

Verteilung von Kohlenstoff und Stickstoff
in Oberflächensedimenten
im Benguela-Auftriebsgebiet vor Namibia

Cosima Kaiser

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des
Bachelor of Science Geowissenschaften

Institut für Biogeochemie und Meereschemie
Universität Hamburg

Bearbeitungszeitraum: April-September 2011

Abgabetermin: 19. September 2011

1. Gutachter: Prof. Dr. Kay-Christian Emeis
2. Gutachter: Dr. Niko Lahajnar

Abstract

This bachelor thesis is about the distribution of carbon (especially organic carbon) and nitrogen in surface sediments offshore Namibia. This area is influenced by the Benguela Upwelling System which stands out due to special wind and water current conditions. During the expedition MSM 17-3 which took place from January to March 2011, several samples were taken in the area from 27°S to 17°S. They were analyzed in laboratory and afterwards used to create images with the software programmes Ocean Data View and SigmaPlot to visualize their distribution and to search for correlations between the used parameters.

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Verteilung von Kohlenstoff und Stickstoff in den Oberflächensedimenten vor Namibia. Der Küstenbereich in dieser Region unterliegt dem Einfluss des Benguela-Auftriebsgebiets, welches sich durch besondere Bedingungen in Wind- und Wasserströmungen auszeichnet. Während der Expedition MSM 17-3 von Januar bis März 2011 wurden Proben der Sedimentoberfläche von 27- 17°S genommen. Durch Messen des Kohlenstoff- und Stickstoffgehalts wurden Verteilungskarten erstellt. Anhand dieser Karten soll die Beziehung zwischen Kohlenstoff und Stickstoff und die Korrelationen dieser Parameter mit den Korngrößen untersucht werden. Dafür wurde das Programm Ocean Data View benutzt, sowie SigmaPlot um die Zusammenhänge zu visualisieren.

Gliederung

Seite

Abstract

Kurzfassung

Abbildungsverzeichnis, Tabellenverzeichnis und Abkürzungen

1. Einleitung.....	7
1.1 Thema.....	7
1.2 Projekt.....	8
1.3 Arbeitsgebiet.....	9
2. Methoden.....	10
2.1 Korngrößenanalyse.....	10
2.2 Bestimmung von Stickstoff, Kohlenstoff und Karbonat.....	11
2.3 Messung des Sauerstoffgehalts.....	13
2.4 Auswertung und grafische Darstellung.....	13
3. Ergebnisse.....	14
3.1 Korngrößenverteilung.....	14
3.1.1 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>1000 \mu\text{m}$	14
3.1.2 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>500 \mu\text{m}$	15
3.1.3 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>250 \mu\text{m}$	16
3.1.4 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>125 \mu\text{m}$	17
3.1.5 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>63 \mu\text{m}$	18
3.1.6 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>20 \mu\text{m}$	19
3.1.7 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $<20 \mu\text{m}$	20
3.2 Chemische Hauptkomponenten.....	20
3.2.1 Gesamtkohlenstoff $,C_{\text{tot}}$	20
3.2.2 Organischer Kohlenstoff $,C_{\text{org}}$	21
3.2.3 Kalziumkarbonat CaCO_3	22
3.2.4 Gesamtstickstoffverteilung $,N_{\text{tot}}$	23
4. Diskussion.....	25
4.1 Verteilung der Korngrößen.....	25
4.2 Verteilung des Kohlen- und Stickstoffs.....	26
5. Zusammenfassung.....	30

6. Literaturverzeichnis.....	31
7. Anhang	
Danksagung	
Erklärung	

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1.1: Die vier Eastern Boundary Upwelling Ecosystems.....	7
Abbildung 1.2: Auftrieb, schematisch dargestellt.....	8
Abbildung 1.3: Arbeitsgebiet.....	9
Abbildung 2.1: Multicorer.....	10
Abbildung 2.2: CHN-Elementaranalysator.....	11
Abbildung 2.3: CTD-Sonde zur Sauerstoffmessung.....	13
Abbildung 3.1: Verteilung Kornfraktion >1000 μm	14
Abbildung 3.2: Verteilung Kornfraktion >500 μm	15
Abbildung 3.3: Verteilung Kornfraktion >250 μm	16
Abbildung 3.4: Verteilung Kornfraktion >125 μm	17
Abbildung 3.5: Verteilung Kornfraktion >63 μm	18
Abbildung 3.6: Verteilung Kornfraktion >20 μm	19
Abbildung 3.7: Verteilung Kornfraktion <20 μm	20
Abbildung 3.8: Verteilung Gesamtkohlenstoff C_{tot}	21
Abbildung 3.9: C_{org}	22
Abbildung 3.10: Kalziumkarbonat.....	23
Abbildung 3.11: Gesamtstickstoff N_{tot}	24
Abbildung 4.1: Korrelation zwischen C_{org} und N_{tot}	26
Abbildung 4.2: Strömungsverhältnisse und Partikeltransport.....	27
Abbildung 4.3: Schema Lateral-, Vertikaltransport und Sedimentationsrate.....	28
Abbildung 4.4: Verteilung C_{org} (vergrößert).....	29
Abbildung 4.5: Mud Belt und Depocenter anhand der C_{org} -Verteilung.....	30

Abkürzungen

EBUE – Eastern Boundary Upwelling Ecosystem

SST – Sea Surface Temperature

Ctot – Gesamtkohlenstoff

Ntot – Gesamtstickstoff

Corg – organischer Kohlenstoff

ODV – Ocean Data View

Tabellenverzeichnis

Tabelle A: Messwerte und Anteile der geochemischen Parameter (Anhang)

Tabelle B: Prozentuale Anteile der Kornfraktionen (Anhang)

1. Einleitung

1.1 Thema

Auftriebsgebiete gibt es in vielen Küstenregionen der Welt. Sie spielen eine große Rolle in der Primärproduktion des Ozeans und werden durch verschiedene Mechanismen beeinflusst und gesteuert. Das Benguela-Auftriebsgebiet vor Namibia gehört zu den *Eastern Boundary Upwelling Ecosystems* (EBUEs), die sich die Westküsten der Kontinente entlang ziehen (Hill et al., 1998) und für meist reiche Fischgründe und ein ausgeprägtes Ökosystem sorgen (Chavez & Messié, 2009). Die vier größten EBUEs befinden sich vor der kalifornischen Küste, vor Peru im Einfluss des Humboldtstroms, vor NW-Afrika und vor der Küste Namibias (Abbildung 1.1).

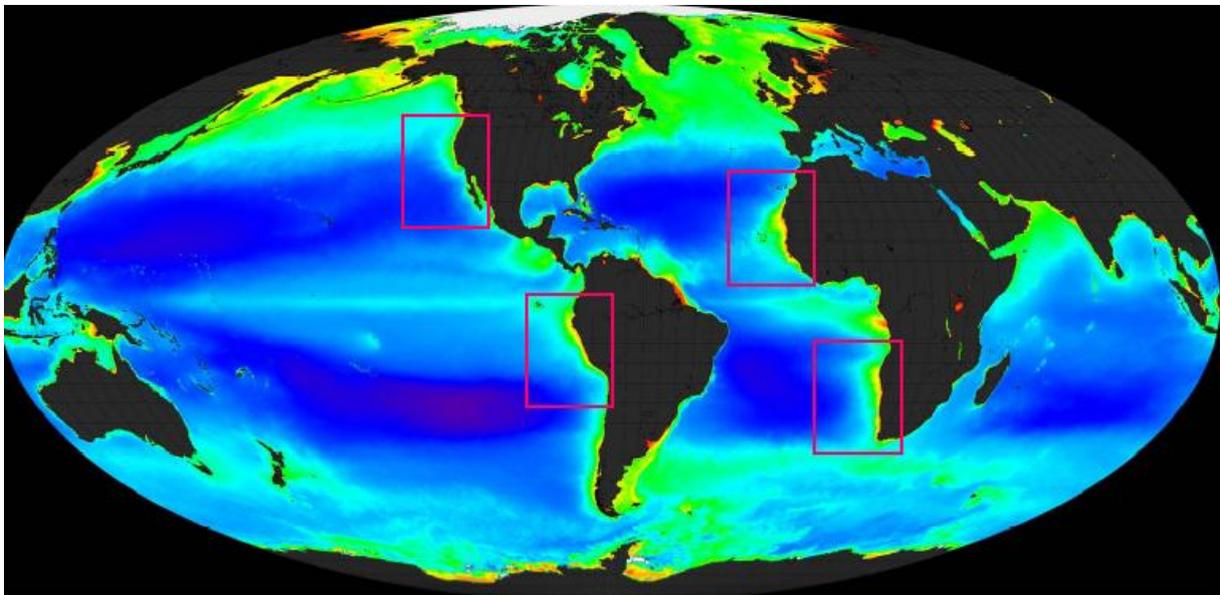


Abbildung 1.1: Die vier großen *Eastern Boundary Upwelling Ecosystems*: Kalifornien, NW-Afrika, Peru/Humboldtstrom, Benguela/Namibia. Das Satellitenbild zeigt die Primärproduktion anhand der Chlorophyll-Konzentrationen im Ozean an. (Quelle: SeaWiFS/Nasa)

Angetrieben durch den entlang der Küste wehenden Passat, werden die Wassermassen aufgrund des Ekman-Transports auf der Südhalbkugel nach links und auf der Nordhalbkugel nach rechts abgelenkt (Abbildung 1.2). Küstennahes Oberflächenwasser wird verdrängt, kaltes nährstoffreiches Tiefenwasser strömt nach und sorgt für eine erhöhte Produktion an Phytoplankton. Dies bildet die Grundlage für ein ausgedehntes Ökosystem und eine Vielzahl an Fischarten und Individuen in den höheren Ebenen der Nahrungskette. Je nach den regionalen Bedingungen (Topographie, Windintensität, Strömungsverhalten) entwickeln sich Auftriebszellen, vor Namibia zum Beispiel im Walvis Bay und bei Lüderitz (Shannon et al., 2006).

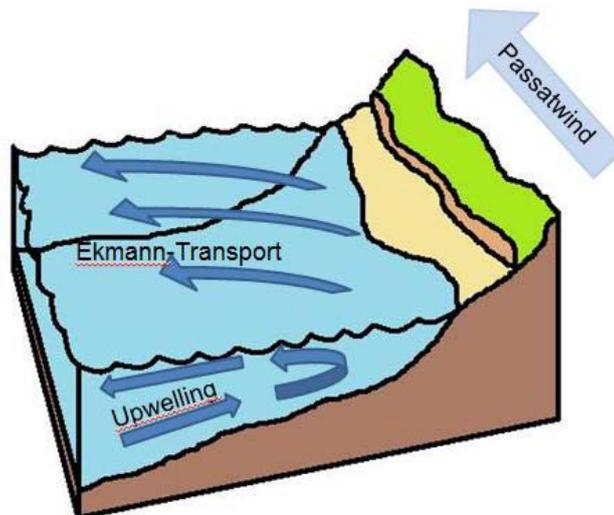


Abbildung 1.2: Auftrieb am westlichen Rand eines Kontinents auf der Südhemisphäre (eigene Darstellung)

Obwohl die durchschnittliche Primärproduktion im Ozean abgenommen hat, hat sie sich in den Auftriebsgebieten größtenteils erhöht. Diesen Trend führen Wissenschaftler auf die Veränderung der Meeresoberflächentemperatur (Sea Surface Temperature – SST) und die Zunahme der Passatwinde zurück. Auch im Benguela-Gebiet wurde eine erhöhte Primärproduktion beobachtet (Demarq, 2009).

