tab. A6 b. Crustacea

Tiefe [m]	Walvis Bay [1000 Ind. m ⁻³]	Angola Dome [1000 Ind. m ⁻³]
0-25	85686	476835
25-50	252837	269386
50-100	154629	101262
100-200	22972	10805
200-400	38580	11328
400-600	64654	7926
600-800	13184	4431
800-1000	3579	2733

Tab. A6 c. Gelatinöse Organismen

Tiefe [m]	Walvis Bay [1000 Ind. m ⁻³]	Angola Dome [1000 Ind. m ⁻³]
0-25	1814	571
25-50	2430	0
50-100	149	0
100-200	14	10
200-400	32	2
400-600	82	8
600-800	42	2
800-1000	6	3

Tab A6 d. Semigelatinöse

Tiefe [m]	Walvis Bay [1000 Ind. m ⁻³]	Angola Dome [1000 Ind. m ⁻³]
0-25	22729	34967
25-50	37326	26051
50-100	7158	10446
100-200	1051	581
200-400	1878	456
400-600	1112	159
600-800	573	294
800-1000	418	226

Tabelle. A7. Individuenanteile [%] der Größen in den einzelnen Tiefen Walvis Bay und Angola Dome im Vergleich

Tiefe [m]	<0,5 mm		0,5-1 mm		1-2 mm		2-5 mm	
	WB	AD	WB	AD	WB	AD	WB	AD
0-25	23	8	37	41	21	43	19	8
25-50	17	17	40	45	16	11	27	27
50-100	6	7	40	34	43	50	11	9
100-200	9	28	67	57	17	12	7	3
200-400	5	6	49	60	41	31	5	3
400-600	6	28	60	9	23	41	11	22
600-800	8	1	58	58	17	32	17	9
800-1000	15	47	31	31	35	18	19	4

Tabelle A8 a-b. Vergleich der Größenverteilung [μm] der Clanoida. a. Station Walvis Bay.
b. Angola Dome.

Tab. A8 a

Tiefe [m]	Angola Dome	<0,5	0,5-1	1-2	2-5
0-25	MW	1101,457	1351,434	1721,049	1674,965
	MIN	669,237	689,934	460,178	654,299
	MAX	5431,551	2530,647	4605,439	5869,456
	SD	431,369	298,136	546,062	702,992
	N	173,000	338,000	329,000	635,000
25-50	MW	1159,009	1481,342	1912,928	1858,089
	MIN	660,133	684,132	801,453	896,790
	MAX	2209,338	4596,264	5598,64	3645,428
	SD	227,512	356,474	687,613	631,403
	N	362,000	941,000	608,000	500,000
50-100	MW	1072,784	1394,130	1727,320	2267,096
	MIN	532,109	539,906	724,784	537,714
	MAX	2347,990	3292,962	4471,815	15997,61
	SD	207,439	291,011	346,998	1612,024
	N	278,000	1108,000	1293,000	557,000
100-200	MW	1129,190	1402,921	2513,688	3434,431
	MIN	598,023	569,576	901,946	679,738
	MAX	2111,199	3704,240	5008,790	13286,381
	SD	307,068	374,996	903,933	1521,095
	N	407,000	407,000	330,000	472,000
200-400	MW	1043,251	1395,249	1711,709	3612,433
	MIN	510,827	593,920	587,908	977,624
	MAX	1910,243	3344,926	4437,758	15671,856
	SD	241,786	296,327	420,872	2345,245
	N	104,000	1553,000	1553,000	233,000
400-600	MW	1157,57	1474,131	1701,589	2585,278
	MIN	682,016	625,999	474,417	597,979
	MAX	1920,774	2712,860	4708,912	19134,395
	SD	237,076	204,188	495,933	2356,021
	N	1317,000	1317,000	1121,000	544,000
600-800	MW	1124,271	1458,111	2776,811	3746,325
	MIN	511,285	523,216	1060,182	703,623
	MAX	1987,269	2831,498	12568,621	7302,773
	SD	261,269	328,475	1538,695	1419,143
	N	110,000	473,000	391,000	202,000
800-1000	MW	1062,63	1440,956	2367,171	3262,697
	MIN	432,791	760,43	659,105	728,117
	MAX	1436,545	2475,519	6632,649	10195,475
	SD	228,917	316,49	831,105	1587,834
	N	42,000	331,000	429,000	203,000