1.2 Projekt

Die Proben für die vorliegende Arbeit wurden im Rahmen des GENUS-Projekts (Geochemistry and Ecology of the Namibian Upwelling System) auf der Expedition MSM 17-3 mit dem Forschungsschiff Maria S. Merian von Januar bis März 2011 genommen. Das GENUS-Projekt wird von der Universität Hamburg koordiniert und hat sich zum Ziel gesetzt, die Beziehungen zwischen Klimawandel, biogeochemischen Kreisläufen und Veränderungen im Ökosystem zu beschreiben und zu erforschen (www.genus.zmaw.de). Um die physikalischen und biogeochemischen Prozesse, die durch den Auftrieb entstehen oder beeinflusst werden, zu begreifen, bedarf es längerfristiger Beobachtung und Sammeln von Daten um Veränderungen festzuhalten und Zusammenhänge herzustellen.

Deshalb untersucht die vorliegende Arbeit die oberste Lage von 0 – 1 cm des Oberflächensediments vor der namibischen Küste. Für die Beschreibung des aktuellen Zustands und für spätere Interpretationen sind geeignete Parameter erforderlich. Dazu eignet sich beispielsweise die Verteilung der einzelnen Kornfraktionen, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt, Sauerstoffgehalt, und Kalziumkarbonatanteil. Diese Parameter werden gemessen, beschrieben und anschließend diskutiert. Anhand der Ergebnisse wird geprüft, ob Zusammenhänge zwischen Korngrößen und Kohlenstoff-/Stickstoffgehalt festzustellen sind und ob sich Beziehungen zwischen den einzelnen chemischen Parametern erkennen lassen.

1.3 Arbeitsgebiet

Das Benguela Auftriebsgebiet befindet sich vor der Süd-West-Küste Afrikas und wird im Norden und im Süden von warmen Strömungen begrenzt. Dem Angola-Strom, der nördlich des Walvis Ridge auf den Benguela-Strom trifft und dem Aghulas-Strom im Süden Afrikas. Dies unterscheidet das Benguela-Gebiet von den anderen Eastern Boundary Upwelling Systemen, die nicht von zwei großen warmen Strömungen begrenzt werden (Shannon & Nelson, 1996). Das Benguela-Auftriebsgebiet unterliegt einigen wesentlichen physikalischen Prozessen. Es wird durch den starken und beständigen äquatorwärtigen Süd-West-Passat angetrieben, der den Ekman-Transport in Gang setzt und das oberflächennahe Wasser zum Atlantik hin transportiert. An der Küste wird dieses Oberflächenwasser durch kaltes Tiefenwasser ersetzt, das die Oberflächenwassertemperatur im küstennahen Bereich abkühlt und die Primärproduktion anregt. Abgesehen von den zwei warmen Strömungen im Norden und Süden, gibt es auch noch zwei äquatorwärtige, von denen einer küstennah und der andere küstenfern fließt. Die Ursache für eine polwärtige Strömung am Meeresboden entlang der Schelfkante, ist jedoch noch nicht endgültig erforscht (Shannon et al., 2006). Das Benguela-Auftriebsgebiet erstreckt sich von 15-17°S bis zur Südspitze Afrikas bei ~37°S. Das Arbeitsgebiet wurde etwas verkleinert, befindet sich somit aber in direktem Einfluss der Wind- und Wasserströmungen des Benguela-Gebiets und der Auftriebszellen. Es ist regional sehr unterschiedlich (Abbildung 1.3), denn je nach Station der Probennahme variieren Windstärke und -richtung, sowie die Schelfbreite, das Gefälle und die Meerestiefe. Dadurch werden die Wasserströmungen und auch die Intensität der einzelnen Auftriebsbereiche beeinflusst (Inthorn, 2006). Die insgesamt 50 Oberflächensedimentproben wurden in dem Bereich von 17°S bis 27°S genommen. Sie stammen aus einer Tiefe von 20m bis 3000m und somit auch aus unterschiedlichen Küstenbereichen, vom inneren und äußeren Schelf bis zum Kontinentalhang.

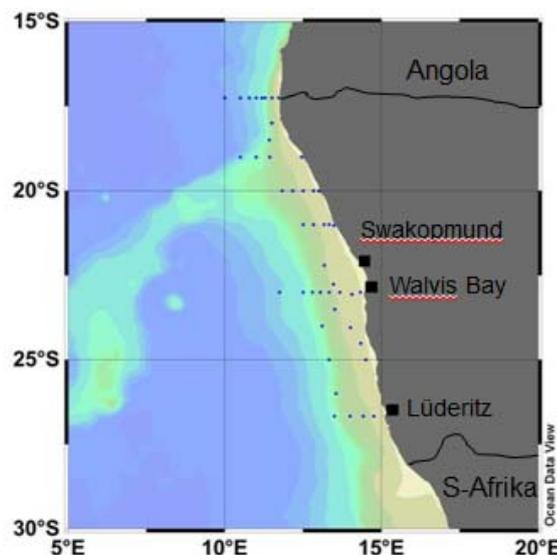


Abbildung 1.3: Das Arbeitsgebiet mit farblich dargestellter Topographie. Die blauen Punkte stellen die Stationen der Oberflächensedimentproben dar.

2. Methoden

2.1 Korngrößenanalyse

Auf dem Forschungsschiff Maria S. Merian wurden mithilfe des *Multicorer* (Abbildung 2.1) Proben von der Sedimentoberfläche (0-1 cm) entnommen, die anschließend im Labor ausgewertet wurden. Der *Multicorer* bietet die Möglichkeit, wenig verfälschte Sedimentproben zu liefern. Dafür werden die am *Multicorer* befestigten Röhren geöffnet und der gesamte Kopf ins Wasser gelassen, bis die Füße auf dem Meeresboden aufsetzen. Die Röhren werden weiter ins Sediment gedrückt und dieses sozusagen ‚ausgestanzt‘. Sind die Rohre fertig gefüllt, schließen oben und unten Kappen das jeweilige Röhren ab und verhindern beim Hochholen der Probe, dass diese verwirbelt oder ihre Zusammensetzung verändert wird. Durch die Funktionsweise des *Multicorer* ist es möglich, das Wasser, das sich direkt über der Sedimentoberfläche befindet, für spätere Untersuchungen in den Röhren einzuschließen.



Abbildung 2.1: *Multicorer* im Einsatz bei einer Forschungsfahrt (Quelle: [www. marum.de](http://www.marum.de))

Im Labor werden die Proben vollständig im Gefriertrockner getrocknet, um das noch enthaltene Wasser zu entfernen. Das Trocknen der Sedimentproben im Gefriertrockner verhindert das Zusammenkleben der einzelnen Körner im Gegensatz zum Trocknen in einem Trockenschrank. Um eine erste Charakterisierung der Proben vornehmen zu können, werden sie mit dem Siebturm auf ihre Korngrößenverteilung untersucht. Zuerst wird von den ungesiebten Proben ca. 2 g für spätere geochemische Analysen entnommen. Anschließend werden die Proben mithilfe von sechs Sieben der Maschenweite 1000 μ m, 500 μ m, 250 μ m, 125 μ m, 63 μ m und 20 μ m gesiebt und die Partikel <20 μ m am Boden des Siebturms aufgefangen. Die Maschenweiten richten sich nach der KorngröÙeneinteilung der DIN 18123 (Scheffer und

Schachtschabel, 2010) von $1000\mu\text{m}$ (Grobsand) bis zu $>20\mu\text{m}$ (Grobschluff). Die aufeinander gestapelten Siebe befinden sich auf einem Rütteltisch, der sich bei Stromzufuhr in Bewegung setzt und die Siebe 5 Minuten hin und her bewegt. Dadurch fallen die Partikel der jeweiligen Kornfraktion durch die entsprechenden Siebe oder bleiben auf ihnen liegen. Die kleinste gemessene Fraktion von $<20\mu\text{m}$ wird am Boden des Siebturms in einer Metallschale aufgefangen. Nach der vollständigen Siebung erfolgt das Auswiegen der einzelnen Kornfraktionen, indem die in den Sieben verbliebenen Partikel in ein Gefäß geschüttet, bei Bedarf mit einem Pinsel ausgekehrt werden und dieses anschließend gewogen wird. Die Werte werden in einem entsprechenden Vergleichsbogen notiert und der prozentuale Anteil der jeweiligen Kornfraktion berechnet. Die daraus resultierende Verteilung der jeweiligen Proben ist in der Tabelle B einzusehen (siehe Anhang).

2.2 Bestimmung von Stickstoff, Kohlenstoff und Karbonat

Bevor Stickstoff- und Kohlenstoffanteil einer Probe ermittelt werden können, werden die noch inhomogenen Korngrößenbestandteile der Probe durch Mörsern per Hand so fein wie möglich zerkleinert bis man eine homogene Probe erhält. Dann wird die zuvor abgefüllte Menge der Proben mit dem institutseigenen CHN-Elementaranalysator NA-1500 der Firma Carlo Erba (Abbildung 2.2) durch Verbrennungsanalyse auf den anteiligen Gesamtstickstoff- und Gesamtkohlenstoffanteil gemessen. Dafür werden jeweils 5 mg einer Probe in eine Zinnkapsel eingewogen und in den automatischen Probengeber gegeben. An vorgegebenen Stellen werden Blank-Proben und Doppelproben zur Kontrolle der Genauigkeit des Elementaranalysators plaziert.



Abbildung 2.2: CHN-Elementaranalysator des IfBM, Universität Hamburg (Quelle: Foto)

Der automatische Probengeber überführt die Probe in ein Oxidationsrohr, wo es unter Sauerstoffzufuhr bei sehr hohen Temperaturen ($\sim 1020^\circ\text{C}$) verbrannt wird. Damit eine möglichst vollständige Oxidation stattfinden kann, wirken Chrom(III)-oxid und silberbeschichtetes Cobaltoxid als Katalysatoren, wobei dadurch auch entstandene Halogenverbindungen absorbiert werden können. Durch die Verbrennung der Probe entstehen Kohlenstoffdioxid, Stickoxide und Wasser. Anschließend werden die entstandenen Gase mithilfe eines Heliumträgerstroms durch eine zweite Säule geleitet. Diese ist mit reduziertem Kupfer gefüllt, wodurch der Sauerstoff entfernt wird und die Stickoxide zu N_2 reduziert werden. Der Wasserdampf wird durch Magnesiumperchlorat in einer Wasserfalle absorbiert. CO_2 und N_2 werden nun mittels Gaschromatographie an einer Trennsäule getrennt und anschließend in einem Wärmeleitfähigkeitsdetektor gegen einen unkontaminierten Helium-Vergleichsstrom bestimmt (Geochemisches Praktikum, 2010).

Um den organischen Kohlenstoff (C_{org}) zu ermitteln, wird eine neue Messreihe begonnen, bei der etwa 7 mg pro Probe in eine Silberkapsel eingewogen werden. Außerdem werden die Proben vor der eigentlichen Analyse entkarbonatisiert. Dies geschieht, indem die Proben mit 1-molarer Salzsäure angesäuert werden, um den im CaCO_3 gebundenen Kohlenstoff herauszulösen. Dadurch bleibt der organische Anteil (C_{org}) in der Probe übrig und kann somit gemessen werden. Nach Trocknung auf einer Wärmeplatte wird der Vorgang der Entkarbonatisierung so oft wiederholt, bis man ausschließen kann, dass sich noch karbonatisch gebundener Kohlenstoff in der Probe befindet. In diesem Fall erfolgte die Wiederholung drei Mal. Bei beiden Messreihen wurden im Nachhinein einzelne Proben erneut gemessen, deren Abweichung bei der Doppelbestimmung einen relativen Fehler von mehr als 5% überstiegen. Aus der Differenz von Gesamtkohlenstoff zu organischem Kohlenstoff wird der karbonatisch gebundene Kohlenstoff (C_{inorg}) errechnet. Multipliziert man C_{inorg} mit dem Faktor 8,333, erhält man den Karbonatgehalt der Probe (Voraussetzung ist, dass Kalzit die alleinige Karbonatphase widerspiegelt) (Geochemisches Praktikum, 2010, S. 21).

2.3 Messung des Sauerstoffgehalts

Der Sauerstoff im Oberflächensediment wurde mit „Presens“ O_2 -Optoden direkt nach Bergung der Probe gemessen. Kalibriert wurde per 2-Punkt-Kalibration für jedes Profil einzeln, wobei der 0 μm -Punkt im anoxischen Sediment genommen wurde und eine bekannte O_2 -Konzentration mit Luft-equilibriertem Wasser mit bekannter Temperatur und Salinität be-

stimmt wurde. Die Kerne wurden direkt nach der Entnahme in den Messstand gestellt und danach mehrere Profile an verschiedenen Punkten des Kerns gemessen. Wegen fortschreitender O₂-Zehrung wurde immer das 1. Profil als Ergebnis genommen.



Abbildung 2.3: CTD-Sonde zur Messung von Leitfähigkeit, Temperatur, Druck sowie Sauerstoff- und Chlorophyllgehalt (<http://www.hydro-mod.de/lake-jewel/de/messung/ctd.html>)

2.4 Auswertung und grafische Darstellung

Um die gesammelten Daten vergleichen und auswerten zu können, wurde eine Tabelle mit EXCEL angefertigt, in der alle ermittelten, gemessenen und errechneten Werte der gesamten Proben zusammengetragen wurden (siehe Tabelle A und B). Für die visuelle Veranschaulichung wurden die Software-Programme SigmaPlot und Ocean Data View (ODV) verwendet. Mithilfe von SigmaPlot konnten Korrelationen zwischen den einzelnen Parametern hergestellt werden, wohingegen ODV grafische Darstellungen der Verteilung der Parameter auf einer topographischen Karte durch Interpolation der einzelnen Messpunkte im Untersuchungsgebiet ermöglicht (siehe Kapitel 3 ‚Ergebnisse‘).

3. Ergebnisse

3.1 Korngrößenanalyse

3.1.1 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von >1000 µm

Im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets (17°S bis 22°S) treten nur sehr geringe prozentuale Anteile der Korngrößenfraktion >1000 µm auf (Abbildung 3.1). Auffallend ist ein erhöhtes Vorkommen in einer kreisähnlichen Verteilungsform bei 24°S 14°E. Folgt man von

dort aus dem Küstenverlauf in südlicher Richtung, trifft man auf eine starke aber flächig sehr begrenzte Abnahme (ziemlich genau bei 25°S) und direkt danach auf eine Zunahme von bis zu 50 %, was den höchsten Werten dieser Korngrößenfraktion im Untersuchungsgebiet entspricht. Leider ist der weitere Verlauf gen Süden bei diesem Maximum nicht erkennbar, da dort keinerlei Daten gemessen wurden.

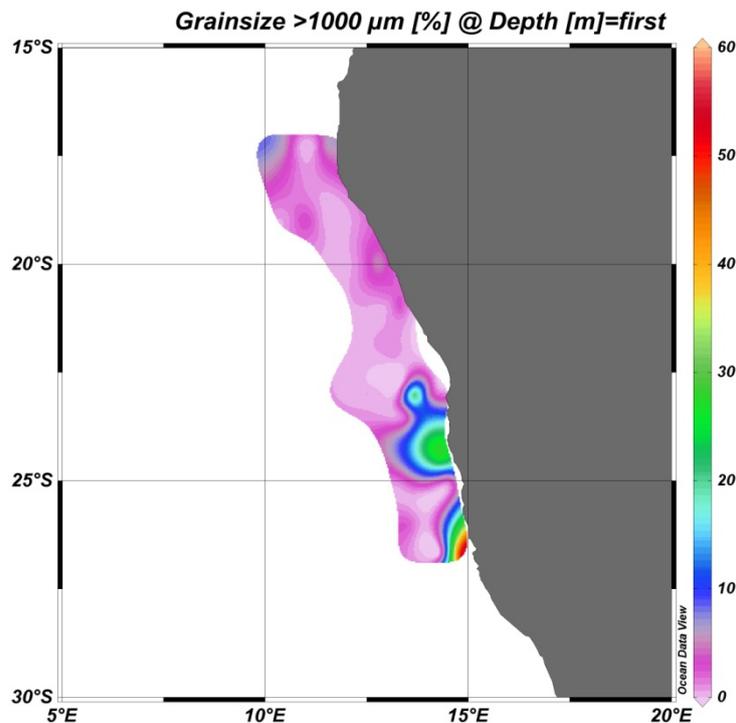


Abbildung 3.1: Verteilung der Kornfraktion >1000 µm im Oberflächensediment.

3.1.2 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von >500 µm

Die grafische Darstellung der Verteilung der Partikel mit einem Durchmesser >500 µm variiert im Gegensatz zu der in 3.2.1 beschriebenen Kornfraktion (Abbildung 3.1). Auffallend sind drei Maxima. Das erste befindet sich bei 17,5°S und dehnt sich vermutlich in nördliche Richtung aus. Das zweite (24,5°S 14,5°E) und dritte (27°S 15°E) liegen im südlichen Teil des Untersuchungsgebiets. Zwischen den Maxima sinkt der prozentuale Anteil der Kornfraktion erheblich und trennt die Maxima deutlich voneinander ab. Im Süden des Arbeitsgebiets kommt die Fraktion gehäufter vor als im Bereich bei 18°S oder um 22°S.

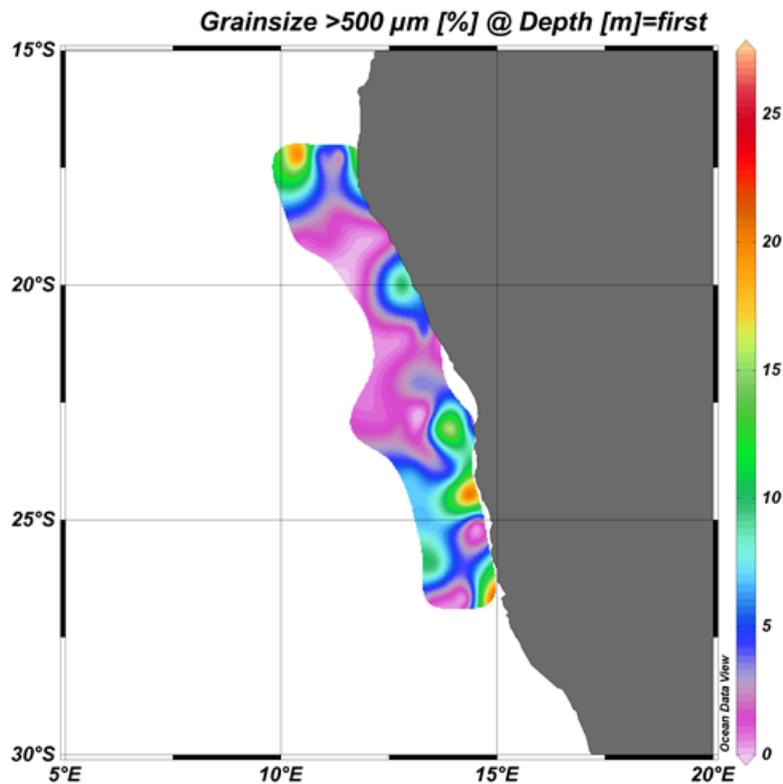


Abbildung 3.2: Verteilung der Kornfraktion >500 μm im Oberflächensediment.

3.1.3 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von >250 μm

Neben einem kleinen Maximum im Süden (26°S 13°E) des Untersuchungsgebiets, befindet sich im nördlichen Bereich Verteilung von bis zu 40% (Abbildung 3.3). Im Allgemeinen kommt ein prozentualer Anteil von 10 bis 20% gehäuft vor. Etwas nördlich des Walvis Bays bei ~21°S ist die Verteilung direkt an der Küste sehr gering. Folgt man dem Breitengrad nach Westen, erkennt man auch im küstenfernen Bereich sehr geringe Verteilungsanteile. Die mittleren Verteilungsanteile variieren regional von Nord nach Süd aber auch vom Schelfbereich zum Kontinentalhang.

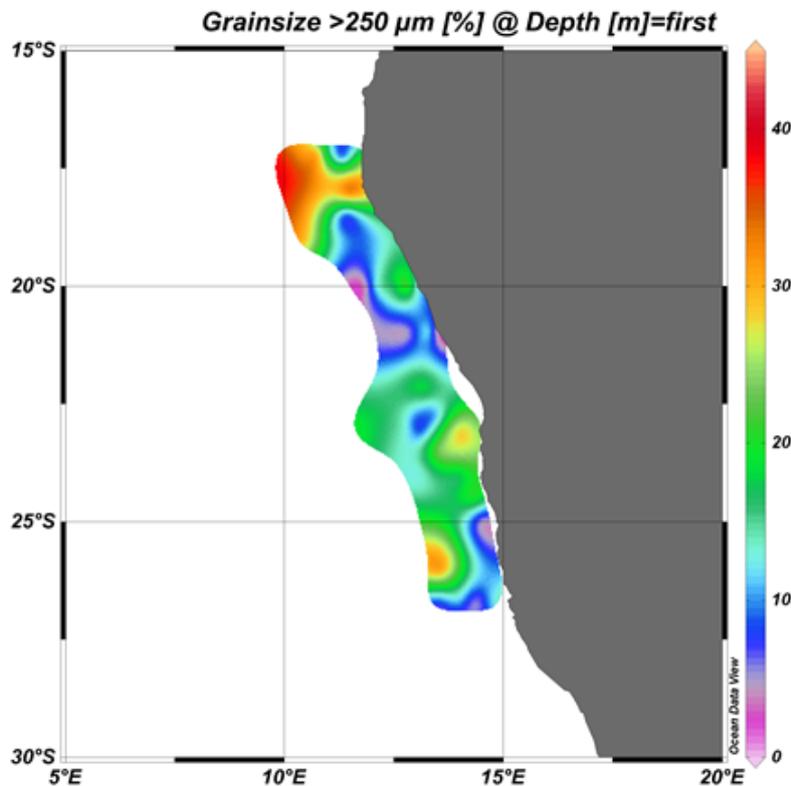


Abbildung 3.3: Verteilung der Kornfraktion $>250 \mu\text{m}$ im Oberflächensediment.

3.1.4 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>125 \mu\text{m}$

Die Verteilung der Kornfraktion $>125 \mu\text{m}$ unterscheidet sich von den bisher beschriebenen durch einen Trend in ihrem Verteilungsmuster. Es gibt ein Maximum bei $22,5^\circ\text{S}$, welches Probenstationen darstellt, bei denen bis zu 80% der anteiligen Kornfraktionen $>125 \mu\text{m}$ sind. Um diese kreis- bis ovalförmige Verteilung bündert sich ein abnehmender Anteil von 40-20%. Im Norden (19°S) und im Süden (25°S) sind ebenfalls erhöhte Verteilungen erkennbar. Zwischen den einzelnen Maximalwerten sinkt der Anteil dieser Kornfraktion wiederum. Am nördlichen Ende des Untersuchungsgebiets findet sich eine relativ weitflächige geringere Verteilung von $\sim 20\%$ vor. Ganz im Süden ist gerade noch ein Minimum zu erkennen, dass sich relativ nah am oberen Schelf befindet.