Erklärung: MW=Mittelwert, MIN=Minimum, MAX=Maximum, SD= Standardabweichung,
N=Anzahl

Tab. A8 b

Tiefe [m]	Angola Dome	<0,5	0,5-1	1-2	2-5
0-25	MW	1054,536	1316,394	1034,529	776,310
	MIN	363,953	693,892	651,189	703,882
	MAX	3164,576	2414,612	9116,899	5427,233
	SD	273,168	325,411	1959,651	1905,223
	N	478,000	672,000	994,000	629,000
25-50	MW	1081,371	1261,540	1820,707	2194,653
	MIN	543,905	545,113	571,988	587,143
	MAX	2348,985	2687,237	5702,144	7097,119
	SD	224,236	307,211	807,781	1209,581
	N	557,000	941,000	966,000	818,000
50-100	MW	1038,039	1234,711	1620,33	2049,728
	MIN	632,551	675,919	547,66	668,187
	MAX	1662,573	3712,854	6496,612	14307,775
	SD	169,892	318,854	665,288	1552,541
	N	226,000	695,000	374,000	441,000
100-200	MW	1155,801	1401,211	2142,734	3242,548
	MIN	621,199	801,371	683,041	906,056
	MAX	2319,447	4535,526	4781,588	10560,44
	SD	272,673	393,433	752,912	1643,345
	N	505,000	347,000	273,000	133,000
200-400	MW	1015,165	1306,678	1633,942	1693,434
	MIN	602,658	702,717	685,549	466,815
	MAX	2183,419	2702,689	3329,146	5029,459
	SD	222,625	283,996	485,045	849,678
	N	87,000	1273,000	266,000	134,000
400-600	MW	2723,040	1122,942	1453,099	2151,277
	MIN	895,249	617,068	697,316	859,920
	MAX	6375,105	1814,189	2747,414	4566,080
	SD	998,316	236,301	331,356	685,487
	N	864,000	579,000	295,000	503,000
600-800	MW	1125,976	1371,222	2031,669	2945,184
	MIN	562,149	705,491	525,715	853,538
	MAX	1763,887	2305,053	6917,806	23053,073
	SD	233,764	283,866	765,99	1985,233
	N	56,000	396,000	262,000	246,000
800-1000	MW	1123,46	1535,375	2316,597	3060,277
	MIN	641,735	793,171	992,401	991,516
	MAX	1866,852	3647,873	6758,072	8644,323
	SD	177,886	384,359	769,787	1476,696
	N	191,000	768,000	519,000	88,000

Erklärung: MW=Mittelwert, MIN=Minimum, MAX=Maximum, SD= Standardabweichung,

N=Anzahl

Tabelle A9 a-b. Fehlerquote [%] Planktonscanner Vergleich manuelle Methode, Walvis Bay

Tab. A9 a. Fehlerquote Gesamtindividuen, Calanoida und Cyclopoida

Tiefe [m]	Größenfraktion [mm]	Fehlerquote [%] Gesamtind.	Fehlerquote [%] Calanoida	Fehlerquote [%] Cyclopoida
0-25	<0,5	20,22	-18,78	46,40
25-50	<0,5	8,55	-9,27	-10,19
50-100	<0,5	56,21	6,11	-13,16
100-200	<0,5	-1,77	-31,34	33,33
200-400	<0,5	14,69	-5,46	4,5714
400-600	<0,5	2,21	-6,25	5,19
600-800	<0,5	23,60	39,24	6,57
800-1000	<0,5	-6,96	2,44	25,64
0-25	0,5-1	5,85	-4,25	17,50
25-50	0,5-1	-12,48	-11,73	-45,53
50-100	0,5-1	-2,63	0,09	-43,48
100-200	0,5-1	-0,59	4,63	-23,08
200-400	0,5-1	-4,85	-3,42	-24,73
400-600	0,5-1	0,33	1,17	2,11
600-800	0,5-1	11,76	-3,27	-14,44
800-1000	0,5-1	0,97	1,85	6,52
0-25	1-2	3,86	-2,95	-28,89
25-50	1-2	-11,61	-12,01	-75,00
50-100	1-2	-0,29	1,41	-50,00
100-200	1-2	1,35	-5,71	-53,85
200-400	1-2	-9,04	-9,31	25,00
400-600	1-2	-2,27	-2,10	-20,93
600-800	1-2	-43,94	-49,22	-80,95
800-1000	1-2	7,30	1,42	-7,69
0-25	2-5	2,32	-14,66	-65,63
25-50	2-5	-8,28	-39,74	-54,55
50-100	2-5	-53,80	-58,37	-54,55
100-200	2-5	-5,95	-10,77	-22,73
200-400	2-5	-29,52	-39,16	30,77
400-600	2-5	-51,06	-41,25	-80,16
600-800	2-5	-6,75	-2,48	0,00
800-1000	2-5	14,04	12,78	109,09

Tab. A9 b. Fehlerquote Ostracoda, Chaetognatha und Exuvien

Tiefe [m]	Größenfraktion [mm]	Fehlerquote [%] Ostracoda	Fehlerquote [%] Chaetognatha	Fehlerquote [%] Exuvien
0-25	<0,5	-28,57	-16,67	-21,05
25-50	<0,5	22,67	-100,00	50,00
50-100	<0,5	-3,33	-100,00	62,50
100-200	<0,5	26,47	-100,00	0,00
200-400	<0,5	46,85	-43,75	-31,25
400-600	<0,5	-8,00	100,00	-72,00
600-800	<0,5	75,00	0,00	53,85
800-1000	<0,5	400,00	-100,00	-15,38
0-25	0,5-1	14,29	28,57	125,00
25-50	0,5-1	3,96	-28,57	-18,31
50-100	0,5-1	15,63	-80,00	61,29
100-200	0,5-1	7,91	-37,50	542,86
200-400	0,5-1	0,00	-100,00	-7,69
400-600	0,5-1	-11,75	-100,00	-13,15
600-800	0,5-1	41,94	-33,33	500,00
800-1000	0,5-1	-37,14	-100,00	7,87
0-25	1-2	3,85	-25,00	14,29
25-50	1-2	-5,26	-8,70	63,33
50-100	1-2	-33,33	100,00	-46,15
100-200	1-2	-12,50	20,00	557,14
200-400	1-2	-33,33	50,00	-93,33
400-600	1-2	-8,33	-8,33	800,00
600-800	1-2	23,81	-8,70	-7,69
800-1000	1-2	100,00	-20,00	66,67
0-25	2-5	-18,75	-37,50	170,00
25-50	2-5	-11,11	0,00	4,76
50-100	2-5	-11,11	-59,62	-100,00
100-200	2-5	9,09	257,14	642,86
200-400	2-5	-32,00	-33,88	110,53
400-600	2-5	133,33	-56,32	-100,00
600-800	2-5	25,00	-32,00	-53,85
800-1000	2-5	-16,67	-5,36	-28,57

Tabelle Xa-b. Fehlerquote [%] Planktonscanner Vergleich manuelle Methode, Angola Dome

Tabelle A10 a-b. Fehlerquote [%] Planktonscanner Vergleich manuelle Methode, Angola Dome