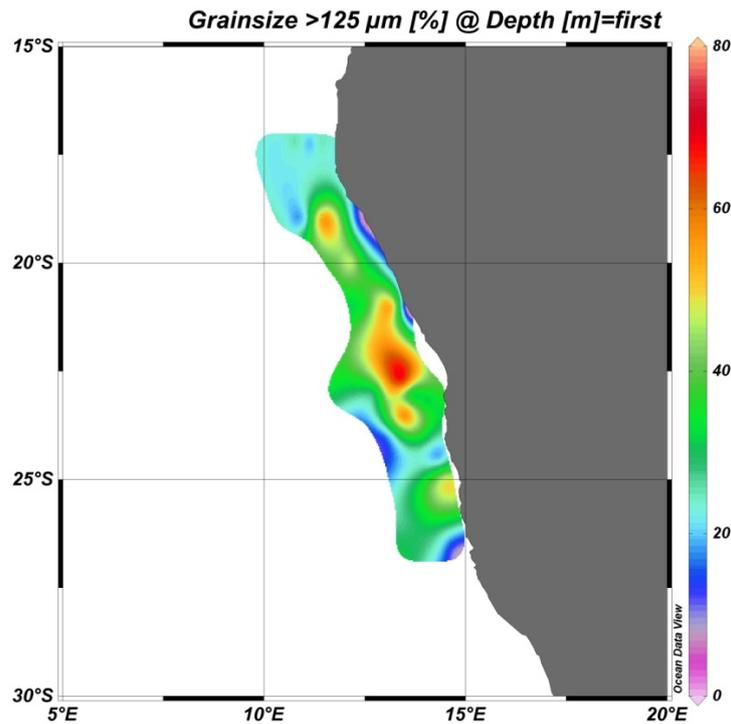


Abbildung 3.4: Verteilung der Kornfraktion $>125 \mu\text{m}$ im Oberflächensediment.

3.1.5 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>63 \mu\text{m}$

Die Verteilung der Kornfraktion >63 beschränkt sich größtenteils auf 0-40% (Abbildung 3.5). Im nördlichen Teil des Arbeitsgebiets ($17,5 - 21^\circ\text{S}$) werden vermehrt Partikel der Korngröße >63 an der Küste auf dem inneren Schelf sedimentiert. Folgt man dem 20°S – Breitengrad gen Atlantik, nimmt die Verteilung für einen kleinen Bereich erst geringfügig ab und dann wieder etwas zu (12°E). Nördlich des Walvis Bays ist eine starke aber lokal sehr begrenzte Zunahme des prozentualen Anteils zu sehen. Im anschließenden südlichen Bereich allerdings, sinkt die Verteilung großflächig schnell ab. Erst am südlichen Ende des Arbeitsgebiets gibt es einen erneuten Anstieg vor der Küste, der sich in Süd-West-Richtung weiter zieht. Westlich von Lüderitz ist eine Abnahme des prozentualen Anteils zu erkennen.

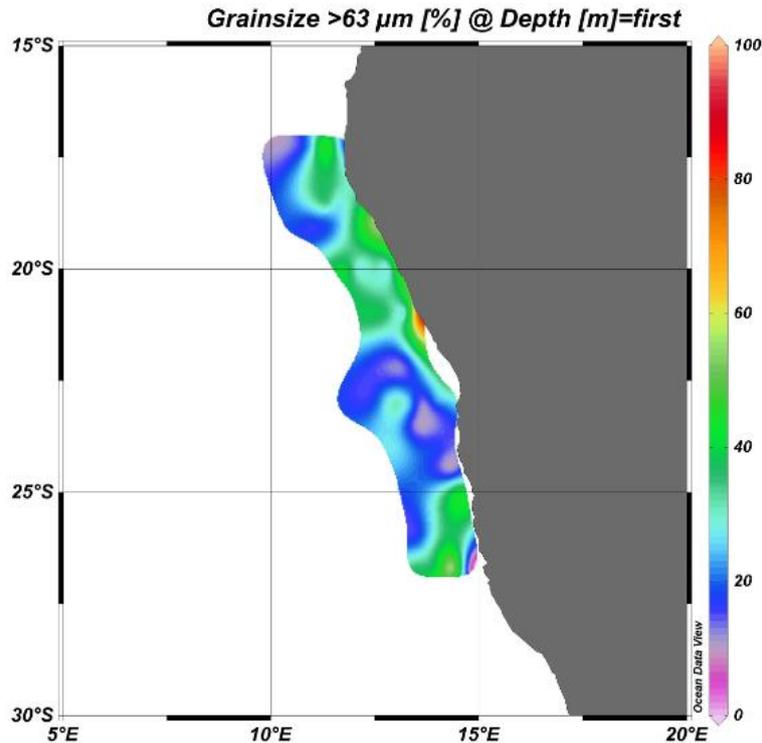


Abbildung 3.5: Verteilung der Kornfraktion $>63 \mu\text{m}$ im Oberflächensediment.

3.1.6 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $>20 \mu\text{m}$

Bei der Verteilung der Kornfraktion $>20 \mu\text{m}$ kann man einen Trend erkennen (Abbildung 3.6). Im südlichen Bereich des Arbeitsgebiets stellt ODV eine Bänderung dar, deren Verteilungsanteil an der Küste gering ist und zunimmt, je weiter man sich vom Schelfbereich entfernt. Bei $23\text{-}25^\circ\text{S}$ und $\sim 12\text{-}12,5^\circ\text{E}$ liegt ein Maximum vor, welches sich ungefähr am oberen Kontinentalhang befindet. Im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets ist die Verteilung nicht ganz so gering wie im südlichen. Bei 19°S erkennt man einen höheren Anteil im küstennahen Bereich, der direkt an eine relativ geringe Verteilung angrenzt, die sich etwas nordwestliche davon befindet. Im küstenferneren Bereich wiederum nimmt der Anteil zu (19°S 11°E).

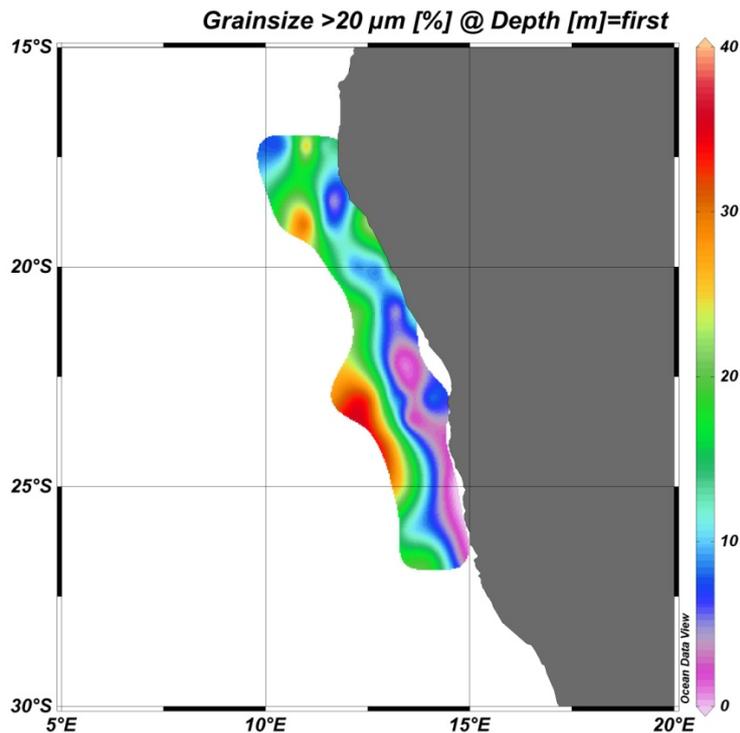


Abbildung 3.6: Verteilung der Kornfraktion $>20\ \mu\text{m}$ im Oberflächensediment.

3.1.7 Verteilung der Kornfraktion mit einem Durchmesser von $<20\ \mu\text{m}$

Die Verteilung der Kornfraktion $<20\ \mu\text{m}$ unterscheidet sich stark von den größeren Korngrößen. Entlang der gesamten Küste des Arbeitsgebiets wird diese Kornfraktion nur sehr gering sedimentiert. Der Anteil nimmt zu, je weiter man nach Westen zum Atlantik kommt. Im nördlichen Bereich gibt es ein Maximum bei 19°S und 11°E , das bis zu 12,5 % der Kornfraktion $<20\ \mu\text{m}$ aufweist. Man erkennt ein gebändertes Verteilungsmuster, das sich an den Meerestiefenlinien orientiert und fast parallel mit ihnen verläuft.

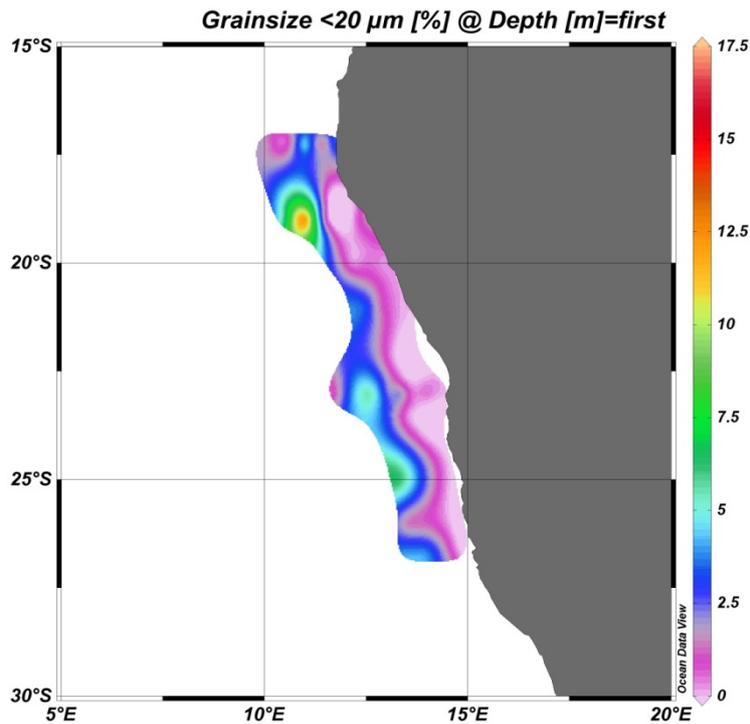


Abbildung 3.7: Verteilung der Kornfraktion $<20 \mu\text{m}$ im Oberflächensediment.

3.2 Chemische Hauptkomponenten

3.2.1 Gesamtkohlenstoff, C_{tot}

Die Verteilung des Gesamtkohlenstoffs C_{tot} im Oberflächensediment (0 - 1cm) nimmt pelagial (küstenfern) zu. Die Zunahme verläuft in gebänderten Zonen. Nahe der Küste liegt die Gesamtkohlenstoffkonzentration zwischen 0 (bei etwa $24,5^\circ\text{S}$ $14,5^\circ\text{E}$) bis maximal 10 % (etwa bei $22,5^\circ\text{S}$ und 14°E) nahe Walvis Bay und Swakopmund. Jedoch steigt die Konzentration relativ rasch an, je weiter man sich von der Küste entfernt. An anderen Stellen vollzieht sich der Anstieg deutlich langsamer, das ‚Band‘ ist breiter, wie z.B. bei Lüderitz oder auch bei der Flussmündung des Kunenes bei $\sim 17,25^\circ\text{S}$. Im Norden des Untersuchungsgebiets, bei ca. 17°S $11,5^\circ\text{E}$ weist die ODV-Karte eine weitere Minimumzone auf. Bei ca. 23°S 12°E kann man an einer kleinen Stelle im Ozean wieder eine Abnahme erkennen (leicht grünlicher Schimmer). Allerdings bleibt offen, ob es sich hierbei um eine Art Linse handelt, da man den weiteren Verlauf Richtung Atlantik nicht sehen kann, oder um eine fehlerhafte Interpolation des Programms.

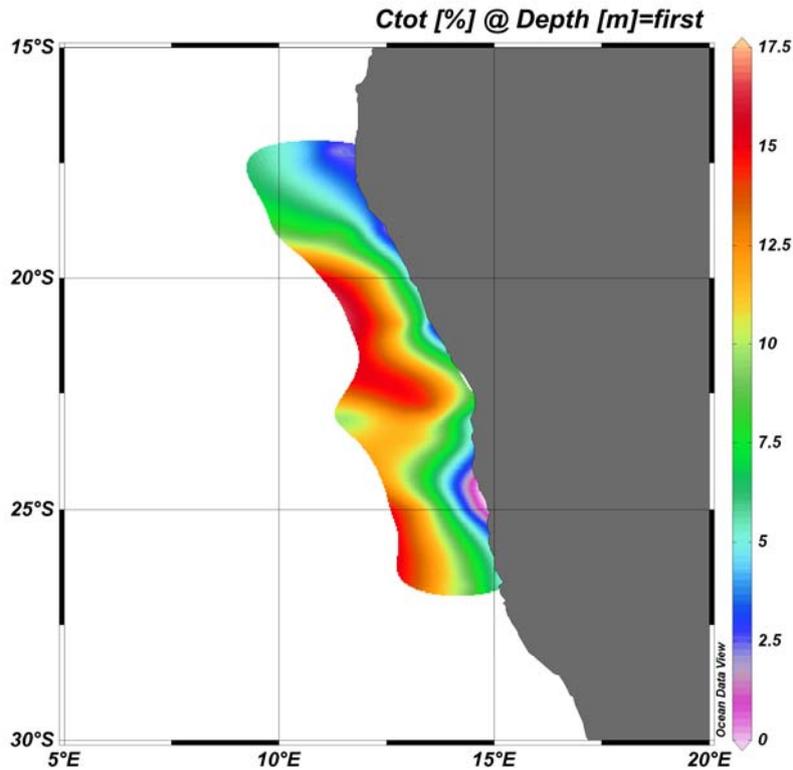


Abbildung 3.8: Verteilung des Gesamtkohlenstoffs im Oberflächensediment.

3.2.2 Organischer Kohlenstoff ,C_{org}'

Der organische Kohlenstoffgehalt der Oberflächensedimente spiegelt nicht die Verteilung des Gesamtkohlenstoffgehalts wieder (Abb. 2). Es wurden Minimalwerte von 0 bis 2 bei 17,5°S 12,5°E bis 19°S 12,5°E, um die 2 bei ca 21,75°S 12,5°E und weiter südlich bei ca. 25°S 14,75°E 0 bis 2,5 gemessen. Abgesehen davon, dass diese Minima alle direkt vor der Küste vorkommen, gibt es noch eine weitere Minimumzone, die sich küstenfern bei etwa 24°S 12,5°E befindet, westlich der südlichsten der oben genannten Zonen mit minimaler C_{org}-Konzentration. Maximalwerte für die organische Kohlenstoffkonzentration liegen bei 20°S 12°E mit knapp unter 8 und am südlichen Ende des Untersuchungsgebiets bei 26,5°S 12,5°E mit 8 bis 9, wobei der angrenzende Verlauf des südlichen Maximums nur durch weitere Messungen ersichtlich wird.

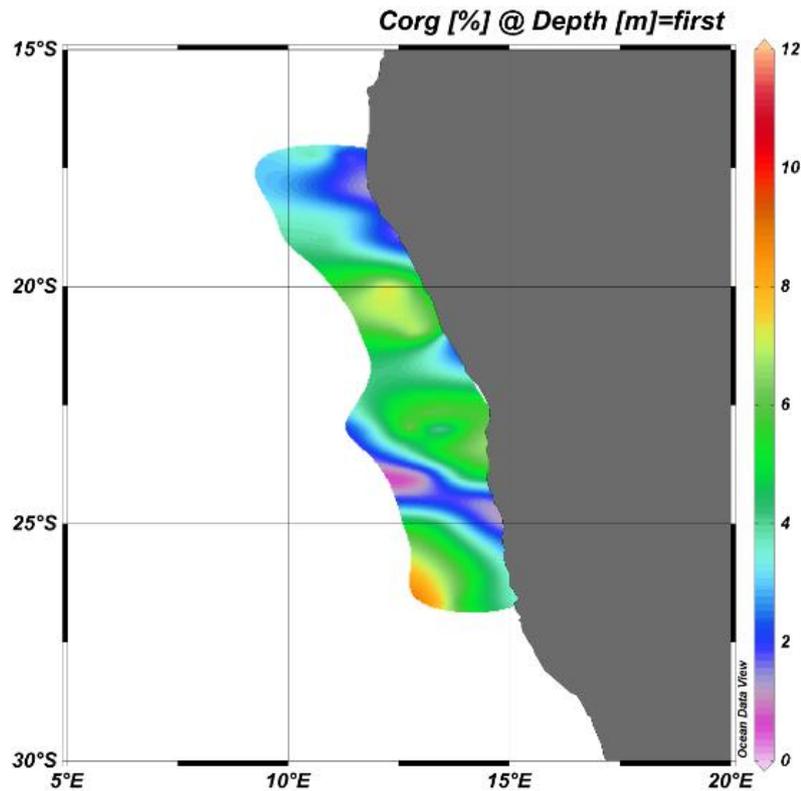


Abbildung 3.9: Verteilung des organischen Kohlenstoffs im Oberflächensediment.

3.2.3 Kalziumkarbonat CaCO_3

Entlang der Küstenlinie liegen geringere CaCO_3 -Konzentrationen vor als im küstenfernen Bereich (Abb. 3). Im unmittelbaren Küstenbereich des Walvis Bay und bei Swakopmund ist kein genauer Trend ersichtlich. Die minimalen Konzentrationen beschränken sich auf das Küstengebiet zwischen $18,5^\circ\text{S } 12,5^\circ\text{E}$ bis $21,5^\circ\text{S } 13,5^\circ\text{E}$ und südlich des Walvis Bays $23^\circ\text{S } 14,5^\circ\text{E}$ bis $25^\circ\text{S } 15^\circ\text{E}$. Ein schnellerer Konzentrationsanstieg vom Land gen Ozean liegt vor Walvis Bay vor. Auffallend ist eine Linse niedriger Konzentration umgeben von relativ hoher Konzentration bei $23^\circ\text{S } 12,5^\circ\text{E}$. Ganz im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebiets beginnt eine weitere Zone mit relativ geringer CaCO_3 -Konzentration.

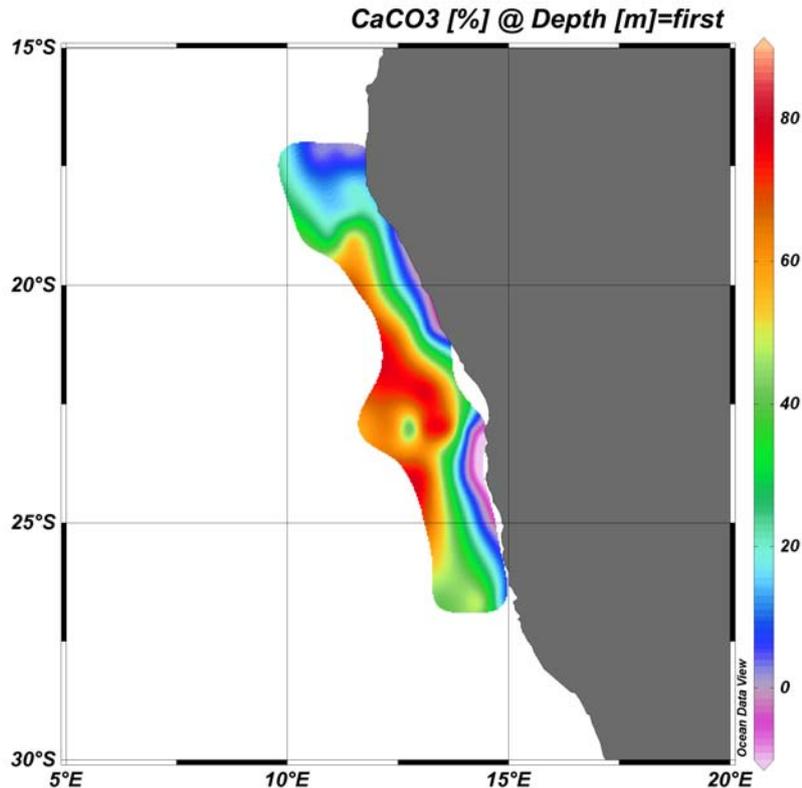


Abbildung 3.10: Verteilung des Kalziumkarbonats im Oberflächensediment.

3.2.4 Gesamtstickstoffverteilung ‚ N_{tot} ‘

Die Verteilung des Gesamtstickstoffs (Abb. 4) ähnelt der des organischen Kohlenstoffs (Abb. 2). Es gibt nur einen maximalen Wert, der sich am südlichen Rand des Untersuchungsgebiets bei etwa 26,5°S 12,5°E befindet. Drei kreisähnliche Areale bei 20°S 12,5°E, 23°S 14°E und 26°S 14°E weisen eine mittlere Gesamtstickstoffkonzentration auf. Allerdings ist das südlichste Areal dieser drei nicht vollständig auf der Karte aufgeführt und lässt somit nur auf den weiteren Verlauf schließen. In der Mitte des nördlichen der drei ‚Kreise‘ steigt die N_{tot} -Konzentration nochmal minimal an, wohingegen im mittleren bei 23°S 14°E eine kleine Linse zu erkennen ist, die von höheren Konzentrationen umgeben ist. Zwei deutliche Minimumszonen prägen das Bild, zum einen bei 17,5°S 12,5°E direkt vor der Küste und zum anderen in dem Gebiet bei 24°S 12°E bis 24,5°S 14,5°E. Die nördliche Minimumszone breitet sich halbkreisförmig Richtung offener Ozean aus, wohingegen die südliche Zone ihren geringsten Wert im küstenfernen Bereich hat, sich dann zur Küste hin etwas verschmälert und direkt vor der Küste wieder etwas breiter wird. Eine weitere kleine Zone von minimaler Konzentration ist noch bei 21,5°S 14°E zu erkennen. Sie setzt sich mit leicht erhöhter N_{tot} -Konzentration gen Ozean fort und trennt somit die nördlichste und mittlere Maximumszone voneinander.

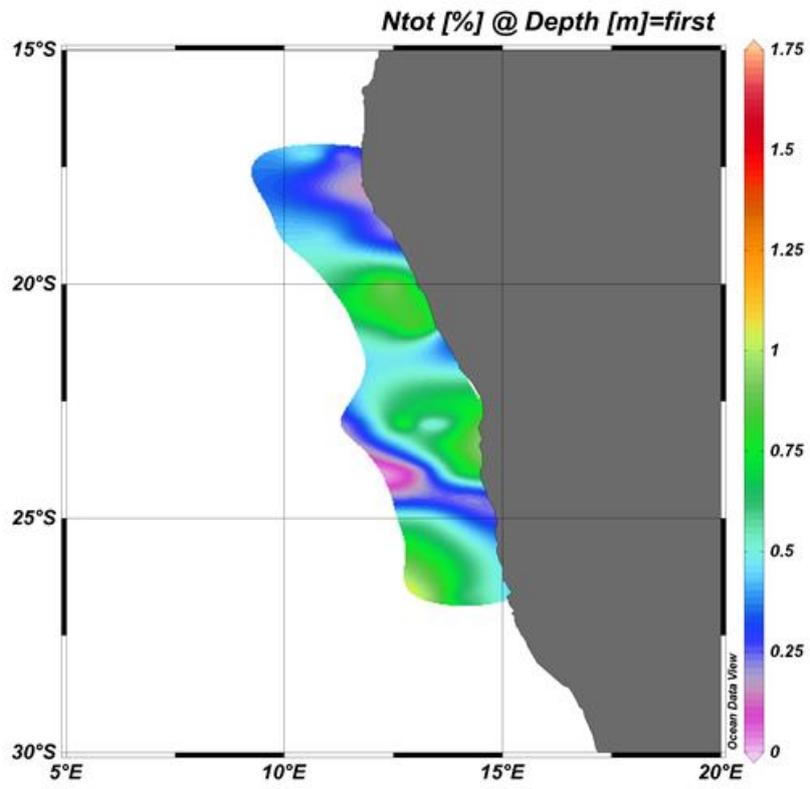


Abbildung 3.11: Verteilung des Gesamtstickstoffs im Oberflächensediment.