Tab. A10 a. Fehlerquote Gesamtindividuen, Calanoida und Cyclopoida

Tiefe [m]	Größenfraktion [mm]	Fehlerquote [%] Gesamtind.	Fehlerquote [%] Calanoida	Fehlerquote [%] Cyclopoida
0-25	<0,5	-3,83	-5,72	-3,83
25-50	<0,5	-9,32	6,50	-9,34
50-100	<0,5	135,30	-53,68	-54,91
100-200	<0,5	-1,38	-5,61	-9,95
200-400	<0,5	3,64	20,83	-33,33
400-600	<0,5	-60,99	196,25	-94,05
600-800	<0,5	221,24	-41,05	1850,00
800-1000	<0,5	-25,75	76,85	0,00
0-25	0,5-1	-3,22	-3,86	-3,22
25-50	0,5-1	8,45	-2,18	8,45
50-100	0,5-1	3,55	-5,49	-11,70
100-200	0,5-1	-78,58	-77,39	-86,60
200-400	0,5-1	5,35	1,536	0,00
400-600	0,5-1	-46,17	-60,56	-37,10
600-800	0,5-1	-3,23	16,81	-8,90
800-1000	0,5-1	-9,01	1,857	-31,78
0-25	1-2	-35,74	-34,69	-35,74
25-50	1-2	-16,48	-19,63	-16,48
50-100	1-2	0,00	12,65	-45,77
100-200	1-2	-14,42	16,67	-62,75
200-400	1-2	-4,88	-3,97	5,56
400-600	1-2	1,18	0,34	-9,80
600-800	1-2	2,43	11,97	0,00
800-1000	1-2	-4,69	5,31	-9,09
0-25	2-5	-9,95	-1,54	-9,95
25-50	2-5	-21,55	-22,39	-21,55
50-100	2-5	-38,65	-39,59	-57,83
100-200	2-5	-3,18	-6,67	-26,32
200-400	2-5	-84,74	-93,64	-83,89
400-600	2-5	-5,23	-1,60	-13,33
600-800	2-5	3,54	8,85	-31,11
800-1000	2-5	-13,82	2,33	-50,00

Tab. A10 b. Fehlerquote Ostracoda, Chaetognatha und Exuvien

Tiefe [m]	Größenfraktion [mm]	Fehlerquote [%] Ostracoda	Fehlerquote [%] Chaetognatha	Fehlerquote [%] Exuvien
0-25	<0,5	-16,67	0	-20,00
25-50	<0,5	81,48	-66,67	60,00
50-100	<0,5	135,30	513,19	628,21
100-200	<0,5	-10,86	-33,33	37,93
200-400	<0,5	3,70	200,00	-66,67
400-600	<0,5	-75,07	100,00	-90,50
600-800	<0,5	0,00	25,00	500,00
800-1000	<0,5	-10,00	-25,00	-82,43
0-25	0,5-1	100,00	-27,78	34,48
25-50	0,5-1	54,17	-59,57	242,86
50-100	0,5-1	3,55	-56,52	73,68
100-200	0,5-1	-75,41	-85,00	-83,27
200-400	0,5-1	70,97	100,00	-6,52
400-600	0,5-1	-64,44	-100,00	-78,73
600-800	0,5-1	8,62	20,00	-39,44
800-1000	0,5-1	-32,43	-52,78	-17,27
0-25	1-2	33,33	-16,67	46,88
25-50	1-2	9,52	-39,62	285,71
50-100	1-2	0,00	-27,45	94,87
100-200	1-2	-25,00	-35,56	-33,16
200-400	1-2	-33,33	0,00	-30,56
400-600	1-2	-4,56	-100,00	25,58
600-800	1-2	0,00	0,00	-16,13
800-1000	1-2	-18,18	-2,70	-34,23
0-25	2-5	0,00	3,61	-40,00
25-50	2-5	-14,29	-24,87	211,11
50-100	2-5	-38,65	-45,17	11,94
100-200	2-5	-42,86	0,00	-21,33
200-400	2-5	-86,19	-84,63	-56,34
400-600	2-5	-33,33	-28,57	-77,27
600-800	2-5	-25,00	-11,67	70,59
800-1000	2-5	100,00	-28,13	-42,31