4. Diskussion

4.1 Korngrößenverteilung

Da sich diese Arbeit mit der räumlichen Verteilung von Korngrößen, Kohlenstoff und Stickstoff beschäftigt, ist es notwendig den Transport und die Bewegung der einzelnen Partikel bei unterschiedlichen Strömungssituationen zu verstehen.

Die Korngrößenverteilung bietet aufgrund der physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Kornfraktionen eine Möglichkeit, um Strömungsmuster nachzuvollziehen. Die Korngrößen der Fraktionen $>1000\ \mu\text{m}$ (Abbildung 3.1) und $>500\ \mu\text{m}$ (Abbildung 3.2) werden beispielsweise nur regional und nicht flächendeckend sedimentiert. Die höchsten prozentualen Anteile befinden sich im küstennahen Bereich. Bei der Fraktion $>1000\ \mu\text{m}$ ist die Verteilung besonders auf das Gebiet vor und etwas nördlich von Lüderitz beschränkt. Da es sich hierbei um verhältnismäßig große Durchmesser eines Sedimentkorns und keine karbonatischen Schalenreste oder ähnliches handelt, da diese durch das saure Auftriebswasser über dem inneren Schelf aufgelöst würden, liegt die Überlegung nahe, dass lokale Windereignisse Korngrößen dieser Größe aus der Namib-Wüste einwehen, die sich unmittelbar östlich bis zur Küste ausbreitet (Chavez und Messié, 2009). Durch ihre Größe und ihr Gewicht können sie in den Wasserströmungen nur sehr eingeschränkt bewegt werden und verbleiben somit nahe ihrem Eintrittsort in den Ozean (Huhn et al., 2007). Die Verteilung der Kornfraktion $>500\ \mu\text{m}$ ist zwar nicht in dieser Weise eingeschränkt, wird jedoch tendenziell ähnlich sedimentiert. Vor Lüderitz und nördlich davon ($24,5^\circ\text{S}$) werden die Partikel dieser Größe aufgrund der Auftriebszirkulation, die dort im Bereich des inneren Schelfs herrscht, am ausgedehnten Transport über den Meeresboden oder in der Wassersäule gehindert (Inthorn et al., 2006). Beim Vergleich der Verteilungsmuster der Kornfraktionen wird deutlich, dass bei der Abnahme des Korndurchmessers die Ausdehnung der Verteilung zunimmt. Die Verteilung der Kornfraktion $>125\ \mu\text{m}$ (Abbildung 3.4) weist als einzige der gemessenen Korngrößenverteilungen einen besonders hohen Anteil im Bereich vor Walvis Bay bei $\sim 22,5^\circ\text{S}$ auf. Ausgehend von diesem Punkt nimmt der prozentuale Anteil nach allen Richtungen wieder ab. Da der Karbonatgehalt an dieser Stelle verhältnismäßig hoch ist, könnte es sich um eine Ansammlung von karbonatbildenden Organismen handeln, deren Skelette dort sedimentiert wurden.

4.2 Verteilung des Kohlen- und Stickstoffs

Die Verteilung des Stickstoffs ähnelt dem Verteilungsmuster des organischen Kohlenstoffs. Um die Annahme, dass diese beiden Parameter miteinander in Beziehung stehen, zu prüfen, wurde mithilfe des Computerprogramms SigmaPlot ein Schaubild erstellt (Abbildung 4.1). Auf diesem erkennt man, dass mit zunehmendem Anteil organischen Kohlenstoffs auch der Anteil des Stickstoffs zunimmt.

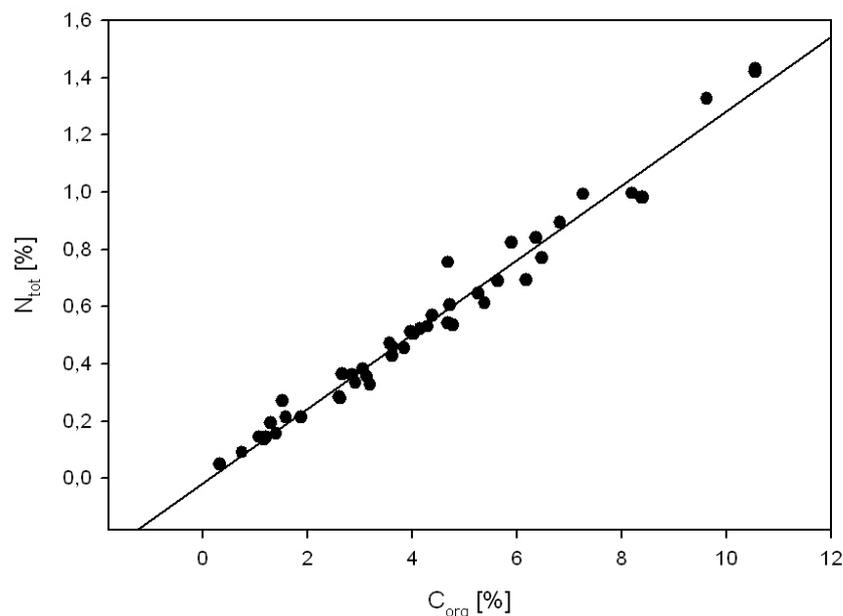


Abbildung 4.1: Korrelation zwischen organischem Kohlenstoff und Stickstoff

Aufgrund des C/N Verhältnisses des organischen Kohlenstoffs zum Stickstoff, lässt sich zum Beispiel auf die Art des organischen Materials schließen. Das C/N-Verhältnis von Phyto- und Zooplankton beträgt in etwa 5-8 (Etter, 1994). Beim Absinken des Detritus (Schwebfracht) kann sich dieses Verhältnis allerdings noch auf 10-12 erhöhen, da die Proteine, die Stickstoff enthalten, bevorzugt abgebaut werden (Etter, 1994). Bei den Proben hält sich das C_{org}/N-Verhältnis im Rahmen von 6,25 bis 9,75.

Da eine Beziehung zwischen den organischen Kohlenstoff- und den Stickstoffwerten nachgewiesen wurde, folgt nun die Untersuchung des Verteilungsmusters anhand der ODV- Grafik des organischen Kohlenstoffs (Abbildung 3.9). Nach M. Inthorn (2006) sind die besonderen Strömungsverhältnisse im Benguela-Auftriebsgebiet für die Verteilung verantwortlich. Die küstenwärtigen Wassermassen, die durch den Auftrieb in Bewegung gesetzt werden,

stammen aus einer Tiefe von 400-200 m (Shannon & Nelson, 1996). Sie gelangen bis zum inneren Schelf und werden dort entweder in eine Art Zirkulation geleitet oder als neue Oberflächenströmungen gen Ozean gelenkt. Durch die anhaltende Zirkulation über dem küstennahen Schelf erfolgt eine immer wiederkehrende Erosion und erneute Ablagerung (Abbildung 4.2). Dies lässt sich auch bei der organischen Kohlenstoffverteilung der vorliegenden Arbeit erkennen (Abbildung 4.4). Der Partikeltransport richtet sich nur im inneren Schelf zur Küste hin. Ab der ersten Schelfkante werden die Partikel zum Ozean hin transportiert. Vermutlich liegt es daran, dass im äußeren Schelfbereich der Einfluss der Auftriebsströmungen nicht mehr ausreicht um die Partikel zur Küste hin zu bewegen (Huhn et al., 2007). Über dem äußeren Schelfbereich herrscht eine bodennahe polwärtige Strömung, die für eine relativ hohe Erosion sorgt und ausgeprägte Sedimentation verhindert. Die Strömung führt zu einer Trübeschicht über dem Meeresboden, die sich bis zum Übergang vom äußeren Schelf zum oberen Kontinentalhang zieht. Diese Trübeschicht ist eine Wasserschicht über der Sedimentoberfläche, in der als Suspensionsfracht Partikel transportiert werden. Die über dem äußeren Schelf durch Erosion gelösten Partikel bewegen sich in der Trübeschicht bis zur Schelfkante und werden teilweise wieder in die Wassersäule über dem oberen Kontinentalhang eingebracht.

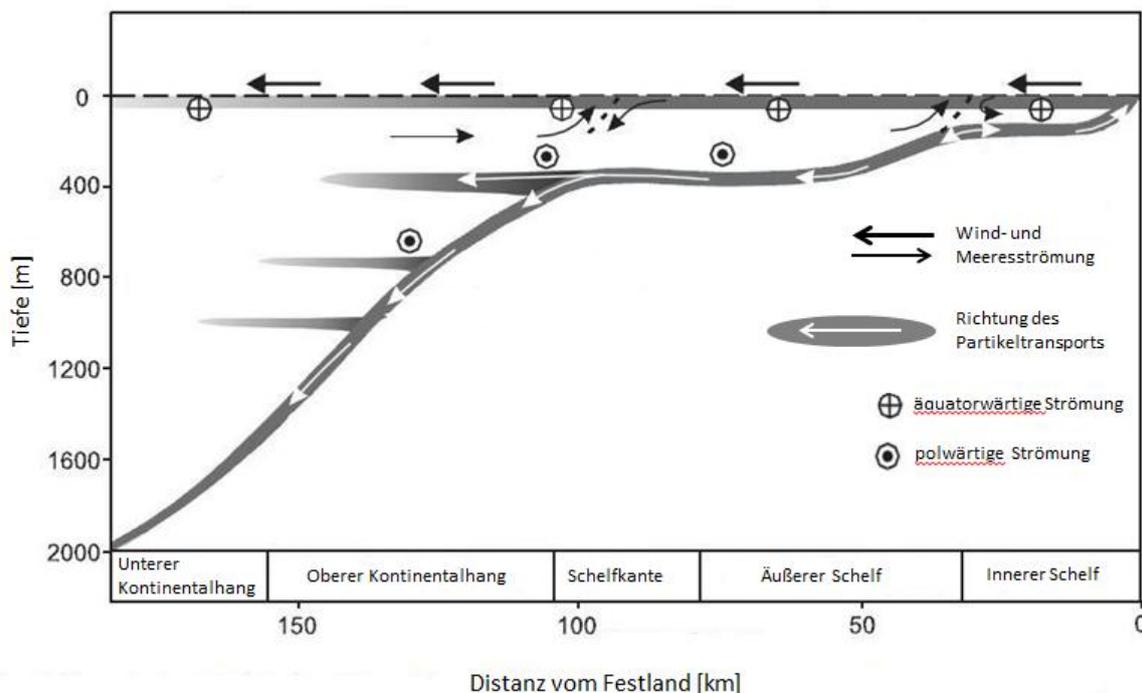


Abbildung 4.2: Strömungsverhältnisse und daraus resultierender Partikeltransport im Benguela-Auftriebsgebiet bei 25,5°S (modifiziert nach Inthorn et al., 2006)

Die polwärtige Strömung über dem oberen Kontinentalhang kann die Partikel in der Wassersäule erfassen und in südliche Richtung transportieren bevor die Partikel wieder absinken und

sedimentiert werden. Allerdings kann man davon ausgehen, dass die wirkliche Bewegung eines Partikels wesentlich komplexer ist, da er vertikal und lateral transportiert wird und dazu noch unter dem Einfluss von polwärtigen oder äquatorwärtigen Wasserströmungen steht.

Es stellt sich die Frage, warum der organische Kohlenstoff in drei Bereichen des Untersuchungsgebiets (20°S , $22,5^{\circ}\text{S}$, $\sim 27^{\circ}\text{S}$) gehäuft auftritt (Abbildung 3.9). Bei den beiden nördlichen Maxima handelt es sich um Verteilungsmuster, die relativ küstennah liegen. Das dritte hingegen bei $\sim 27^{\circ}\text{S}$ befindet sich in deutlicher Entfernung von der Küste. Das südlichste Maximum liegt auf etwa demselben Breitengrad wie die Lüderitz Auftriebszelle. Somit wäre durch die erhöhte Auftriebsintensität und den damit verbundenen verstärkten Strömungen über dem Schelfbereich eine dauerhafte Sedimentation wahrscheinlich schwierig. Die beiden nördlich gelegenen erhöhten Ansammlungen organischen Kohlenstoffs werden weniger von Auftriebswassermassen beeinflusst. Bei dem Maximum bei $\sim 27^{\circ}\text{S}$ handelt es sich um ein sogenanntes Depocenter (Inthorn et al., 2006), eine Ansammlung organischen Materials am oberen Kontinentalhang, die jedoch nur regional auftritt (Abbildung 4.3 und 4.5). Am oberen Kontinentalhang werden Partikel durch Lateraltransport in der dortigen Trübeschicht und durch das vorherrschende Gefälle über den Kontinentalhang verteilt.

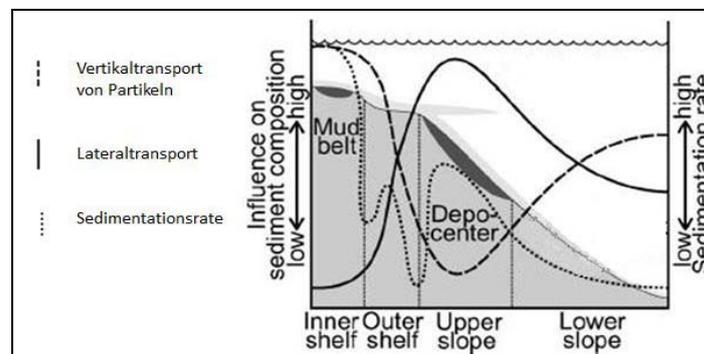


Abbildung 4.3: Schematische Darstellung von Lateral-, Vertikaltransport und Sedimentationsrate und deren Einfluss auf die Sedimentzusammensetzung ($25,5^{\circ}\text{S}$); modifiziert nach Inthorn et al. (2006)

Die erhöhte Verteilung bei $22,5^{\circ}\text{S}$ liegt zu nah an der Küste, als dass es sich hierbei ebenfalls um ein Depocenter handeln könnte. Im inneren Schelfbereich herrscht Vertikaltransport vor, der zu gebänderten Ansammlungen organischen Materials führt, einem sogenannten *Mud Belt* (Abbildung 4.3 und 4.5). Die Partikel werden in diesem Gebiet immer wieder erodiert und neu sedimentiert. Auf der vergrößerten Ansicht der organischen Kohlenstoffverteilung (Abbildung 4.4) sieht es im Gegensatz zu der Abbildung 3.9 so aus, als ob die beiden Maximal-

werte bei 20°S und 22,5°S zusammenhängen. Das Darstellungsprogramm ODV arbeitet durch Interpolation zwischen den einzelnen Messstationen und erstellt somit ein Verteilungsbild. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Arbeit zur Verteilung des organischen Kohlenstoffs mit anderen, wird deutlich, dass es sich hierbei um Interpolationsschwächen von ODV handelt (van der Plas et al., 2007). Der nördliche der beiden Maximalwerte stellt den Beginn des *Mud Belts* dar, der in das zweite Maximum bei 22,5°S übergeht (van der Plas et al., 2007). Allerdings wird der Mud Belt in Nord-Süd-Richtung durch Bänder von minimalem organischen Kohlenstoffgehalt unterbrochen. Die Gründe dafür sind jedoch noch nicht vollständig erforscht.

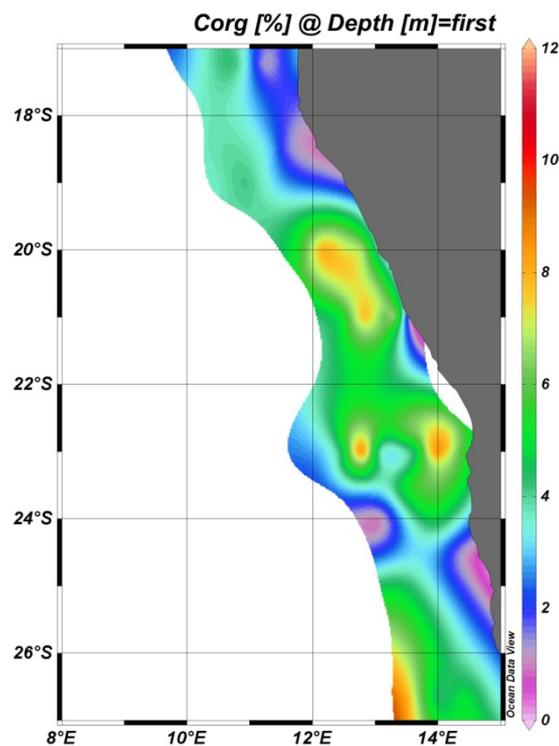


Abbildung 4.4: Verteilung des organischen Kohlenstoffs (Ausschnitt von 17°S – 27°S)

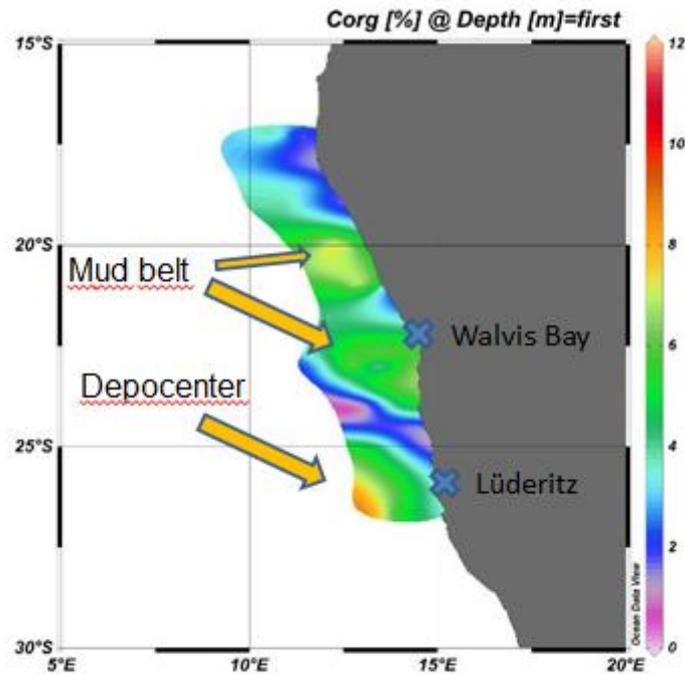


Abbildung 4.5: *Mud belts* und *Depocenter* vor der namibischen Küste

5. Zusammenfassung

Bei der Untersuchung der Verteilung von Korngrößen im Oberflächensediment des Benguela-Auftriebsgebiets zeigt sich, dass tendenziell größere Kornfraktionen im inneren Schelf abgelagert werden und feinkörnigere im Offshore-Bereich. Dennoch gibt es Unterschiede im Nord-Süd-Gefälle und bei mittleren Korngrößen ($>250 - >63 \mu\text{m}$) treten variable Verteilungsmuster aufgrund des komplexen Strömungssystems auf. In der Regel ist die Verteilung dieser Korngrößen großräumiger und nicht auf regionale Bereiche beschränkt. Die Variabilität der Partikelverteilung nimmt je mit Abnahme des Korngrößendurchmessers zu. Kohlenstoff und Stickstoff weisen ähnliche Verteilungsmuster auf, wobei sich organischer Kohlenstoff als *Mud Belts* im inneren Schelfbereich oder teilweise auch als Depocenter am oberen Kontinentalhang ansammelt. Einfluss auf die Verteilung und den Partikeltransport haben Windstärke und -richtung (dadurch auch die Auftriebsintensität), das Verhalten der Wasserströmungen und die Topographie. Beziehungen zwischen bestimmten Korngrößen und Kohlenstoff- oder Stickstoffgehalt konnten nicht nachgewiesen werden. Allerdings wurde eine enge Korrelation des organischen Kohlenstoffs mit Stickstoff festgestellt.

6. Literaturverzeichnis

- Blume H.-P., Brümmer G.W., Horn R. und Wilke B.-M. (2010) Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum. S. 172
- Bremner J. M. und Willis J. P. (1993) Mineralogy and geochemistry of the clay fraction of sediments from the Namibian continental margin and the adjacent hinterland. *Marine Geology*, 115, 85-116
- Chavez F. P. und Messié M. (2009) A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography* 83, 80-96
- Demarq H. (2009) Trends in primary production, sea surface temperature and wind in upwelling systems (1998-2007). *Progress in Oceanography* 83, 376-385
- Emeis K.-C., Struck U., Leipe T. und Ferdelman T. G. (2007) Variability in upwelling intensity and nutrient regime in the coastal upwelling system offshore Namibia: results from sediment archives. *Geologische Rundschau* 98, 309-326
- Emeis K.-C. (2010) Klimawandel und Ökosystemreaktionen auf dem Schelf vor Namibia. *Upwelling Ringvorlesung*, S. 36
- Etter, Walter. *Palökologie: eine methodische Einführung*. Birkhäuser-Verlag, 1994. S. 156
- Hill A.E., Hickey B.M., Shillington F.A., Strub P.T., Brink K.H., Barton E.D. und Thomas A.C. (1998). *Eastern Ocean Boundaries*. *The Sea*, Vol. 11, 29-68
- Huhn K., Paul A. und Seyferth M. (2007) Modeling sediment transport patterns during an upwelling event. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, doi:10.1029/2005JC003107, 1-16
- Hutchings L., van der Lingen C. D., Shannon L. J. und Monteiro P. M. S. (2009) The Benguela current: An ecosystem of four components. *Progress in Oceanography* 83, 15-32
- Inthorn M., Mohrholz V. und Zabel M. (2006) Nepheloid layer distribution in the Benguela upwelling area offshore Namibia. *Deep-Sea Research Part I* 53, 1423-1438
- Inthorn M., Wagner T., Scheeder G. und Zabel M. (2006) Lateral transport controls distribution, quality, and burial of organic matter along continental slopes in high-productivity areas. *Geology*, March 2006, 205-208
- Karakas G., Nowald N., Schäfer-Neth C. und Schlitzer R. (2009) Impact of particle aggregation on vertical fluxes of organic matter. *Progress in Oceanography* 83, 331-341
- Lübbecke J. F., Böning C. W. und Xie S.-P. (2010) On the connection between Benguela and equatorial Atlantic Ninos and the role of the South Atlantic Anticyclone. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, C0915, doi:10.1029/2009JC005964, S. 1-16
- Monteiro P. M. S., Nelson G., van der Plas A. und Klingelhoeffer E. (2005) Internal tide-shelf topography interactions as a forcing factor governing the large-scale distribution and burial fluxes of particulate organic matter (POM) in the Benguela upwelling system. *Continental Shelf Research* 25, 1864-1876
- Shannon V., Hempel G., Malanotte-Rizzoli P., Moloney C. und Woods J. (2006) *Benguela: Predicting a Large Marine Ecosystem*. Elsevier, Amsterdam, S. 49-88
- Van der Plas A., Monteiro P. M. S. und Pascall A. (2007) Cross-shelf biogeochemical characteristics of sediments in the central Benguela and their relationship to overlying water column hypoxia. *African Journal of Marine Science* 29(1), 37-47

Verwendete Internetadressen

www.genus.zmaw.de (02.08.2011)

http://www.eoearth.org/article/Marine_nitrogen_cycle (08.08.2011)

<http://mixing.coas.oregonstate.edu/research/BBL/> (08.08.2011)