Tabelle A11. Biomassen der vergleichenden Regionen, Quelle siehe Abbildung 12

Gebiet	Tiefe [m]	Fangzeit	Koordinaten	[mg/m ²]	Jahr
Gesamt: Nacht Walvis Bay.	0-1000	Februar	23°S,11°O	36203,3204	2010
Gesamt: Tag Walvis Bay,	0-1000	Februar	23°S,11°O	26306,887	2010
Gesamt: Nacht Rocky Point	0-1000	Februar	19°S,10°O	46879,8707	2010
Gesamt: Tag Rocky Point	0-1003	Februar	19°S,10°O	43658,4409	2010
Gesamt: Nacht Kunene River	0-1004	Februar	17°S,10°O	50540,8173	2010
Gesamt: Tag Kunene River	0-1005	Februar	17°S,10°O	33752,8606	2010
Gesamt:Nacht Angola Dome	0-1000	Februar	10°S, 8°O	19185,826	2010
Tag,NO- Atlantik	0-1050	April/Mai	47°N, 20°W	4966	1988
Tag,NO- Atlantik	0-1050	März/April	47°N, 20°W	21671	1988
Tag,NO- Atlantik	0-1050	August	47°N, 20°W	11968	1988
NW, Pazifik	0-1000	Mai	43-46°N, 149- 158°O	179233	1953
NW, Pazifik.	0-1000	Juni/Juli/August	43-46°N, 149- 158°O	168413	1956
NW, Pazifik	0-1000	Sept	43-46°N, 149- 158°O	155450	1966
Tropischer Pazifik	0-1000	Feb.	30°S-30°N, 130°O-139°W	5710	1958
Tropischer Pazifik	0-1000	Juli/Aug.	30°S-30°N, 130°O-139°W	11823	1957
Tropischer Pazifik	0-1000	Sept/Oktober	30°S-30°N, 130°O-139°W	14692	1957
Tropischer Pazifik	0-1000	Nov./Dez	30°S-30°N, 130°O-139°W	5802	1961
Indischer Ozean	0-1000	Nov.-Dez.	30°S-10°N, 57-110°O	10879	1959, 1960
Arabische See, Westlich	0-1050	Feb.	16°N, 60°O	29905	1998
Arabische See, Westlich	0-1050	April	16°N, 60°O	16378	1997
Arabische See, Westlich	0-1050	Oktober	16°N, 60°O	49437	1997
Arabische See, östliche	0-1050	Feb.	14°N,64°O	24515	1997
Arabische See, östliche	0-1050	April	14°N,64°O	12006	1997
Arabische See, östliche	0-1050	Oktober	14°N,64°O	22463	1997

Tabelle. A12. Fehlerquote /Error Rate [%] Scanner (manuelles Verschieben der Bilder)

Walvis Bay	800-1000 m	600-800 m	400-600 m	200-400 m	100-200 m	50-100 m	25-50 m	0-25 m
<0,5	19,1	10,7	24,8	11,5	8,9	24,2	16,5	20
0,5-1	9,7	13,1	9,5	26,2	13,8	38,8	30,8	18
1-2	22,1	16,2	19,6	18	30,3	20,7	22,9	16,8
2-5	18,1	23,2	27,1	29,6	28,9	24,6	14,2	11,3
Angola Dome								
<0,5	26,3	22,9	19,9	12	28,1	27	43,3	37,6
0,5-1	22	22,1	10,3	16,3	22	24,3	20,2	30,6
1-2	21,9	21,1	16,5	11,9	23	28,5	25,5	29,7
2-5	24,2	23,7	26,3	17,3	24,1	26,5	21,4	26,7

Tabelle A13. Anzahl der Vignette in den Kategorien des Learning Sets.

Gruppe	Anzahl Vignetten
Amphipoda	141
Bubble	194
Calanoida	417
Chaetognatha	196
Cnidaria	14
Crustacea Larve	294
Cyclopoida	375
Detritus	553
Euphausiacea	237
Exuvia	126
Fiber	2237
Isopoda	4
Malacostraca	4
Mollusca	36
Mysidacea	46
<i>Oithona</i>	280
Ostracoda	155
Pisces	30
Polychaeta	164
Salpida	149
<i>Sapphirina</i>	41
unidentified	2