<https://darchive.mblwhoilibrary.org/bitstream/handle/1912/3256/2007GC001603.pdf?sequence=1>
(01.09.2011)

<http://www.hydromod.de/lake-jewel/de/messung/ctd.html> (25.07.2011)

<http://www.univie.ac.at/Mikrolabor/chn.html> (28.07.2011)

http://www.geo.tu-freiberg.de/hydro/oberseminar/os99/kupfer_susann.pdf (22.08.2011)

7. Anhang

Tabelle A: Geochemische Parameter

Cruise	Station	Longitude	Latitude	Bot. Depth [m]	Depth [m]	Ntot [m]	Ctot [%]	Corg [%]	Cinorg [%]	CaCO3 [%]	Oxygen [µM]
MSM 17-3	224	14.058	-23.063	135	0	0,840	6,902	6,362	0,540	4,500	
MSM 17-3	225	14.002	-23.300	171	0	1,433	13,395	10,549	2,846	23,717	
MSM 17-3	226	13.505	-23.512	228	0	0,690	10,787	5,630	5,157	42,976	0
MSM 17-3	228	14.005	-24.045	212	0	0,755	5,197	4,689	0,508	4,234	
MSM 17-3	229	14.335	-24.512	120	0	0,194	1,448	1,293	0,155	1,289	
MSM 17-3	231	14.500	-25.000	190	0	0,270	1,686	1,516	0,170	1,416	0
MSM 17-3	233	14.760	-26.667	180	0	0,507	5,972	4,002	1,970	16,420	
MSM 17-3	234	14.417	-26.667	325	0	0,646	11,231	5,264	5,966	49,716	
MSM 17-3	235	14.000	-26.667	417	0	0,505	9,245	4,020	5,225	43,541	150
MSM 17-3	236	13.500	-26.667	1100	0	0,996	13,008	8,194	4,814	40,113	168
MSM 17-3	237	13.550	-26.000	750	0	0,771	12,300	6,472	5,828	48,564	146
MSM 17-3	238	13.333	-25.000	1080	0	0,542	12,064	4,678	7,386	61,548	164
MSM 17-3	240	13.108	-24.000	735	0	0,092	9,712	0,746	8,966	74,716	123
MSM 17-3	241	11.750	-23.000	2970	0	0,280	9,529	2,623	6,906	57,544	224
MSM 17-3	242	12.500	-23.000	1640	0	0,456	11,472	3,850	7,622	63,515	194
MSM 17-3	243	12.800	-23.000	905	0	1,421	13,395	10,549	2,846	23,714	134
MSM 17-3	246	13.050	-23.000	410	0	0,284	11,766	2,600	9,165	76,376	93
MSM 17-3	250	13.333	-23.000	350	0	0,356	12,049	3,127	8,922	74,346	102
MSM 17-3	254	13.667	-23.000	155	0	0,458	12,979	3,623	9,355	77,958	5
MSM 17-3	264	14.333	-23.000	66	0	0,825	5,761	5,892	-0,131	-1,090	
MSM 17-3	266	13.468	-22.765	250	0	0,692	14,461	6,184	8,277	68,972	45

MSM 17-3	267	13.180	-22.208	205	0	0,607	14,138	4,724	9,414	78,450	10
MSM 17-3	268	13.487	-21.028	23	0	0,052	0,410	0,322	0,087	0,726	86
MSM 17-3	269	13.333	-21.000	98	0	1,328	10,188	9,625	0,563	4,693	39
MSM 17-3	270	13.167	-21.000	125	0	0,568	5,436	4,389	1,047	8,726	
MSM 17-3	271	12.833	-21.000	296	0	0,981	13,641	8,413	5,228	43,565	
MSM 17-3	272	12.500	-21.000	425	0	0,537	12,321	4,770	7,551	62,921	57
MSM 17-3	274	11.833	-20.000	408	0	0,613	12,694	5,383	7,311	60,922	38
MSM 17-3	275	12.167	-20.000	275	0	0,981	12,851	8,377	4,474	37,282	
MSM 17-3	276	12.500	-20.000	153	0	0,894	9,166	6,823	2,343	19,525	2
MSM 17-3	277	12.833	-20.000	99	0	0,993	7,904	7,260	0,644	5,367	
MSM 17-3	278	13.000	-20.000	30	0	0,471	3,727	3,566	0,160	1,337	1
MSM 17-3	279	12.450	-19.000	35	0	0,215	2,015	1,587	0,428	3,570	
MSM 17-3	292	11.433	-19.000	416	0	0,334	9,624	2,916	6,709	55,903	41
MSM 17-3	295	11.000	-19.000	1290	0	0,523	6,767	4,147	2,620	21,833	187
MSM 17-3	298	10.500	-19.000	2063	0	0,428	8,178	3,618	4,560	37,998	232
MSM 17-3	299	11.417	-185.000	436	0	0,327	5,298	3,193	2,105	17,544	40
MSM 17-3	300	11.500	-18.000	237	0	0,157	3,791	1,400	2,391	19,921	18
MSM 17-3	304	11.717	-17.250	35	0	0,364	3,122	2,658	0,464	3,866	60
MSM 17-3	305	11.507	-17.253	142	0	0,214	2,058	1,875	0,183	1,522	47
MSM 17-3	306	11.288	-17.250	500	0	0,144	1,412	1,199	0,213	1,775	43
MSM 17-3	308	11.000	-17.250	2103	0	0,384	3,559	3,046	0,513	4,278	239
MSM 17-3	309	10.783	-17.250	2939	0	0,531	4,454	4,287	0,167	1,391	238
MSM 17-3	310	10.500	-17.250	3247	0	0,513	4,605	3,970	0,635	5,291	231
MSM 17-3	311	11.183	-17.250	922	0	0,138	1,861	1,163	0,698	5,817	141
MSM 17-3	316	10.000	-17.250	3921	0	0,361	5,068	2,844	2,224	18,535	227
MSM 17-3	317	8.053	-10.117	4825	0	0,146	2,852	1,073	1,779	14,826	284

Tabelle B: Korngrößenfraktionen

Cruise	Station	Grainsize >1000 µm [%]	Grainsize >500 µm [%]	Grainsize >250 µm [%]	Grainsize >125 µm [%]	Grainsize >63 µm [%]	Grainsize >20 µm [%]	Grainsize <20 µm [%]
MSM 17-3	224	4,74	16,57	28,77	25,84	15,73	8,3	0,05
MSM 17-3	225	3,7	3,68	15,32	39,24	27,27	8,53	0,99
MSM 17-3	226	0,65	1,89	23,9	61,99	9,43	1,99	0,16
MSM 17-3	228	22,94	4,91	16,21	31,77	19,32	4,83	0,01
MSM 17-3	229	27,46	23,2	21,24	16,35	7,83	3,52	0,39
MSM 17-3	231	0,34	0,78	3,82	49,69	44,22	1,02	0,13
MSM 17-3	233	50,83	19,47	12,85	7,54	5,53	3,68	0,09
MSM 17-3	234	0,22	0,75	3,98	20,18	61,72	11,25	1,89
MSM 17-3	235	0,59	1,27	12,46	26,8	36,37	18,69	3,82
MSM 17-3	236	1,18	1,78	8,18	30,94	35,96	18,13	3,83
MSM 17-3	237	2,54	10,27	32,13	27,25	16,16	10,6	1,06
MSM 17-3	238	1,33	6,27	20,29	21,95	18,7	25,06	6,4
MSM 17-3	240	5,9	6,54	12,54	18,21	26,32	27,29	3,2

MSM 17-3	241	0,51	1,29	18,85	31,85	17,6	29,01	0,89
MSM 17-3	242	0,1	1,01	14,83	28,77	17,03	32,65	5,6
MSM 17-3	243	0,46	2,52	13,78	28,04	27,88	22,83	4,49
MSM 17-3	246	0,27	0,33	5,73	51,37	32,31	8,61	1,39
MSM 17-3	250	0,61	0,99	11,39	47,48	26,56	10,03	2,95
MSM 17-3	254	28,73	14,41	20,32	25,54	8,72	2,13	0,14
MSM 17-3	264	1,32	4,13	24,54	38,43	24,93	6,56	0,09
MSM 17-3	266	0,27	0,86	9,46	69,55	17,48	2,24	0,14
MSM 17-3	267	0,87	3,81	18,84	63,13	11,13	1,98	0,06
MSM 17-3	268	0,1	0,14	0,54	3,26	83,28	12,55	0,13
MSM 17-3	269	4,73	8,19	15,53	43,72	24,92	2,84	0,07
MSM 17-3	270	0,32	0,83	10,57	55,38	27,39	4,96	0,54
MSM 17-3	271	0,25	0,72	3,65	47,65	37,7	8,9	1,14
MSM 17-3	272	0,57	1	4,59	33,11	39,04	18,28	3,41
MSM 17-3	274	0,13	0,6	2,26	39,52	42,12	13,62	1,77
MSM 17-3	275	0,64	3,12	15,46	49,61	22,91	8,24	0,02
MSM 17-3	276	1,7	6,7	14,8	30,49	35,69	0,1	0,62
MSM 17-3	277	6,87	11,9	25,29	27,45	20,66	7,53	0,3
MSM 17-3	278	1,66	6,96	10,85	17,95	46,75	15,66	0,17
MSM 17-3	279	1,36	0,49	13,93	5,68	54,62	22,49	1,42
MSM 17-3	292	0,28	0,83	10,44	59,01	18,57	9,55	1,32
MSM 17-3	295	3,18	1,79	17,38	16,36	15,49	32,07	13,73
MSM 17-3	298	0,36	0,98	28,9	24,47	18,98	20,88	5,43
MSM 17-3	299	0,36	1,39	6,33	33,94	43,38	12,51	2,09
MSM 17-3	300	0,19	4,52	35,39	35,11	21,14	3,31	0,34
MSM 17-3	304	5,47	16,34	19,76	22,95	17,44	14,3	3,72
MSM 17-3	305	7,37	1,34	13,63	23,52	39,98	12,98	1,17
MSM 17-3	306	0,12	0,77	5,01	29,95	53,25	10,07	0,83
MSM 17-3	308	0,3	3,09	15,14	22,63	22,29	30,51	6,05
MSM 17-3	309	0,49	3,26	33,3	27,14	17,87	16,12	1,82
MSM 17-3	310	5,84	22,34	29,94	21,26	12,41	7,99	0,23
MSM 17-3	311	0,22	7,05	15,13	10,91	41,86	21,82	3,02
MSM 17-3	316	7,95	12,83	36,63	22,55	10,18	8,02	1,84
MSM 17-3	317	5,67	17,89	41,01	22,75	7,65	4,12	0,92

Danksagung

Ich bedanke mich bei meinem Erstgutachter Herrn Prof. Dr. Kay-Christian Emeis und meinem Zweitgutachter und Betreuer Herrn Dr. Niko Lahajnar, dass sie mir Zugang zu diesem spannenden Thema gewähren konnten und für ihre Unterstützung und konstruktive Kritik. Vielen Dank an Valerie Kaiser, Ria Schwing, Katharina Erk und Astrid Dispert für das Korrekturlesen - auch wenn es sich teilweise um sehr fachfremde Inhalte gehandelt hat. Danke an Ulf Kaiser für seinen Enthusiasmus und den Spaß an komplexen Dingen und an Ursula Ecker-Kaiser für ihre hervorragende telefonische Seelsorge und die richtige Aufmunterungstaktik. Ein weiteres Dankeschön an meine Freunde und Kommilitonen, deren Ideen zur einen oder anderen hitzigen Diskussion geführt haben.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst habe. Es wurden keine anderen als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Die wörtlich oder sinngemäß übernommenen Zitate habe ich als solche kenntlich gemacht.

Hamburg, 19.09.2011

Cosima Kaiser